Universität Hohenheim
Fakultät für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
Institut für Volkswirtschaftslehre
Lehrstuhl für Innovationsökonomik

Kooperation als Strategie technologischen Paradigmenwechsels

Eine nachhaltigkeitsbasierte Untersuchung der Elektrifizierung des Automobils

Freie wissenschaftliche Arbeit (Dissertation)
im Rahmen des Promotionsverfahrens von
Mathias Knappe

Erstberichter
Prof. Dr. Andreas Pyka, Universität Hohenheim

Zweitberichter
Prof. Dr. Stephan Seiter, ESB Business School

Abschluss des Promotionsverfahrens
Hohenheim, den 27.10.2014

Für Julia.

Geleitwort von Prof. Dr. Andreas Pyka

Nach über 100 Jahren technologischer Dominanz des Automobils mit Verbrennungsmotor deutet sich in der mobilitätsbezogenen Branche ein massiver technologischer Umbruch an, der für die Struktur der weltwirtschaftlichen Arbeitsteilung und in Bezug auf die regionale Verteilung der Wertschöpfung erhebliche Auswirkungen haben wird. Neben den sich erschöpfenden technologischen Möglichkeiten des Automobils mit Verbrennungsmotor und dem hohen Reife- und Konzentrationsgrad der Automobilindustrie – ein durchaus typisches Muster in der langfristig technologiegetriebenen wirtschaftlichen Entwicklung – sind im vorliegenden Fall noch zwei weitere Besonderheiten von maßgeblicher Bedeutung. Zum einen ergibt sich aufgrund ökologischer Zwänge ein deutlicher und bereits kurzfristig notwendiger politischer Handlungsbedarf, zum anderen sieht sich die Industrie einem permanent steigenden Mobilitätsbedürfnis einer sich wirtschaftlich entwickelnden und gleichzeitig wachsenden Weltbevölkerung gegenüber.

Mathias Knappe analysiert diesen komplexen Zusammenhang aus einer innovationsökonomischen Perspektive. Die charakterisierte Problemstellung verdeutlicht bereits, dass eine ausschließlich angebotsorientierte innovationsökonomische Betrachtungsweise jedoch zu kurz greifen würde, weshalb Herr Knappe in seinen wissenschaftlichen Betrachtungen der innovationsökonomischen Perspektive eine nachhaltigkeitsorientierte und kooperationsorientierte Perspektive zur Seite stellt. Die Arbeit beschäftigt sich somit mit einem ökonomischen, ökologischen, gesellschaftlichen und politisch höchstrelevanten Thema und trägt der dem Untersuchungsgegenstand zugrundeliegenden Komplexität Rechnung, in dem nicht nur einseitig eine industrielle Betrachtung erfolgt. Für die Analyse kombiniert Herr Knappe geschickt Überlegungen aus der Nachhaltigkeitstheorie mit dem Ansatz zu technologischen Paradigmen und Trajektorien. Auf diese Weise konstruiert er den theoretischen Rahmen der erlaubt, den Wechsel im Antriebsstrang von Automobilen als einen Wechsel eines technologischen Paradigmas zu charakterisieren. Insbesondere Einflüsse der sozio-kulturellen Umwelt, basierend auf Nachhaltigkeitsüberlegungen, üben einen starken Druck aus und bringen technologisch unsichere Lösungen und mit ihnen neue Kompetenzen und wirtschaftliche Akteure in den Fokus. Die Heterogenität der involvierten Akteure legt dabei nahe, die für eine erfolgreiche Bewältigung des Paradigmenwechsels notwendige Wissensdiffusion sowie Wissensentwicklung in einen kooperativen Rahmen zu stellen, da nur auf diese Weise die fundamental unsicheren Synergien in einem experimentellen Prozess mit der notwendigen Flexibilität und Effektivität erschlossen werden können.

Die innovative Arbeit des Autors eröffnet dem Leser einen neuen Blick auf die zukünftig zu erwartenden Entwicklungen im Automobilsektor. Ohne Zweifel stehen hier große technologische Umbrüche an, die zu einer neuen sektoralen und geographischen Verteilung von Wirt-

schaftsdynamik führen werden. Den Schleier des Unwissens über zukünftige Entwicklungen kann auch die vorliegende Arbeit nicht heben, aber mögliche Pfade zukünftiger Entwicklung konturenreich und bestmöglich informiert beschreiben, ist zweifelsohne das große Verdienst von Herrn Knappe und der von ihm vorgelegten Dissertation.

Prof. Dr. Andreas Pyka

Geleitwort von Prof. Dr. Stephan Seiter

Seit Beginn des 21. Jahrhunderts rückt die Sorge um den Klimawandel zunehmend in den Fokus wissenschaftlicher und politischer Debatten. Ein Weg zur Reduzierung der CO2-Emissionen wird in der Substitution des Verbrennungsmotors durch elektrische Antriebe gesehen. Eine solche Veränderung stellt alle Bereiche der Automobilindustrie vor große Herausforderungen. Unternehmen sehen sich neuen technologischen Entwicklungen gegenüber, die nicht zwingend mit den bisherigen Spezialisierungsmustern kongruent sind. Das zur erfolgreichen Umorientierung notwendige Wissen ist häufig intern nicht verfügbar, so dass Kooperationen mit neuen Partnern notwendig sind. Vielfach befinden sich die handelnden Akteure im Spannungsfeld zwischen Kooperation und Konkurrenz. Je nach Phase der technologischen Entwicklung können vertrauensbasierte kooperative Lösungen für die Unternehmen von Vorteil sein. Bislang wurde die Analyse der letzteren weitgehend vernachlässigt.

An diesem Punkt setzt nun die vorliegende Dissertation von Herrn Knappe an. Basierend auf einer selbständig entwickelten Nachhaltigkeitssystematik untersucht der Autor die Eignung vertrauensbasierter Kooperation als erfolgreiche Verhaltensstrategie. Er zeigt auf, wie das bisherige Paradigma des Verbrennungsmotors in Frage gestellt wird und welche Alternativen sich eröffnen. Dabei stehen auch die Eigenschaften des Transformationsprozesses hin zur Elektromobilität im Mittelpunkt. Es wird deutlich, dass sich keine Sprünge von einem zum anderen technologischen Paradigma ergeben werden, sondern dass sich der Einsatz von Elektromotoren via Hybridantriebe steigern wird. Welche internationalen Unternehmen in Zukunft auf diesem Markt eine herausragende Rolle spielen werden, hängt auch in großem Maße von der internationalen Verteilung des relevanten Wissens ab. Die von Herrn Knappe vorgestellte empirische Analyse in diesem Bereich legt nahe, dass in Deutschland nur in sehr geringem Umfang Möglichkeiten zur Kooperation bei der Exploration technologischen Wissens genutzt werden. Letzteres kann die technologische Spitzenposition deutscher Unternehmen zukünftig gefährden.

Dem Leser ergibt sich durch die ausgezeichnete Arbeit von Herrn Knappe ein umfassendes, logisch konsistentes Bild dieses für die deutsche Volkswirtschaft so wichtigen Industriesektors und dessen zu erwartender Entwicklung. Die Berücksichtigung zentraler Ergebnisse aus der Innovationsökonomik sowie der Koordinations- und Nachhaltigkeitsforschung vergrößern dabei nicht nur das Verständnis der technologischen Entwicklung, sondern bieten auch wichtige Hinweise für die politische und unternehmensspezifische Gestaltung.

Prof. Dr. Stephan Seiter

Vorwort

Bereits an dieser Stelle bedanke ich mich für die vielschichtige Unterstützung all der Personen, ohne welche die vorliegende Dissertation nicht möglich gewesen wäre. Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater und Erstgutachter, Herrn Prof. Dr. Andreas Pyka, der diese Arbeit ermöglicht hat und mir stets den Freiraum gewährte, die Untersuchung nach meinen Vorstellungen zu gestalten. Seine Anregungen und sein Interesse auch an unkonventionellen Ideen waren mir eine Quelle der Inspiration. Weiterhin bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Stephan Seiter, der mir als Zweitgutachter von der wissenschaftlichen Konzeption bis zur Fertigstellung mit Rat und Tat zur Seite stand. Seine wohlwollende Förderung und die zahlreichen kritisch-konstruktiven Gespräche gaben mir essentielle Impulse. Herrn Prof. Dr. Harald Hagemann danke ich für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission. Bei den Herren Dr. Michael Müller und Harald Keller bedanke ich mich für das entgegengebrachte Vertrauen und die Schaffung der unternehmensseitigen Rahmenbedingungen, welche die berufsbegleitende Verwirklichung dieser Dissertation erst ermöglichten. Besonderer Dank gilt überdies Herrn Daniel Guffarth, der mir als Lehrstuhl- und Arbeitskollege in unzähligen inspirierenden Diskussionen wertvolle Kommentare und Anmerkungen lieferte und mir bei der empirischen Analyse mit Rat und Tat zur Seite stand. Darüber hinaus bedanke ich mich bei meinem Arbeitskollegen Marc Braun für seine kostbaren fachlichen Beiträge, sowie bei meinem Lehrstuhlkollegen Dr. Benjamin Schön für dessen hilfreiche methodische Hinweise. Mein ausdrücklicher Dank gilt zudem Herrn Oliver Wirth, ohne dessen fundierte Kenntnisse der Programmierung und Datenverarbeitung die empirische Auswertung in dieser Art nicht möglich gewesen wäre. Ferner bedanke ich mich für die vielen fach- und methodenspezifischen Anregungen, Hinweise und Kommentare, die ich im Laufe der Untersuchung unter anderem von den Herren Prof. Dr. Robert Dust, Dr. André Baumann, Dr. Roland Heimann, Dr. Eberhard Heinz sowie Dr. René Schellenberger erhalten habe. Abschließend gilt mein Dank auch Lisa und Adrian Knappe, Matthias Wiebersinsky sowie Marcus Petrasch für die Unterstützung bei den finalen sprachlichen und formalen Korrekturen. Für den nicht zu unterschätzenden moralischen Rückhalt sowie ihre Geduld bedanke ich mich bei meiner Frau Julia, meiner Familie und allen Freundinnen und Freunden. Besonders hervorheben möchte ich abschließend meine Eltern Silvia und Michael Knappe, die mit ihrer Förderung und ihrem Glauben an mich den Grundstein hierfür gelegt haben.

Mathias Knappe

Abstract

Beschleunigung und Reorientierung des technischen Fortschritts überfordern selbst große Unternehmen im Spannungsfeld zwischen Spezialisierung und interdisziplinärer Konvergenz. So wird die Kombination interner Forschung und Entwicklung mit externem Wissen, vor allem in Hochtechnologien, zur zentralen Voraussetzung langfristigen Unternehmenserfolgs.

In diesem Kontext untersucht die vorliegende Dissertation das Potenzial kooperativen Verhaltens zwischen Unternehmen zur Bewältigung technologischer Diskontinuitäten am Beispiel des bevorstehenden Paradigmenwechsels im automobilen Antrieb. Dabei wird Kooperation als superiore Strategie zur Stimulation des explorativen Innovationsmodus identifiziert und in eine übergreifende Dynamik der Koordinationseignung im Verlauf technologischen Fortschritts integriert. Bezogen auf den automobilen Antrieb ist eine nachhaltigkeitsinduzierte Destabilisierung des technologischen Paradigmas des Verbrennungsmotors festzustellen, während sich seine intensiven Möglichkeiten erschöpfen. Konsequenz dessen ist zunehmender Innovationsdruck, der konsistenzorientiert eine systemische Transformation von Kraftwerkstechnik und Energienetz sowie einen Paradigmenwechsel zu elektrischen Antrieben erzwingt. Aufgrund der bisher geringen technologischen Reife und hohen Kosten elektrischer Antriebssysteme zeichnet sich allerdings ein Übergang in Form einer graduellen Rekonfiguration über eine Hybridphase ab, deren Dynamik maßgeblich von der Entwicklung der techno-ökonomischen Schlüsselmodule Batterie und Brennstoffzelle abhängt. Die dazu erforderliche technologische Transformation birgt existenzielle Gefährdungen für die etablierten Unternehmen der Automobilindustrie, die sich gegenüber ihren Herausforderern explorationsbezogen in einer inferioren Ausgangssituation befinden. Eben hier bieten sich umfangreiche Potenziale kooperativer Exploration elektrischer Antriebe auf Verhaltens-, Innovationsprozess- und Wissensebene. In Relation zu diesen erscheint das reale Kooperationsniveau jedoch als gering, volatil und, vor allem in Deutschland, übermäßig intrasektoral fokussiert.

Aus diesen Erkenntnissen ergeben sich Implikationen für Unternehmensführung, Innovationspolitik und Forschung. Managementseitig besteht die zentrale Herausforderung in der Befähigung der Organisation zur Dynamisierung von Wissen und Fähigkeiten durch simultan-heterogene Koordination explorativer und exploitativer Innovationsströme. Insbesondere die Erschließung kooperativer Potenziale setzt allerdings die Bereitschaft zur Einschränkung der eigenen Unabhängigkeit sowie zur Abweichung von bewährten Verhaltensmustern voraus. Innovationspolitisch steht die Überwindung von Beharrungskräften durch Anpassung des sozio-institutionellen Rahmens sowie die Förderung langfristiger Kooperation bei potenzialgeleiteter Intersektoralität im Vordergrund. Forschungsbezogen eröffnet speziell die Kombination von Innovations-, Nachhaltigkeits- und Koordinationstheorie ein besseres Verständnis von Triebfedern und Dynamik technischen Fortschritts, das weiter vertieft werden sollte.

Inhaltsüberblick

Geleitwort von Prof. Dr. Andreas Pyka VII
Geleitwort von Prof. Dr. Stephan Seiter IX
Vorwort XI
Abstract XIII
Inhaltsüberblick XV
Inhaltsverzeichnis XVII
Abbildungsverzeichnis XIX
Tabellenverzeichnis XXI
Anhangsverzeichnis XXIII
Abkürzungsverzeichnis XXV
1 Einleitung 1
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung 1
1.2 Ziele und Eingrenzung der Untersuchung 4
1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Untersuchung 5
2 Grundlagen und theoretischer Bezugsrahmen 9
2.1 Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung 9
2.2 Innovation und technologischer Wandel 22
2.3 Kooperation und Koordinationsdynamik 88
3 Technologischer Paradigmenwechsel im Antrieb des Automobils 141
3.1 Historie des Automobils und seiner Antriebstechnik 141
3.2 Innovationsdruck durch schwindende Nachhaltigkeit des aktuellen Paradigmas 148
3.3 Perspektiven alternativer technologischer Paradigmen 162
3.4 Elektrifizierung des automobilen Antriebs als graduelle Rekonfiguration 195
4 Kooperative Exploration im Rahmen des Paradigmenwechsels 205
4.1 Patente als Indikatoren technologischen Wandels 205
4.2 Rekonfiguration der technologischen Wissensbasis 209
4.3 Das Zusammenspiel von Nachfragern, Anbietern und öffentlichem Sektor 215
4.4 Empirische Untersuchung der technologischen Exploration der Anbieter 230
4.5 Kooperative Exploration des elektrischen Antriebs 264
5 Abschließende Betrachtung 269
5.1 Zusammenfassung zentraler Ergebnisse 269
5.2 Implikationen für Praxis und Forschung 274
5.3 Kritische Reflexion und Ansätze für weitere Forschung 276
Quellenverzeichnis 279
Anhang 325

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort von Prof. Dr. Andreas Pyka VII
Geleitwort von Prof. Dr. Stephan Seiter IX
Vorwort XI
Abstract XIII
Inhaltsüberblick XV
Inhaltsverzeichnis XVII
Abbildungsverzeichnis XIX
Tabellenverzeichnis XXI
Anhangsverzeichnis XXIII
Abkürzungsverzeichnis XXV

1 Einleitung 1
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung 1
1.2 Ziele und Eingrenzung der Untersuchung 4
1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Untersuchung 5

2 Grundlagen und theoretischer Bezugsrahmen 9
2.1 Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung 9
2.1.1 Historie und Definition des Nachhaltigkeitsbegriffs 9
2.1.2 Konzeptualisierung von Nachhaltigkeit 11
2.1.3 Systemische Perspektive nachhaltiger Entwicklung 16
2.1.4 Nachhaltigkeitssystematik dieser Untersuchung 17
2.2 Innovation und technologischer Wandel 22
2.2.1 Grundlagen 22
2.2.1.1 Innovation und Innovationsökonomik 22
2.2.1.2 Inhalts- und Intensitätsdimension von Innovation 26
2.2.1.3 Prozessuale Dimension von Innovation 39
2.2.1.4 Technischer Wandel und ökonomische Entwicklung 47
2.2.2 Abgrenzung neoklassischer Perspektive 53
2.2.3 Perspektive der neuen Innovationsökonomik 58
2.2.3.1 Verhaltensökonomische Grundlagen 60
2.2.3.2 Technologisches Wissen und Lernen 63
2.2.3.3 Pfadabhängigkeit und Irreversibilität 66
2.2.3.4 Technologische Paradigmen und Trajektorien 69
2.2.3.5 Technologische Möglichkeiten und Paradigmenwechsel 73
2.2.3.6 Innovationsmuster in Technologie- und Industrielebenszyklus 79
2.3 Kooperation und Koordinationsdynamik 88
2.3.1 Evolution und Definition von Kooperation 89
2.3.2 Abgrenzung zu macht- und preisbasierter Koordination 92
2.3.3 Dimensionen von Kooperation 96
2.3.4 Chancen technologischer Kooperation 98
2.3.4.1 Verhaltensbezogene Chancen technologischer Kooperation 99
2.3.4.2 Innovationsprozessbezogene Chancen technologischer Kooperation 100
2.3.4.3 Wissens- und lernbezogene Chancen technologischer Kooperation 107
2.3.5 Risiken technologischer Kooperation 115
2.3.5.1 Verhaltensbezogene Risiken technologischer Kooperation 116
2.3.5.2 Innovationsprozessbezogene Risiken technologischer Kooperation 117
2.3.5.3 Wissens und lernbezogene Risiken technologischer Kooperation 118
2.3.6 Koordinationsdynamik im Rahmen technischen Wandels 120

2.3.6.1 Eignung der Koordinationsmechanismen zur Stimulation von Innovation.....120
2.3.6.2 Koordinationseignung im Technologielebenszyklus.....124
2.3.6.3 Zyklus der Koordinationseignung zur Stimulation technischer Innovation.....132
2.3.7 Kooperation bei technologischem Paradigmenwechsel.....133
3 Technologischer Paradigmenwechsel im Antrieb des Automobils 141
3.1 Historie des Automobils und seiner Antriebstechnik 141
3.2 Innovationsdruck durch schwindende Nachhaltigkeit des aktuellen Paradigmas 148
3.2.1 Ursachen schwindender Nachhaltigkeit des aktuellen Paradigmas 148
3.2.1.1 Industrialisierung und Bevölkerungswachstum.....148
3.2.1.2 Ökologische Destabilisierung.....152
3.2.1.3 Ökonomische Destabilisierung.....154
3.2.1.4 Soziale Destabilisierung.....156
3.2.1.5 Technologisch intensive Erschöpfung.....159
3.2.2 Nachhaltigkeitsinduzierter Innovationdruck auf einen Paradigmenwechsel 161
3.3 Perspektiven alternativer technologischer Paradigmen 162
3.3.1 Konsistenzstrategie durch *Backstop*-Technologie 162
3.3.2 Nachhaltigkeitsbewertung alternativer Energieversorgung.....165
3.3.3 Elektrifizierung des automobilen Antriebs 173
3.3.3.1 Designhierarchie des Automobils.....174
3.3.3.2 Konventioneller, verbrennungsmotorbasierter Antrieb.....176
3.3.3.3 Status und Perspektive des elektrischen Antriebs 177
3.3.3.4 Hybrider Antrieb als Grundlage gradueller Rekonfiguration.....186
3.4 Elektrifizierung des automobilen Antriebs als graduelle Rekonfiguration 195
4 Kooperative Exploration im Rahmen des Paradigmenwechsels..... 205
4.1 Patente als Indikatoren technologischen Wandels..... 205
4.2 Rekonfiguration der technologischen Wissensbasis..... 209
4.3 Das Zusammenspiel von Nachfragern, Anbietern und öffentlichem Sektor 215
4.3.1 Werte- und Anforderungsset der Nachfrage (*market pull*) 216
4.3.2 Technologische Lösungssuche der Anbieter (*technology push*).....218
4.3.3 Die Rolle des öffentlichen Sektors (*regulatory catalysis*).....223
4.4 Empirische Untersuchung der technologischen Exploration der Anbieter..... 230
4.4.1 Zielsetzung der Patentanalyse.....230
4.4.2 Patentdatenset zur Batterie- und Brennstoffzellentechnik.....231
4.4.3 Sektor- und technologiespezifische Akteure und Gruppen 235
4.4.4 Auswertungslogik.....237
4.4.5 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse 238
4.4.5.1 Globale Offenlegungen zur Batterie nach Akteuren und Behörden.....239
4.4.5.2 Nationale Offenlegungen zur Batterie nach Akteuren 245
4.4.5.3 Globale Offenlegungen zur Brennstoffzelle nach Akteuren und Behörden.....250
4.4.5.4 Nationale Offenlegungen zur Brennstoffzelle nach Akteuren 255
4.4.6 Zusammenfassung zentraler Erkenntnisse.....260
4.5 Kooperative Exploration des elektrischen Antriebs 264
5 Abschließende Betrachtung..... 269
5.1 Zusammenfassung zentraler Ergebnisse..... 269
5.2 Implikationen für Praxis und Forschung 274
5.3 Kritische Reflexion und Ansätze für weitere Forschung..... 276
Quellenverzeichnis..... 279
Anhang..... 325

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1: Konzept und Aufbau dieser Untersuchung 7
Abb. 2-1: Nachhaltigkeitssystematik dieser Untersuchung aus Kapitalstockperspektive 20
Abb. 2-2: Typisierung von Innovation aus systemischer Perspektive 32
Abb. 2-3: Typisierung von Innovation nach Transilienzdimensionen 36
Abb. 2-4: Markteintritte, Herstelleranzahl und Marktanteile im Industrielebenszyklus 82
Abb. 2-5: Verlauf einer technologischen Trajektorie bzw. eines Technologielebenszyklus ... 85
Abb. 2-6: Innovationsmuster in Technologie- und Industrielebenszyklus 88
Abb. 2-7: Lerneffizienz als Resultat kognitiver Distanz und absorptiver Fähigkeiten 111
Abb. 2-8: Anforderungszyklus zur Stimulation technischer Innovation 124
Abb. 2-9: Zyklus der Koordinationseignung zur Stimulation technischer Innovation 132
Abb. 2-10: Simultan-heterogene Koordination von Innovation bei Paradigmenwechsel 136
Abb. 3-1: Technologische Transformation von Pferdefuhrwerken zu Automobilen 144
Abb. 3-2: Fahrzeugproduktion und -bestand weltweit von 1900 bis 2012 147
Abb. 3-3: Nutzungsintensität des Personenverkehrs in Deutschland nach Verkehrsarten 153
Abb. 3-4: Nutzbare Erdölvorkommen, Fördermenge, statische Reichweite und Preis 155
Abb. 3-5: Energieträger und Energien zum Betrieb von Automobilen 165
Abb. 3-6: Designhierarchie des Automobils mit konventionellem Antrieb (Ausschnitt) 175
Abb. 3-7: Elektrifizierung des automobilen Antriebs als graduelle Rekonfiguration 187
Abb. 3-8: Evolution automobiler Antriebe inkl. bevorstehendem Paradigmenwechsel 201
Abb. 4-1: Dynamik antriebsbezogener Offenlegungen am Beispiel der Daimler AG 213
Abb. 4-2: Technischer Wandel aus *market pull*, *technology push* und *regulatory catalysis* . 216
Abb. 4-3: Antriebsbezogene Verteilung des Wissens in der Automobilindustrie 220
Abb. 4-4: Zusammensetzung des Patentdatensets mit und ohne Korrekturfaktor 235
Abb. 4-5: Batteriebezogene Offenlegungen nach Patentbehörden global 243
Abb. 4-6: Anmelder in batteriebezogenen Offenlegungen global 244
Abb. 4-7: Batteriebezogene Wissensbasen und Kooperationen 246
Abb. 4-8: Anmelder in batteriebezogenen Offenlegungen am DPMA 247
Abb. 4-9: Anmelder in batteriebezogenen Offenlegungen am JPO 248
Abb. 4-10: Anmelder in batteriebezogenen Offenlegungen am USPTO 249
Abb. 4-11: Brennstoffzellenbezogene Offenlegungen nach Patentbehörden global 253
Abb. 4-12: Anmelder in brennstoffzellenbezogenen Offenlegungen global 254
Abb. 4-13: Brennstoffzellenbezogene Wissensbasen und Kooperationen 256
Abb. 4-14: Anmelder in brennstoffzellenbezogenen Offenlegungen am DPMA 257
Abb. 4-15: Anmelder in brennstoffzellenbezogenen Offenlegungen am JPO 258
Abb. 4-16: Anmelder in brennstoffzellenbezogenen Offenlegungen am USPTO 259

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1: Chancen technologischer Kooperation 99
Tab. 2-2: Risiken technologischer Kooperation 116
Tab. 2-3: Eigenschaften der Koordinationsmechanismen zur Stimulation von Innovation .. 120
Tab. 3-1: Nachhaltigkeitsbewertung der Nutzung von Energieträgern und Energien 171
Tab. 3-2: Vor- und Nachteile batterie- und brennstoffzellenelektrischen Antriebs 184
Tab. 3-3: Herstellkosten und Reife automobiler Antriebsdesigns auf Modulebene 199
Tab. 4-1: Vor- und Nachteile von Patentdaten als technologische Indikatoren 207
Tab. 4-2: Entfallende, veränderte und neue Module sowie Komponenten 210
Tab. 4-3: Übersicht der Ergebnisdarstellungen der Patentanalyse 238

Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Batteriedimensionierung für den batterieelektrischen Antrieb..... 325
Anhang 2: Batteriedimensionierung für den brennstoffzellenelektrischen Antrieb..... 326
Anhang 3: Batteriedimensionierung für Antriebe mit Plug-In..... 327
Anhang 4: Antriebsbezogene Offenlegungen der Daimler AG inkl. Zuordnungslogik 328
Anhang 5: Akteursgruppe der Top 30 Automobilhersteller..... 329
Anhang 6: Akteursgruppe der Top 100 Automobilzulieferer 333
Anhang 7: Akteursgruppe der Top 200 Batterie- und Brennstoffzellenentwickler 345

Abkürzungsverzeichnis

Dieses Verzeichnis enthält alle in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Abkürzungen und Akronyme, die über den aktuellen Stand des Dudens hinausgehen.[1]

BFD	Batterie und Brennstoffzellenentwickler (*battery and fuel cell developer*)
BRIC	Brasilien, Russland, Indien und China
bzgl.	bezüglich
DPMA	Deutsches Patent- und Markenamt
F&E	Forschung und Entwicklung
IPC	Internationale Patentklassifikation (*International Patent Classification*)
JPO	Japan Patent Office
OEM	Automobilhersteller (*original equipment manufacturer*)
SUP	Automobilzulieferer (*automotive supplier*)
Tab.	Tabelle
USPTO	United States Patent and Trademark Office

[1] http://www.duden.de/woerterbuch, Zugriff am 03.06.2014

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die weltweit geführte Debatte zum Thema Elektromobilität deutet an, dass für die Automobilindustrie eine Phase außergewöhnlichen technologischen Wandels bereits begonnen hat. So vergleicht Dr. Dieter Zetsche, Vorstandsvorsitzender der Daimler AG, die aktuelle Situation der Industrie mit ihrer Entstehungsphase um das Jahr 1900, in der noch völlig unklar war, in welche Richtung sich das Automobil entwickeln würde.[2] Er betont, dass nicht weniger als eine **zweite Erfindung des Automobils** erforderlich sei, um die angestrebte Veränderung zur Elektromobilität zu schaffen.[3] Auch Norbert Reithofer, Vorstandsvorsitzender der BMW AG unterstreicht, dass die **Automobilindustrie vor einem Technologiesprung** steht und vergleicht diesen mit dem Wechsel vom Pferd zum Automobil, während Martin Winterkorn, Vorstandsvorsitzender der VW AG, bezogen auf die Elektromobilität hervorhebt, dass **Nachhaltigkeit ein wesentliches Ziel** sei.[4]

Diese Statements verdeutlichen exemplarisch die Herausforderungen des **technischen Fortschritts**, der aus einem interdependenten Zusammenspiel techno-ökonomischer, soziokultureller, institutioneller und zunehmend auch ökologischer Aspekte erwächst und die Gesellschaft maßgeblich prägt. Entscheidende Richtungsimpulse erfährt die technische Entwicklung durch die Einflüsse von Globalisierung, Bevölkerungswachstum, demographischem Wandel, Urbanisierung und Nachhaltigkeitsorientierung. Dabei erzeugt die Bedrohung des globalen Ökosystems durch das bisherige Weltwirtschaftsmodell, in Kombination mit einem verstärkten intergenerativen Verantwortungsbewusstsein, einen moralischen Imperativ zur Verwirklichung eines postfossilen Zeitalters durch eine Dekarbonisierung der Weltwirtschaft.[5] Die Beschleunigung und Reorientierung des technischen Fortschritts führt zu massiv anwachsender Unsicherheit, Dynamik und Komplexität **technologischen Wandels**. Dadurch scheinen selbst Großkonzerne mit der Bewältigung des erforderlichen Spagats zwischen arbeitsteiliger Spezialisierung und interdisziplinärer Konvergenz im Innovationsprozess überfordert zu sein. Aus diesen Entwicklungen ergibt sich für Unternehmen ein Spannungsfeld zwischen einem zeit- und effizienzorientierten Qualitätswettbewerb gesättigter Märkte und strategischer Exploration originärer Lösungen, die effektivitätsorientiert an den Ursachen der sich ausweitenden Problemlagen ansetzen, anstatt ihre Symptome zu bekämpfen. Die Fähigkeit zur **Dynamisierung von Wissensbasis und Fähigkeiten** wird so zu einer zentralen Voraussetzung des langfristigen Unternehmenserfolgs.

---

2 Vgl. SPIEGEL ONLINE 2012
3 Vgl. HANDELSBLATT 2011
4 Vgl. HANDELSBLATT 2012a
5 Vgl. BMWI 2011, Seite 21 sowie WBGU 2011, Seite 288

Dieses Phänomen betrifft aktuell in besonderem Maße die **Automobilindustrie**, welche sich, nach über 100 Jahren technologischer Spezialisierung auf den mittlerweile gereiften konventionellen Antrieb, weltweit in einem intensiven Preis- und Qualitätswettbewerb bei verkürzten Entwicklungszeiten und Produktlebenszyklen befindet. Die sich durch den global steigenden Mobilitätsbedarf ausweitenden Übernutzungseffekte führen jedoch zunehmend zu einer negativen Wahrnehmung des Automobils als nicht nachhaltige, degenerative Technik. Der für diese Entwicklung maßgebliche, verbrennungsmotorbasierte Antrieb erfährt fortwährend ökonomische, soziale und ökologische **Destabilisierungsimpulse**, die im Zusammenspiel mit der Erschöpfung seiner Entwicklungsmöglichkeiten einen steigenden **Innovationsdruck** erzeugen. Für eine Befreiung aus dieser Dynamik bedarf es eines Technologiesprungs, für welchen den elektrischen Antrieben großes Potenzial zugeschrieben wird. Dies entbehrt jedoch nicht einer gewissen Ironie, hat sich doch der verbrennungsmotorbasierte Antrieb im frühen 20. Jahrhundert gegen den elektrischen durchgesetzt. Da Letzterer allerdings seit dieser Zeit nur geringe technologische Fortschritte gemacht hat, sieht sich die Automobilindustrie nun **existenziellen explorativen Herausforderungen** gegenüber, wobei die etablierten Unternehmen durch Markteintritte neuer Wettbewerber zusätzlich unter Druck geraten. Dies führt zu stark erhöhter Unsicherheit und erfordert eine umfangreiche Weiterentwicklung des Wissens und der Fähigkeiten der Unternehmungen, während der Komplexitätsgrad massiv ansteigt. Im Bezug auf diese Herausforderung betont bspw. Dr. Dieter Zetsche, dass technologisch kein Königsweg abzusehen sei und Unternehmen, die auf nur einen Weg setzten, damit ihre Zukunft riskierten.[6]

Da in diesem Umfeld kein Unternehmen in der Lage zu sein scheint, alle erforderlichen Kompetenzen selbst vorzuhalten oder aufzubauen, rücken Kooperationen untereinander sowie mit Forschungseinrichtungen in den Fokus. Innovation wird so zum Ergebnis eines experimentellen und **kollektiven Such- und Lernprozesses**, in dem heterogene Partner gemeinsam Ziele verfolgen sowie Aufgaben erfüllen und dabei aktiv ihre gegenseitigen Interessen berücksichtigen. Die Kombination technologischer Komplementaritäten ermöglicht zudem die **Erschließung synergetischer Potenziale**. Lernen ist dabei kein Automatismus, sondern ein aufwändiger Prozess, der absorptive Fähigkeiten voraussetzt. Da derartige Zusammenarbeit jedoch eine Öffnung der Partner erfordert und zu gegenseitigen Abhängigkeiten führt, ist die Entwicklung einer gemeinsamen Vertrauensbasis eine zentrale Kooperationsvoraussetzung. Gelingt die Bildung dieses Fundaments, kann Kooperation durch Aufweitung des Suchfeldes die Explorationsfähigkeit verbessern sowie durch interaktives von-, über- und miteinander Lernen zur **Dynamisierung von Wissen und Fähigkeiten** beitragen. Vertrauensbasierte Zusammenarbeit eröffnet folglich einen Ausweg aus dem Dilemma zwischen technologischer

[6] Vgl. HANDELSBLATT 2011

Spezialisierung und interdisziplinärer Konvergenz. Der hohe Integrations- und Parallelitätsgrad sowie die funktions- und unternehmensübergreifende Beteiligung im Innovationsprozess führen allerdings zu zusätzlicher Komplexität.

In der aktuellen Situation der **Automobilindustrie** deuten sowohl Äußerungen der unternehmerischen Entscheidungsträger, als auch die öffentlich kommunizierte Zusammenarbeit zwischen Partnern auf ein wachsendes Bewusstsein für die **Potenziale technologischer Kooperation** hin. Einen zentralen Schwerpunkt bilden dabei die explorativen Herausforderungen im Antrieb. Während Sonderausgaben von Wirtschaftsmagazinen und -zeitungen mit Titeln wie „Kooperieren oder Verlieren“[7] oder „Kooperation statt Konflikt“[8] die übergreifende Aktualität dieses Themas verdeutlichen, betont bspw. Dr. Dieter Zetsche, dass die Daimler AG die zweite Erfindung des Automobils federführend mitgestalten wolle und Kooperationen als strategisches Instrument dazu einsetze.[9] Dabei können durch vertrauensbasierte Zusammenführung von automobilbezogenen und auf elektrische Antriebe bezogenen Kompetenzen Wissenslücken geschlossen und neue Möglichkeiten entdeckt werden, während sich im Gegenzug Unsicherheit reduziert und Komplexität bewältigt wird.

Auf Basis dieser Beobachtungen und Zusammenhänge setzt die vorliegende Untersuchung an einem technologischen und einem koordinationsbezogenen Punkt an. Den **technologischen Ansatzpunkt** bildet die bereits angedeutete Destabilisierungsdynamik des konventionellen automobilen Antriebs. Ihr vertieftes Verständnis ist die Grundlage zur Bewertung des Potenzials von Stabilisierungsbemühungen und dient zur Identifikation und Potenzialeinschätzung von Alternativen. Der **koordinationsbezogene Ansatzpunkt** entsteht aus den von unternehmerischen Entscheidungsträgern geäußerten Absichten zur kooperativen Exploration elektrischer Antriebe. Dabei sind einerseits die theoretische Analyse des Potenzials von Zusammenarbeit im Verlauf technologischer Entwicklung und andererseits die tatsächlichen kooperativen Explorationsanstrengungen der Akteure von Interesse. Ausgehend von diesen Ansatzpunkten leistet die vorliegende Untersuchung theoriebezogene Beiträge zu **Nachhaltigkeits-, Innovations- und Koordinationsforschung** sowie einen praxisbezogenen Beitrag zu Eignung und Niveau vertrauensbasierter Kooperation als Mechanismus zur **Exploration elektrischer Antriebe** für Automobile.

---

7 BRAND EINS 2010
8 HANDELSBLATT 2012b
9 Vgl. HANDELSBLATT 2011

1.2 Ziele und Eingrenzung der Untersuchung

Diese Untersuchung verfolgt zwei Kernziele, deren Interdependenz ein vertieftes Verständnis der Koordinationsdynamik im Verlauf technologischen Wandels in Allgemeinen sowie für die kooperative Exploration alternativer Antriebe für Automobile im Speziellen eröffnet.

Kernziel 1 ist ein umfassendes Verständnis des sich andeutenden Umbruchs in der automobilen Antriebstechnik auf Basis eines wissenschaftlich-theoretischen Rahmens des technologischen Wandels sowie der Nachhaltigkeitstheorie. Dies beinhaltet die Analyse der Destabilisierung des konventionellen Antriebs, die Identifikation, Prüfung und Bewertung von Alternativen sowie die Ableitung einer technologischen Übergangs- bzw. Transformationscharakteristik.

Kernziel 2 bezieht sich auf die Koordinationseignung und -neigung im Verlauf technologischer Entwicklung mit Schwerpunkt auf kooperativem Verhalten in technologisch diskontinuierlichen Phasen und erstreckt sich auf zwei Ebenen. Auf **allgemeiner Ebene** werden einerseits die Anforderungsdynamik zur Stimulation von Innovation und andererseits die innovationsfördernden Rahmenbedingungen der Koordinationsmechanismen untersucht. Durch die Verknüpfung der Ergebnisse wird im Folgeschritt die Ableitung einer Dynamik der Eignung der Koordinationsmechanismen im Verlauf technologischen Wandels angestrebt. Die **anwendungsspezifische Ebene** verbindet die Erkenntnisse zur Eignung von Kooperation für technologische Exploration mit der Charakteristik des technologischen Paradigmenwechsels im automobilen Antrieb und zielt in diesem Kontext auf eine Bewertung des kooperativen Potenzials und Niveaus ab.

Zentrale **Gegenstände dieser Untersuchung** sind somit die Koordinationsdynamik im Verlauf technologischen Fortschritts und die kooperative Exploration alternativer Antriebe für Automobile. Begleitende technologische Wandlungsprozesse, welche Wechselwirkungen mit der antriebsbezogenen Entwicklung aufweisen, wie bspw. die Transformation von Energiesektor und Infrastrukturen, sind nicht Schwerpunkt der Untersuchung und werden nur in erforderlichem Umfang in den Argumentationsfluss mit einbezogen. Nicht-technologische Auswirkungen der untersuchten Entwicklungen, z. B. auf Vermarktungsstrategien oder Finanzierungsaspekte, bleiben ebenfalls weitgehend ausgeblendet.

1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Untersuchung

Die vorliegende Untersuchung gliedert sich in 5 Kapitel. Eine thematische **Einführung** erfolgt in **Kapitel 1**, das die Darstellung von Ausgangssituation und Problemstellung, Zielsetzung und Eingrenzung sowie Vorgehensweise und Aufbau umfasst.
Kapitel 2 bettet die Untersuchung in einen übergeordneten **theoretischen Bezugsrahmen** ein und beinhaltet die Darstellung und selektive Erweiterung wissenschaftlicher Grundlagen. Die Theorie der **Nachhaltigkeit** und nachhaltiger Entwicklung bildet die erste Säule der Untersuchung und dient als Gradmesser technischer Entwicklung. Dabei werden sowohl das normative Leitbild der Nachhaltigkeit als auch bisherige Operationalisierungsansätze einbezogen sowie aus deren Kombination eine Nachhaltigkeitssystematik für den weiteren Verlauf der Untersuchung entwickelt. Die zweite Säule des wissenschaftlichen Fundaments ist die Theorie von **Innovation** und technologischem Wandel, deren Darstellung mit der Betrachtung innovationsökonomischer Grundlagen zur Mehrdimensionalität von Innovation und einer kurzen Abgrenzung der neoklassischen Sichtweise beginnt. Aus der Perspektive der neuen Innovationsökonomik folgt eine Erörterung verhaltensökonomischer Grundlagen, der Eigenschaften technologischen Wissens und Lernens sowie der evolutorischen Prinzipien der Pfadabhängigkeit und Irreversibilität. Abschließend wird aus den Konzepten technologischer Paradigmen, Trajektorien und Opportunitäten ein dynamischer Bezugsrahmen für Innovation im Technologie- und Industrielebenszyklus gebildet. Die dritte und letzte Säule des theoretischen Bezugsrahmens ist die Koordinationstheorie mit Schwerpunkt auf technologische **Kooperation**. Hier schafft die evolutorische Betrachtung und Definition vertrauensbasierter Kooperation die Grundlage zur Abgrenzung gegenüber den alternativen Mechanismen machtbasierter Verhaltensanweisung und preisbasierten Wettbewerbs. Kooperation wird dabei als eigenständiger Koordinationsmechanismus mit synergetischem Charakter herausgestellt. Im Anschluss an eine kurze Darstellung der Mehrdimensionalität von Kooperation werden Chancen und Risiken technologischer Kooperation hinsichtlich des Verhaltens der Akteure, des Innovationsprozesses sowie des Umgangs mit den Eigenschaften technologischen Wissens und Lernens erörtert. Aus der Kombination der Eigenschaften der Koordinationsmechanismen mit den Eigenschaften der Phasen des Technologielebenszyklus wird ein Zyklus der Koordinationseignung hergeleitet (allgemeine Ebene von Kernziel 2). Die abschließende Synthese fasst die Erkenntnisse zusammen und verknüpft sie mit den besonderen Herausforderungen technologisch diskontinuierlicher Phasen.
Basierend auf diesem theoretischen Rahmen widmet sich **Kapitel 3** dem praktischen Feld dieser Untersuchung, indem Ursachen und Perspektiven des bevorstehenden technologischen **Paradigmenwechsels im automobilen Antrieb** analysiert und dessen Transformationscharakteristik herausgearbeitet werden (Kernziel 1). Um ein grundlegendes Verständnis für die pfadabhängige Vorprägung der untersuchten Entwicklung zu schaffen, wird dazu in einem

ersten Schritt die Historie des Automobils und seiner Industrie erörtert. Besondere Berücksichtigung erfährt dabei die Antriebstechnik. An diese Ausführungen schließt sich eine nachhaltigkeitsorientierte Analyse von Ursachen und Auswirkungen der Destabilisierung des bisherigen Antriebsparadigmas an. Dabei werden neben den rahmenbildenden Parametern der Industrialisierung und des Bevölkerungswachstums ökologische, ökonomische und soziale Aspekte mit einbezogen. Die Kombination der Destabilisierungsdynamik mit den eingeschränkten Entwicklungsmöglichkeiten des konventionellen Antriebs verdeutlicht im Anschluss den sich intensivierenden Innovationsdruck auf einen technologischen Paradigmenwechsel. Eine nachhaltigkeitsbasierte und am Konsistenzprinzip orientierte Analyse alternativer Energieversorgung identifiziert den durch erneuerbare Energien versorgten elektrischen Antrieb als aussichtsreiche Alternative. Die anschließende Untersuchung des techno-ökonomischen Status des konventionellen Antriebs sowie der elektrischen Alternativen legt die für weitere Forschung und Entwicklung (F&E) zentralen Module offen. Darüber hinaus bereitet sie die Grundlage zur Ableitung des spezifischen Transformationscharakters des bevorstehenden Paradigmenwechsels.

Kapitel 4 dient der Analyse von **Potenzial und Niveau kooperativer Exploration** im Rahmen des Paradigmenwechsels im automobilen Antrieb mit Schwerpunkt auf der technologischen Lösungssuche der Anbieter (anwendungsspezifische Ebene von Kernziel 2). Um eine Grundlage für die spätere Verwendung der Methode der Patentanalyse zu schaffen, erfolgt vorab eine kurze Darstellung der Eignung von Patenten als Indikatoren technologischen Wandels. An diese Ausführungen schließt sich eine Analyse der erforderlichen Rekonfiguration der Wissensbasis der Automobilindustrie an, welche die tiefgreifenden Herausforderungen der Branche verdeutlicht. Dies schließt eine empirische Untersuchung der bisherigen F&E-Aktivitäten eines exemplarischen Automobilherstellers zum konventionellen und zu den elektrischen Antriebsdesigns ein, welche die Zielsetzung einer Bestätigung der bereits abgeleiteten Transformationscharakteristik verfolgt. Darauf aufbauend wird das interdependent-koevolutorische Wechselspiel zwischen Nachfragern, Anbietern und öffentlichem Sektor erörtert, in dem während dem untersuchten technologischen Umbruch besondere Spannungen und Zusammenarbeitspotenziale entstehen. Die anschließende empirische Untersuchung der technologischen **Exploration der Anbieterseite** fokussiert auf Batterie und Brennstoffzelle als techno-ökonomische Schlüsselmodule der elektrischen Antriebsdesigns. Anhand von Patentdaten wird über einen Zeitraum von 30 Jahren der historische Verlauf technologischer Explorationsaktivitäten von Automobilherstellern, Automobilzulieferern sowie Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern analysiert. Dabei wird einerseits die Dynamik automobilbezogener F&E-Anstrengungen zu diesen Technologien und andererseits die Verteilung der vorhandenen Wissensbasis unter den untersuchten Akteursgruppen ermittelt. Resultierende Potenziale technologischer Kooperation werden mit dem erfassten Niveau kooperativen Verhaltens abgeglichen. Die abschließende Synthese fasst die Erkenntnisse, im Bezug auf die Eignung

kooperativer Koordination zur Exploration elektrischer Designs automobiler Antriebstechnik, zusammen.

Kapitel 5 bildet mit einer Zusammenfassung wesentlicher Ergebnisse sowie der Ableitung von Implikationen für Praxis und Forschung den **Abschluss** der Untersuchung. Aufbauend auf einer kritischen Reflexion des Vorgehens werden ergänzend Ansätze für weitere Forschung aufgezeigt.

Das Konzept der vorliegenden Untersuchung wird, mit Verweis auf die jeweiligen (Teil-) Kapitel, in Abb. 1-1 veranschaulicht.

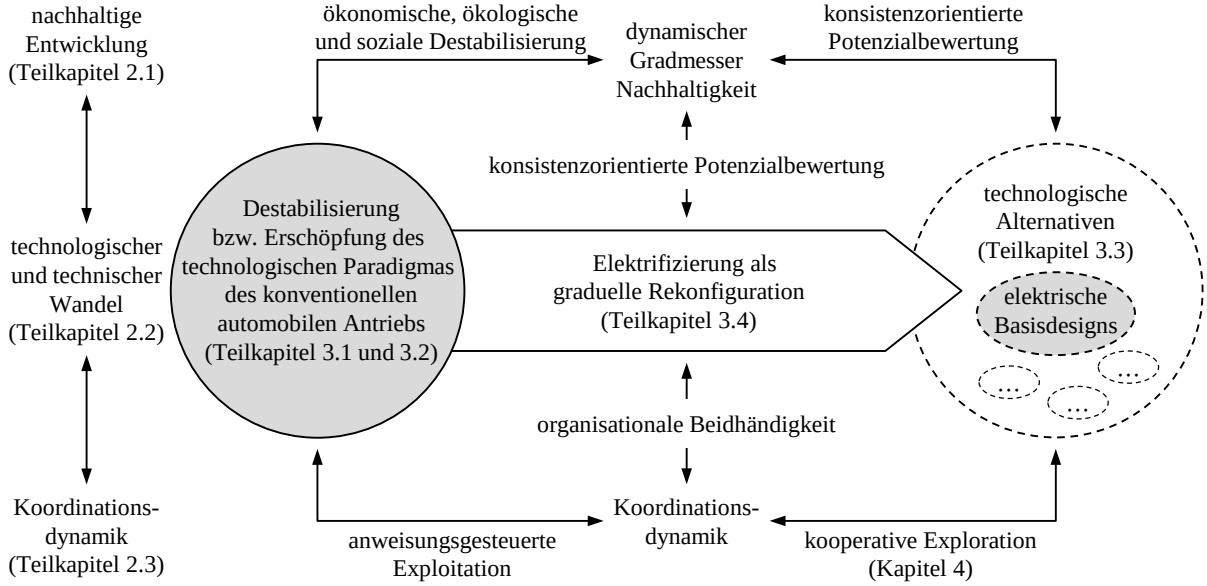


Abb. 1-1: Konzept und Aufbau dieser Untersuchung[10]

[10] Eigene Darstellung

2 Grundlagen und theoretischer Bezugsrahmen

Dieses Kapitel dient der Einordnung des Untersuchungsgegenstandes in die wissenschaftliche Diskussion. Es werden zentrale Begriffe definiert, grundlegende Konzepte vorgestellt und erweitert sowie ein übergreifender theoretischer Bezugsrahmen gebildet. An die Thematisierung von Nachhaltigkeit bzw. nachhaltiger Entwicklung in Teilkapitel 2.1 schließt sich in Teilkapitel 2.2 die Erörterung von Innovation und technologischem Wandel an. Die Analyse von Eigenschaften und Dynamik von Kooperation und Koordination in Teilkapitel 2.3 schließt die Betrachtung der theoretischen Grundlagen ab.

2.1 Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung

Die öffentliche Debatte nutzt den Begriff der **Nachhaltigkeit** inflationär, wobei die Forderung nach Nachhaltigkeit in vielen Fällen rein auf ökologische Aspekte abzielt. Die ökologische Dimension spiegelt jedoch lediglich einen Ausschnitt eines holistischen Leitbildes wider.[11] Da zur Analyse der hier untersuchten, dynamischen Marktveränderungsprozesse ein umfassendes Verständnis von Nachhaltigkeit und deren entsprechender Entwicklung wesentlich ist, werden in diesem Teilkapitel der Begriff der Nachhaltigkeit definiert (Abschnitt 2.1.1), relevante Konzepte vorgestellt (Abschnitt 2.1.2) und die Perspektive einer systemisch-nachhaltigen Entwicklung herausgearbeitet (Abschnitt 2.1.3). Schließlich werden die Nachhaltigkeitskonzepte zu einer Nachhaltigkeitssystematik vereint, welche als Gradmesser für die hier diskutierte technologische Diskontinuität dient (Abschnitt 2.1.4).

2.1.1 Historie und Definition des Nachhaltigkeitsbegriffs

Die Begriffe der **Nachhaltigkeit** bzw. der **nachhaltigen Entwicklung** treten seit den 1980er Jahren zunehmend als Leitbild bzw. normativer Handlungsrahmen für eine gesellschaftliche Entwicklung in den Fokus der öffentlichen Diskussion.[12] Als Grundlage einer adäquaten Definition des Nachhaltigkeitsbegriffs erfolgt ein kurzer Blick auf dessen Historie, in der eine Vielzahl unterschiedlicher Definitionen, Konzepte und Anwendungsbeispiele publiziert wurden. Die 1983 gegründete Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (WCED) legte 1987 mit der Publikation des Brundtland-Berichts unter dem Titel *Our Common Future*[13] den Grundstein einer modernen Definition von Nachhaltigkeit und seiner heutigen Bedeutung als Leitbild. Sie definiert nachhaltige Entwicklung als eine Entwicklung, die die Befriedigung der Bedürfnisse der lebenden Generationen ermöglicht, ohne dabei die Möglichkeiten der Be-

---

[11] Vgl. REMIGIJUS et al. 2009, Seite 31 f.

[12] Vgl. GRABE 2010, Seite 12. Der deutsche Begriff *Nachhaltigkeit* und der englische Ausdruck *sustainability* werden gemeinhin synonym verwendet. Vgl. GRABE 2010, Seite 16

[13] Vgl. BRUNDTLAND 1987, Seite 3

dürfnisbefriedigung künftiger Generationen zu gefährden.[14] Kern dieser Definition, der nachfolgende Umweltabkommen maßgeblich prägte,[15] ist die intertemporal-generationsübergreifende Perspektive der Bedürfnisbefriedigung. Diese ist gekoppelt mit der ethischen Komponente der Gleichbehandlung bzw. Chancengleichheit von Generationen, was Nachhaltigkeit zu einem gesellschaftlich-normativen Leitbild werden lässt, das eine globale, zukunftsorientierte Denkhaltung fordert.[16] Der Begriff Nachhaltigkeit bezeichnet was resilent, d. h. tragfähig und auf Dauer angelegt, ist, sodass es gegen den ökologischen, ökonomischen und sozialen Zusammenbruch standhält.[17] Hieraus wird ebenfalls der dreidimensionale Charakter des Nachhaltigkeitsbegriffs offensichtlich, der eine integrierte Perspektive aus ökonomischem, ökologischem und sozialem Blickwinkel fordert.[18] Auf Grundlage von Mehrdimensionalität und normativem Imperativ wurde in der Nachhaltigkeitsforschung verschiedentlich der Versuch unternommen, das Leitbild der Nachhaltigkeit in Form von Nachhaltigkeitskonzepten zu operationalisieren. Eine besondere Rolle nimmt dabei die Versorgungsreichweite bzw. Endlichkeit von Ressourcen ein,[19] die sowohl zur Erstellung als auch für den Betrieb von Technik benötigt werden. Technologische Neuerungen lassen sich demnach hinsichtlich ihres Bedarfs an endlichen Ressourcen bzw. ihres Potenzials für ökologisch nachhaltigen, technologischen Fortschritt bewerten. Diese Perspektive wird auch durch die in der Literatur verbreitete Haltung gestützt, dass, neben den in vielen Fällen die Diskussion dominierenden ökonomischen Perspektiven von Innovationen, ergänzend die Frage nach ökologischen und sozialen Potenzialen gestellt werden muss.[20] Auf diesen Zusammenhang wird innerhalb des Brundtland-Reports verwiesen, indem nachhaltige Entwicklung als eine Dynamik beschrieben wird, die die Exploitation von Ressourcen, die Richtung von Investitionen, die Orientierung technologischer Entwicklung und den institutionellen Wandel in eine Harmonie bringt und die sowohl das aktuelle als auch das künftige Potenzial zur Befriedigung menschlicher Bedürfnisse erhöht.[21] Diese Definition von Nachhaltigkeit verdeutlicht im Besonderen die Interdependenz zwischen der Nutzung von Ressourcen, Investitionen, technologischer Entwicklung und institutionellem Wandel. Eine Wechselbeziehung besteht zudem zwischen Nachhal-

---

14 Vgl. BRUNDTLAND 1987, Seite 54, Absatz 1, Satz 1. Vgl. in Ergänzung auch "Sustainable development seeks to meet the needs and aspirations of the present without compromising the ability to meet those of the future." BRUNDTLAND 1987, Seite 51, Absatz 49, Satz 1

15 Der Begriff Umwelt ist durch die anthropogene Perspektive geprägt und bezieht sich auf die Gesamtheit der den menschlichen Lebensraum definierenden natürlichen Gegebenheiten. Vgl. SIEBERT 1978, Seite 8

16 Vgl. BARTMANN 2001, Seite 50

17 Vgl. GROBER 2010, Seite 14

18 Vgl. KLÖPFER/GRAHL 2009, Seite 384 sowie tiefergehend zu den Dimensionen KOPFMÜLLER et al. 2001, Seite 47 ff. sowie VON HAUFF/KLEINE 2009, Seite 15 ff. Tabellarische Übersichten zu Problemen, Kriterien und Zielen der Nachhaltigkeitsdimensionen bietet ROGALL 2009 auf Seite 35 und Seite 46.

19 Vgl. KRÜGER/BIZER 2009, Seite 2

20 Vgl. KRÜGER/BIZER 2009, Seite 1

21 Vgl. BRUNDTLAND 1987, Seite 57, Absatz 15

tigkeit und technologischem Fortschritt, wobei letzterer als Ursache und Lösung von (v. a. ökologischen) Problemlagen identifiziert wird.[22]

2.1.2 Konzeptualisierung von Nachhaltigkeit

Zur Operationalisierung des Verständnisses von Nachhaltigkeit bzw. nachhaltiger Entwicklung wurden in der Nachhaltigkeitsforschung zahlreiche Konzepte entwickelt, die, ausgehend vom Brundtland-Report, von sehr einfachen bis zu mehrdimensional-komplexen Ansätzen reichen. Als Beurteilungsgrundlage bzw. Gradmesser dienen dabei konzeptabhängig die intra- und intergenerative Erhaltung von sozialem Wohlergehen,[23] die Bewahrung des vorhandenen Kapitalstocks oder die Begrenzung bzw. Minimierung negativer Auswirkungen anthropogenen Handelns. Die Operationalisierung eines Zielsystems erfolgt in zahlreichen Fällen mittels Indikatorsets, zum Teil auf mehreren Ebenen.[24] Die für diese Untersuchung wesentlichen Konzepte der Nachhaltigkeitsforschung werden im Folgenden vorgestellt.

Sehr schwache Nachhaltigkeit

Unmittelbares Resultat des Brundtland-Berichts ist das Konzept **sehr schwacher Nachhaltigkeit**. Als Gradmesser bzw. intergenerativer Zielparameter dient hier das soziale Wohlergehen, welches allerdings nicht näher detailliert wird. Prämisse für eine Einstufung als nachhaltig ist in diesem Rahmen lediglich die intertemporale Grundlage sozialen Wohlergehens. Die Art und Weise des Nachweises im Anwendungsfall bleibt unscharf. Die Beantwortung der Frage, ob das soziale Wohlergehen künftiger Generationen durch eine Entscheidung oder Verhaltensweise in der Gegenwart negativ beeinträchtigt wird, ist häufig kaum möglich oder nur subjektiv beantwortbar. Anthropogenes Verhalten, inkl. der Nutzung von Ressourcen, erfährt durch eine sehr schwach nachhaltige Grundorientierung kaum konkrete Einschränkungen, sodass praktisch kein Innovationsdruck resultiert.

Schwache Nachhaltigkeit

Das Konzept der **schwachen Nachhaltigkeit** geht zurück auf Pearce und Turner.[25] Es spiegelt die neoklassische Perspektive bzw. Operationalisierung des Nachhaltigkeitsgedankens wider und bemisst die Generationengerechtigkeit am Kapitalstock der Volkswirtschaft.[26] Dieser

---

22 Vgl. DOLATA 2008b, Seite 261

23 Vgl. HAGEMANN/VON HAUFF 2010, Seite 15 sowie VON HAUFF/JÖRG 2013, Seite 2

24 Indikatorsets sind Zielsysteme zur Messung bzw. Bewertung von Nachhaltigkeit und enthalten meist ebenenspezifische Zielparameter bzw. Grenzwerte. Vgl. KRÜGER/BIZER 2009, Seite 5 ff. sowie EDLER 2005, Seite 5 ff.

25 Vgl. PEARCE/TURNER 1990, Seite 43 ff.

26 Vgl. VON HAUFF/KLEINE 2009, Seite 24 ff. Aus neoklassischer bzw. umweltökonomischer Sicht lässt sich das Dilemma des beschleunigten Zusteuerns auf den Kollaps des globalen Ökosystems durch die Charakteristik der Umwelt als öffentliches bzw. Allmendegut erklären: Es tritt Nicht-Ausschließbarkeit sowie

wird im Rahmen der Nachhaltigkeitsforschung in natürliches und produziertes Kapital kategorisiert, wobei sich produziertes Kapital aus Sach-, Human- und Sozialkapital zusammensetzt.[27] Anders ausgedrückt ist produziertes Kapital verarbeitetes natürliches Kapital.[28] Während Sachkapital die Summe aus Maschinen und Anlagen darstellt, ist Humankapital die Summe der menschlichen Arbeitskräfte inkl. deren Qualifikationen und Fähigkeiten. Das Sozialkapital bildet die Anzahl und Eigenschaften bestehender Beziehungen ab. Natürliches Kapital bzw. Naturkapital dagegen umfasst die Quellen für Energie und Rohstoffe einschließlich der Flächen und Senken für Schadstoffe in Form von Luft, Boden und Wasser.[29] Zudem wird Naturkapital tiefergehend in erneuerbare und nicht-erneuerbare Anteile unterschieden.[30] Das Konzept der schwachen Nachhaltigkeit geht auf Basis dieses Kapitalverständnisses von vollständiger Substituierbarkeit der Kapitalformen aus.[31] Als Nachhaltigkeitsprämisse wird die Konstanz des Gesamtkapitalstocks und somit die Aufrechterhaltung der Summe aller Kapitalformen definiert, wobei, wie auch bei allen in der Folge dargestellten Nachhaltigkeitskonzepten, Umwandlungsverluste bei der Transformation von Kapital vernachlässigt werden.[32] Der Transfer dieses Nachhaltigkeitskonzeptes auf reales Wirtschaften führt dazu, dass jegliche Nutzung von Ressourcen, die zu einer Umwandlung in eine andere Kapitalform führt, zulässig ist, solange eine Kompensation in gleicher Höhe durch Steigerung der Summe einer anderen Kapitalform erfolgt. Der gesamte Kapitalstock der Volkswirtschaft bleibt somit in Summe erhalten. Diese Annahme vollständiger Substituierbarkeit ist kritisch zu sehen. So wäre bspw. ein Abholzen des globalen Waldbestandes nachhaltig, so lange das Naturkapital Wald entsprechend in Sachkapital, z. B. in Form von Häusern, umgewandelt würde. Allein dieses Beispiel verdeutlicht, dass in der Realität keine vollständige Substituierbarkeit vorliegen kann. Speziell bei natürlichem Kapital handelt es sich häufig um nicht substituierbare Ressourcen.[33] Da die Regenerationsfähigkeit natürlichen Kapitals im Konzept der schwachen Nachhaltigkeit

---

bedingt auch Nicht-Rivalität im Konsum auf, woraus eine Trittbrettfahrer-Mentalität resultiert. Ein Beispiel hierfür ist die Ozonschicht unserer Atmosphäre, deren Zersetzung trotz Bekanntheit ursächlicher Schadstoffe und resultierender negativer Auswirkungen durch zunehmende Emissionen beschleunigt wird. Auf Basis dieses Grundverständnisses werden Konzepte zu Internalisierung externer Umwelteffekte entwickelt, so z. B. die Verbriefung von Emissionsrechten oder Ökosteuern. Vgl. BRANDES et al. 1997, Seite 197 ff. sowie HOLZHAUSEN 2004, Seite 134 ff. und BAßELER et al. 2006, Seite 882 ff.

27 Vgl. REMIGIJUS et al. 2009, Seite 30 und KRUEGER/BIZER 2009, Seite 2

28 Vgl. KRUEGER/BIZER 2009, Seite 2

29 Natürliche Senken können Schadstoffe aufnehmen und sind somit das Gegenteil von Schadstoffquellen.

30 Die Beurteilung der Regenerier- bzw. Erneuerbarkeit von Kapital hängt stark vom Betrachtungszeitraum ab. So wird ein für die Holzgewinnung gefällter Baum sicherlich gemeinhin als regenerierbar bezeichnet, da innerhalb einer menschlichen Generation (wie im Brundtland-Bericht gefordert) bzw. weniger Jahrzehnte ein Baum nachwachsen kann. Nach der Verbrennung von Kohle hingegen benötigt deren Regeneration Zeiträume von Hunderttausenden bis Millionen Jahren, sodass fossile Energieträger als nicht regenerativ gelten.

31 Vgl. EDLER 2005, Seite 2 sowie DALY 2007, Seite 15

32 Diese Modellierung erfolgt analog der Vernachlässigung von Reibung in physikalischen Modellen.

33 Vgl. KRÜGER/BIZER 2009, Seite 3

eine untergeordnete Rolle spielt, ist das Konzept als anthropozentrisch einzustufen.[34] Zudem führt es aufgrund der Annahme vollständiger Substituierbarkeit der Kapitalformen nur bedingt zu Innovationsdruck, da eine massive Ausbeutung von Ressourcen bis zu deren Erschöpfung zulässig ist.

Starke Nachhaltigkeit

Das von Daly entwickelte Konzept der **starken Nachhaltigkeit** basiert ebenfalls auf der Kapitalstockperspektive.[35] Es entspricht der Perspektive der ökologischen Ökonomik.[36] Grundlage dieser Operationalisierung von Nachhaltigkeit ist die Verschiebung der wachstums- bzw. entwicklungsbegrenzenden Parameter durch die Industrialisierung.[37] Natürliches und produziertes Kapital werden nicht als substitutiv, sondern als komplementär wahrgenommen, wobei das vorhandene natürliche Kapital aufgrund seiner Eigenschaft als entwicklungsbegrenzender Faktor erhalten werden muss.[38] Aus dieser Haltung ergeben sich biophysische Grenzen ökonomischen Wachstums, die entweder durch begrenzte ökologische Verfügbarkeit an Rohmaterial und Energie oder durch eingeschränkte Belastbarkeit natürlicher Senken für Schadstoffe und Energie begründet sind.[39] Daly nennt in diesem Rahmen eine Entwicklung der Überkompensation des Wohlstandsgewinns einer Produktionssteigerung (utility) durch dafür aufgewendete Ressourcen (disutility), d. h. das Phänomen einer negativen Aufwand-Nutzen-Bilanz bzgl. des gesellschaftlichen Wohlergehens, *unökonomisches Wachstum*.[40] Nachhaltige Entwicklung impliziert demnach die Rücksichtnahme auf ökologische Einschränkungen in Form von absorptiven und regenerativen Kapazitäten.[41] Die im Rahmen der schwachen Nachhaltigkeit unterstellte Substituierbarkeit zwischen natürlichem und produziertem Kapital wird verworfen und durch eine komplementäre Auffassung der Kapitalformen ersetzt, sodass sich die Erhaltung dieser Kapitalstöcke als Nachhaltigkeitsprämisse ergibt. Hieraus folgt, dass praktisch keine wirtschaftlichen Aktivitäten als nachhaltig gelten, die auf nicht regenerierbare

---

34 Vgl. STEURER 2001, Seite 552

35 Vgl. DALY 1996, Seite 76

36 Vgl. VON HAUFF/KLEINE 2009, Seite 29 ff. Da Märkte prinzipiell nur die Bedürfnisse der lebenden Menschen berücksichtigen, fokussiert die ökologische Ökonomik über Externalitäten hinaus auch den intergenerativen Zusammenhang von Ursache und Auswirkung der Beeinträchtigung des Ökosystems. Es wird eine langfristige, generationsübergreifende Verfügbarkeit der Kapitalarten (intertemporale Allokation) angestrebt. Vgl. BAßELER et al. 2006, Seite 882 ff.

37 Während bspw. beim Fischfang in Zeiten vor der Industrialisierung die Fischereikapazitäten (v. a. die Anzahl der Boote) den begrenzenden Faktor bildeten, sind es heute die Fischbestände. Die Perspektive der schwachen Nachhaltigkeit unterstellt in diesem Fall, man könne diesem Problem mit mehr Fischerbooten begegnen, was offensichtlich nicht korrekt ist. Vgl. DALY 2007, Seite 15

38 Vgl. DALY 1990, Seite 3 und DALY 2007, Seite 15

39 Vgl. DALY 1996, Seite 159

40 Vgl. DALY 1990, Seite 5 und DALY 2007, Seite 16 f.

41 Vgl. DALY 1990, Seite 2 sowie DALY 1996, Seite 165

Ressourcen zurückgreifen.[42] Es ergibt sich lediglich eine Ausnahme, wenn die Reduktion nicht erneuerbarer Kapitalanteile durch aktive Regenerationsmaßnamen bei erneuerbaren Anteilen im gleichen Sektor kompensiert wird.[43] Für regenerierbare Ressourcen ergibt sich eine Nutzungsgrenze auf dem Niveau ihrer Regenerationsfähigkeit. Zusammenfassend darf die Nutzungsrate natürlichen Kapitals im Konzept starker Nachhaltigkeit maximal dessen Regenerationsrate entsprechen.[44] Wirtschaftliche Aktivitäten sind somit im Allgemeinen nur bedingt möglich, sodass dieses Konzept in der Realität kaum einzuhalten ist.[45] Stark nachhaltige Entwicklung führt in einer Volkswirtschaft aufgrund der Komplementarität der Kapitalformen zu hohem Innovationsdruck, da die Nutzung natürlicher Ressourcen nur eingeschränkt möglich ist. Aufgrund der starken Orientierung an der Erhaltung des Naturkapitals ist dieses Konzept als ökozentrisch einzustufen.[46]

Vernünftige Nachhaltigkeit

Das Konzept der **vernünftigen Nachhaltigkeit** geht zurück auf Serageldin und nimmt eine Mittelstellung zwischen starker und schwacher Nachhaltigkeit ein, indem es die Homogenität der Kapitalarten aufgibt und von partieller gegenseitiger Substituierbarkeit ausgeht.[47] Dieser Ansatz wird zum Teil auch als *ausgewogene Nachhaltigkeit* bezeichnet.[48] Die Formen des Kapitals, und somit auch das natürliche Kapital, werden in einen nicht substituierbaren (essenziellen) und einen substituierbaren (nicht essenziellen) Anteil getrennt,[49] wobei Identifikation und Schutz der essenziellen Bestandteile die zentrale Herausforderung darstellen.[50] Die nicht substituierbaren Anteile müssen stark nachhaltig behandelt werden, d. h. ihre Kapitalsumme wird erhalten. Nicht essenzielle Kapitalanteile dagegen dürfen schwach nachhaltig konsumiert bzw. substituiert werden. Wie bei den vorherigen Konzepten muss auch bei vernünftiger Nachhaltigkeit der gesamtvolkswirtschaftliche Kapitalstock erhalten werden. Um eine vernünftig nachhaltige Entwicklung anzustreben, muss ferner die Nutzung essenzieller Kapitalanteile auf maximal das regenerative Niveau reduziert bzw. durch Entwicklung von

---

42 Vgl. KRÜGER/BIZER 2009, Seite 3

43 Diese intrasektorale Substitution ist jedoch kritisch zu werten, da unklar bleibt wie z. B. der Verbrauch fossiler Energieträger durch Aufforstung substitutier- bzw. kompensierbar sein soll.

44 Vgl. HOFF 2012, Seite 11

45 Vgl. EDLER 2005, Seite 2

46 Vgl. STEURER 2001, Seite 555

47 Vgl. SERAGELDIN 1996, Seite 8. Der Autor betont, dass natürliches und durch den Menschen erstelltes Kapital sowohl substituierbare als auch komplementäre Anteile aufweist. Da allerdings die Substituierbarkeitsgrenzen der Kapitalformen unklar sind, muss das Vorsichtsprinzip gelten und im Zweifel von Komplementarität ausgegangen werden, insbesondere bei Naturkapital.

48 Vgl. VON HAUFF/JÖRG 2013, Seite 130 ff.

49 Vgl. KRÜDER/BIZER 2009, Seite 3

50 Vgl. EDLER 2005, Seite 2

Backstop-Technologien beendet werden.[51] Diese Art der Problemlösung im Umgang mit ökologischen Knappheitsgrenzen basiert auf technologischem Optimismus,[52] d. h. einem Hoffen auf Problembewältigung mittels technischer Innovationen.[53] Der konzeptionelle Mittelweg vernünftiger Nachhaltigkeit führt zu sehr hohem Innovationsdruck auf Seiten der stark nachhaltig zu behandelnden essenziellen und zu geringem Innovationsdruck auf Seiten der substituierbaren Kapitalanteile. Das Konzept nimmt somit mit seiner öko-anthropozentrischen Ausrichtung auch hinsichtlich der Stimulation von Innovation eine Mittelstellung ein.[54]

Ökologischer Fußabdruck

Neben den bisher dargestellten Operationalisierungen von Nachhaltigkeit zur Erhaltung des Kapitalstocks besteht ein alternativer, physisch ausgerichteter Ansatz darin, die Konsequenzen bzw. negativen Auswirkungen anthropogener Nutzung von Kapital zum Maßstab nachhaltiger Entwicklung zu machen.[55] Dieses als **ökologischer Fußabdruck** (*ecological footprint*) bezeichnete Konzept fokussiert, auch aufgrund der Problematik der Erfassung des Bestands natürlichen Kapitals, besonders auf die Quantifizierung der Grenzen der Naturbelastung.[56] Erweiterungen dieses Ansatzes stellen auf die Analyse von Flussgrößen ab und ermöglichen die Transformation des Konzepts auf produziertes Kapital.[57] Auf diese Weise können auch ökonomische Güterströme, physische Energie- und Stoffströme oder auch Flächenverbräuche zur Bewertung nachhaltiger Entwicklung herangezogen werden.[58] Die Betrachtung physischer Stoffströme zeigt sich besonders in Bereichen als vorteilhaft, in denen die Politik Einfluss auf Stoffströme hat, die Kapitalbestände allerdings unbekannt sind.[59] Die Anwendung des physisch ausgerichteten Nachhaltigkeitsansatzes des ökologischen Fußabdrucks führt v. a. dort zu hohem Innovationsdruck, wo natürliche Schadstoffsenken wie Luft, Boden und Wasser übermäßig beansprucht werden. Ein Beispiel hierfür ist der Ausstoß von Schadgasen in die Atmosphäre.

---

51 *Backstop*-Technologien nutzen unbegrenzt zur Verfügung stehende Ressourcen, wie z. B. Sonnenlicht oder Wind, und substituieren bisherige Technologien, die auf die Nutzung begrenzt verfügbarer Ressourcen angewiesen waren. Vgl. POPP 2006, Seite 188 ff. bzw. Abschnitt 3.3.2

52 Vgl. SOLOW 1974, Seite 10 f. und DUJMOVITS 2009, Seite 2. Zum Konzept einer technologiegeleiteten Klimapolitik vgl. GALIANA/GREEN 2009, Seite 1 ff. In diesem Kontext bezeichnet der Ansatz des *technological utopianism* die Überzeugung technologiebasiert eine perfekte Gesellschaft erschaffen zu können. Vgl. SEGAL 2005, Seite 10

53 Vgl. WEHRSPAUN 2012, Seite 57

54 Vgl. STEURER 2001, Seite 557

55 Vgl. EDLER 2005, Seite 3

56 Vgl. BOULDING 1978 und DALY 1996, Seite 165

57 Vgl. HINTERBERGER et al. 1997

58 Vgl. KRÜGER/BIZER 2009, Seite 4

59 Vgl. EDLER 2005, Seite 3

2.1.3 Systemische Perspektive nachhaltiger Entwicklung

Basierend auf der Mehrdimensionalität des Leitbildes der Nachhaltigkeit versteht die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages Nachhaltigkeit als in ökonomischer, ökologischer und sozialer Hinsicht dauerhaft zukunftsfähige Entwicklung, im Rahmen derer die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit in Wechselwirkung stehen und langfristig ausgewogene Koordination erfordern.[60] Diese Auffassung versteht Nachhaltigkeit als komplexes System, das aus interagierenden, gleichrangigen Subsystemen ökologischer, ökonomischer und sozialer Art besteht,[61] deren Beziehungen auch durch ethische Aspekte geprägt werden.[62] Jedes Subsystem weist eigene Dynamiken, Gesetzmäßigkeiten sowie räumliche und zeitliche Strukturen auf, wobei nur eine simultane Erhaltung der Funktionsdynamiken aller drei Einzelsysteme Funktion und Resistenz des Gesamtsystems gewährleistet.[63] Nachhaltige Entwicklung ist somit als komplexe Koevolution mit dem Ziel inter- und intragenerationeller Gerechtigkeit zu verstehen, die konfligierende Such-, Lern- und Gestaltungsprozesse heterogener Akteure einschließt.[64] Neben den Ebenen systemischer Nachhaltigkeit ergeben sich bei der Anwendung des Leitbildes allerdings auch unterschiedliche Anwendungsebenen, die von supranationaler Perspektive (z. B. Kyoto-Protokoll) bis zur Akteursebene (Nachhaltige Unternehmensführung z. B. durch Corporate Social Responsibility) reichen.[65] Nachhaltige Entwicklung kann durch Innovationen begünstigt oder gar erzielt werden,[66] wobei im Rahmen dieser Untersuchung technische Innovationen bzw. technischer Fortschritt als Lösungsmechanismus im Vordergrund stehen. Diese stehen wiederum in einem systemischen Zusammenhang mit anderen Innovationsformen, bspw. bedingen sie Veränderungen im Verhalten oder in Institutionen bzw. umgekehrt.[67] Innovationen können in diesem Zusammenhang nachhaltige Entwicklung begünstigen. Zur Erschließung dieses Potenzials bedarf es allerdings eines spezifischen Anreizsystems aus Ziel-, Regel-, Sanktions- und Informationssystem, das einen wirtschaftspolitischen Rahmen bildet.[68] Ein Erreichen selbst bescheidener Umweltziele erfordert in diesem

---

60 Vgl. BUNDESTAG 1998, Seite 16 ff. sowie Seite 47

61 Die Gleichrangigkeit der drei Subsysteme wird zum Teil kritisiert. So forderte bspw. 2002 der Sachverständigenrat des Bundestages für Umweltfragen einen ökologischen Fokus. Damit trägt er der Tatsache Rechnung, dass im Umweltschutz im Vergleich zu ökonomischen und sozialen Zielen umfangreicher Nachholbedarf existiert und im Hinblick auf langfristige Stabilisierung die größten Defizite vorhanden sind. Vgl. BUNDESTAG 2002, Seite 68

62 Vgl. REMIGIJUS et al. 2009, Seite 32 ff.

63 Vgl. EDLER 2005, Seite 3 sowie REMIGIJUS et al. 2009, Seite 33

64 Vgl. HEINRICHS et al. 2011, Seite 11 und GRABE 2010, Seite 17 ff.

65 Vgl. BRUNNER 2006, Seite 19 ff.

66 Vgl. KRÜGER/BIZER 2009, Seite 12 ff. sowie beispielhaft die innovationspolitischen Anstrengungen der Bundesrepublik Deutschland mit dem Ziel, durch Intensivierung von Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen Produktions- und Konsummuster in Richtung Nachhaltigkeit weiterzuentwickeln und so Generationengerechtigkeit zu erreichen. Vgl. DESTATIS 2012, Seite 24

67 Vgl. MAJER 1998, Seite 230

68 Vgl. REMIGIJUS et al. 2009, Seite 34 sowie KRÜGER/BIZER 2009, Seite 12 ff.

Rahmen tiefgreifende Innovationen.[69] Abschließend bleibt festzuhalten, dass, abweichend vom Leitbild der Nachhaltigkeit, in etablierten marktwirtschaftlichen Systemen die ökonomische Dimension offensichtlich gegenüber der sozialen und v. a. der ökologischen dominant ist. Zur Lösung resultierender Probleme ist ein Paradigmenwechsel hin zu dreidimensionaler Gleichrangigkeit entscheidend, der lediglich in einem langfristigen Prozess entlang des Pfades nachhaltiger Entwicklung realisierbar ist.[70]

2.1.4 Nachhaltigkeitssystematik dieser Untersuchung

Ziel dieses Abschnittes ist die Entwicklung einer Nachhaltigkeitssystematik als Gradmesser für den hier diskutierten technologischen Paradigmenwechsel, wobei zuerst eine kritische Reflexion des bereits dargestellten Standes der Nachhaltigkeitsforschung erfolgt. Vorab soll betont werden, dass Nachhaltigkeit in ihrer idealisierten Form als **utopisch** bezeichnet werden kann.[71] Grund dafür ist, neben der Dynamik der Nachhaltigkeit und ihrer Beurteilung vor aktuellem Werte-, Wissens- und Verständnishintergrund, besonders auch die ambitionierte Ausrichtung dieses Leitbildes.[72] Das normativ-ethische Prinzip der Nachhaltigkeit wird deshalb in der Literatur u. a. als ethischer Idealzustand bezeichnet.[73] Der ambitionierte Charakter von Nachhaltigkeit wird auch daran deutlich, dass die aktuelle Entwicklung massiv Restriktionen sowohl schwacher als auch starker Nachhaltigkeit verletzt.[74] Dabei ist jüngst v. a. die **ökologische Dimension problematisch**, die zunehmend zum Hohlweg wirtschaftlicher Entwicklung wird und folglich eine besondere Position einnimmt.[75] Für die Umweltpolitik ergibt sich daraus die Empfehlung einer Investitionsstrategie in Naturkapital, wobei die Erhaltungsregel als Verschlechterungsverbot, die Investitionsregel als Verbesserungsauftrag zu verstehen ist.[76] Der bisherige Stand der Wissenschaft zeigt, dass die konkurrierenden Konzepte schwacher und starker Nachhaltigkeit wegen ihrer Grundannahmen (v. a. bzgl. der Substituierbarkeit) weder als korrekt nachgewiesen, noch falsifiziert werden können.[77] Dies gilt in der Folge konsequenterweise auch für ihre Kombination im Konzept vernünftiger Nachhaltigkeit. Die

---

69 Vgl. RENNINGS 2005, Seite 2

70 Vgl. VON HAUFF/KLEINE 2009, Seite 9 ff. und HAGEMANN/VON HAUFF 2010, Seite 16 sowie VON HAUFF/JÖRG 2013, Seite 11 ff.

71 Vgl. HEDRÉN 2009, Seite 220

72 Wehrspaun fordert vor diesem Hintergrund eine erhebliche Dynamisierung des Nachhaltigkeitsverständnisses aus evolutorisch-konstruktivistischer Perspektive, die im Einklang mit den Impulsen Schumpeters über die bloße Wiederherstellung von Gleichgewichten hinausgeht. Vgl. WEHRSPAUN 2012, Seite 58

73 Vgl. REMIGIJUS et al. 2009, Seite 30

74 Diese Nachhaltigkeitsrestriktionen werden in der Literatur als *sustainability constraints* bezeichnet. Vgl. DÖRING 2004, Seite 16

75 Vgl. BUNDESTAG 2002, Seite 68

76 Vgl. DÖRING 2004, Seite 7

77 Vgl. NEUMEYER 2010, Seite 3. Die Korrektheit von Nachhaltigkeitskonzepten hängt von der (axiomartigen) Akzeptanz ihrer Grundannahmen bzgl. technischem Fortschritt (*Backstop*-Technologien) und Substituierbarkeit ab, die entweder nicht zugelassen oder intra- bzw. intersektoral möglich sein kann. Vgl. für eine Diskussion dieses Aspekts NEUMEYER 2010, Seite 45 ff.

Annahme vollständiger Substituierbarkeit im Rahmen der schwachen Nachhaltigkeit erlaubt den offensichtlich übermäßigen Konsum von Naturkapital bis hin zu einer künstlichen Welt ohne natürliches Kapital.[78] Demgegenüber stellt sich bei starker Nachhaltigkeit die Frage nach der Zulässigkeit der Substitution innerhalb eines Kapitalblocks, deren Verneinung offensichtlich das Ende jeglicher Wirtschaftstätigkeit bedingt.[79] Umgekehrt bleibt ebenfalls fraglich, inwiefern der Konsum von Erdöl durch Aufforstung, jedoch nicht durch Wissen wie z. B. Technologien zur Kraftstoffeinsparung, substituierbar sein soll. Bei Kombination dieser Konzepte im Rahmen vernünftiger Nachhaltigkeit verbleibt zusätzlich die Schwierigkeit der Identifikation und Mengenerfassung essenzieller bzw. nicht substituierbarer Anteile. Diese Herausforderung tritt im Besonderen bei natürlichem Kapital auf,[80] sodass eine alternative bzw. ergänzende Konzeptualisierung für die ökologische Dimension entwickelt wurde. Der ökologische Fußabdruck konzentriert sich nicht auf die vorhandene Menge und Substitution von natürlichem Kapital, sondern auf die Auswirkungen seiner Nutzung. Das Konzept ist aufgrund dieser abweichenden Perspektive nicht direkt vergleichbar, bietet sich jedoch aufgrund seiner Analytik besonders im Bereich natürlicher Schadstoffsenken an.

Auf Basis dieser kurzen Vorstellung und Kritik grundlegender Konzeptualisierungen von Nachhaltigkeit und entsprechender Entwicklung, wird nun die auf das Untersuchungsobjekt zugeschnittene **Nachhaltigkeitssystematik** vorgestellt. Diese wird im Fortgang zur Analyse und Beurteilung des Nachhaltigkeitspotenzials technologischer Paradigmen dienen. Um dabei die restriktive Wirkung einer einseitigen Fokussierung auf ein singuläres Konzept zu vermeiden, erfolgt eine systematische Verkettung bisheriger Ansätze. Diese Kombinatorik führt zu einer integrierten Nachhaltigkeitssystematik, die im weiteren Verlauf eine übergreifende Argumentation auf verschiedenen Ebenen ermöglicht. Grundsätzlich stützt sich der Ansatz auf das etablierte **Drei-Säulen-Modell** mit ökologischer, ökonomischer und sozialer Dimension. Entgegen der zum Teil geforderten Priorisierung der ökologischen Nachhaltigkeitsdimension werden die drei Säulen hier als gleichrangig eingestuft. Der sich verdichtenden Rolle der Ökologie als entwicklungsbegrenzender Faktor wird dadurch Rechnung getragen, dass hier problembezogen das Nachhaltigkeitskonzept des ökologischen Fußabdrucks, ergänzend zur Kapitalstockperspektive, in die Argumentation einbezogen wird. Auf diese Weise wird eine auf Auswirkungen und Belastungsgrenzen zugeschnittene Beweisführung ökologischer Nachhaltigkeitsstörungen ermöglicht, ohne dass eine *primus inter pares*-Stellung der ökologischen Dimension entsteht.

Die analytische Einnahme der **Kapitalstockperspektive** erfolgt für die ökonomische und soziale Dimension sowie ergänzend für Quellen im Bereich des natürlichen Kapitals. Auf diese

---

78 Vgl. DÖRING 2004, Seite 5
79 Vgl. RADTKE 2001, Seite 76
80 Vgl. DÖRING 2004, Seite 6

Weise ist deren Analyse und Bewertung mit dem Instrumentarium schwacher, starker sowie vernünftiger Nachhaltigkeit in Abhängigkeit von der Nutzungsintensität des Kapitals möglich. Erstes wesentliches Kriterium ist dabei die Substituierbarkeit bzw. das **aktive Substitutionsverhalten**. Dieses kann grundsätzlich ausbleiben, kapitalstockübergreifend oder -intern erfolgen. Zweites wesentliches Kriterium ist das **Nutzungsverhalten bzw. die Nutzungsintensität**. Hier kann entweder völlig auf eine Verwendung verzichtet werden, oder diese in zwei Intensitätsstufen erfolgen. Erstere bezieht sich ausschließlich auf erneuerbare Kapitalanteile und beschränkt deren Nutzung auf ihr regeneratives Potenzial. Entsprechend erfolgt die Verwendung im Maximum entweder auf dem Niveau der Regenerationsrate oder intragenerativ, wobei eine natürliche Kompensation durch Regeneration innerhalb einer Generation sichergestellt werden muss. In diese Kategorie fallen im Besonderen die lebenden Teile der Natur, teilweise Energie- und Stoffkreisläufe wie z. B. Regenwasser, aber auch nach menschlichen Maßstäben unbegrenzt zur Verfügung stehende Ressourcen, wie z. B. Sonnenlicht.[81] Der durch natürliche Regeneration entstehende Kompensationseffekt einer Kapitalnutzung wird in der Nachhaltigkeitssystematik dieser Untersuchung ausdrücklich von aktiven Substitutionsmaßnahmen unterschieden, da sich aus singulärem bzw. kombiniertem Auftreten dieser Phänomene unterschiedliche Konsequenzen für die Nachhaltigkeitsbeurteilung ergeben. Die zweite Stufe der Nutzungsintensität von Kapital bildet die Verwendung nicht erneuerbarer Anteile, welche die Nutzung erneuerbarer Anteile oberhalb ihrer Regenerationsrate einschließt. Diese Verhaltensoption führt zu der Konsequenz, dass das gleiche Kapital der folgenden Generation keinesfalls erneut zur Verfügung steht, da maximal eine Substitution innerhalb der Kapitalform möglich ist. Die kapitalstockbezogenen Auswirkungen der Kombination von Nutzungs- und Substitutionsverhalten lassen sich somit wie in Abb. 2-1 dargestellt systematisieren.

Einfachster (aber unrealistischer) Fall ist der **Verzicht auf die Verwendung von Kapital**, da hier offensichtlich keine Substitution nötig ist. Folglich ergibt sich entweder eine Erhaltung (S0) oder, im Falle sich regenerativ erzeugender Anteile wie z. B. Wald, ein Wachstum (S+) der Kapitalsumme, sodass in jedem Fall starke Nachhaltigkeit vorliegt. Demgegenüber steht die **Nutzung nicht regenerativer Kapitalanteile**, für die sich abhängig vom Substitutionsverhalten unterschiedliche Nachhaltigkeitsinterpretationen ergeben. Erfolgt keine Substitution, d. h. die Kapitalverwendung führt nicht zu einer Umwandlung in eine andere Kapitalform, liegt eine nicht nachhaltige Kapitalvernichtung bei sinkender Kapitalsumme vor (N-). Führt die Nutzung zu einer Wandlung des Kapitals in eine andere Form, so ist die Kapitalsumme insgesamt konstant, sodass sich schwache Nachhaltigkeit ergibt (W0).

---

[81] Aus Sicht menschlicher Zeitmaßstäbe praktisch unbegrenzt zur Verfügung stehende Ressourcen, wie z. B. Wind oder Sonnenlicht, werden hier als mit unbegrenzter Regenerationsfähigkeit angenommen und sind somit in die Kategorie erneuerbarer Kapitalanteile zu subsummieren.

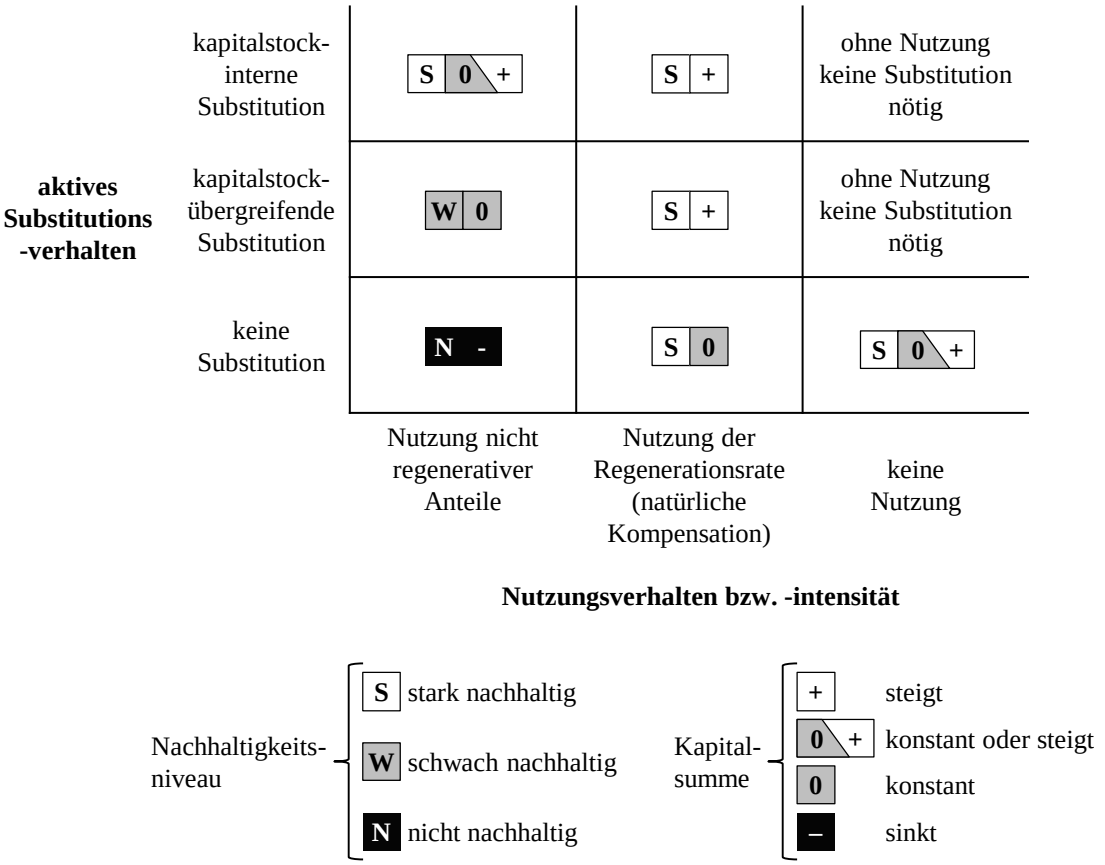


Abb. 2-1: Nachhaltigkeitssystematik dieser Untersuchung aus Kapitalstockperspektive[82]

Starke Nachhaltigkeit ist bei wirtschaftlicher Nutzung nicht regenerativer Anteile lediglich durch zusätzliche, aktive Substitutionsaktivitäten erzielbar, die kapitalformintern mindestens eine Kompensationsleistung im Umfang des entzogenen Kapitals erreichen müssen (S0/+). Aufgrund des enormen Substitutionsaufwands wird eine breite wirtschaftliche Entwicklung unter dieser Restriktion als unrealistisch bewertet. Eine dritte Verhaltenskategorie ergibt sich im Falle der **Beschränkung der Nutzung auf erneuerbare Kapitalanteile**, wobei das intragenerativ-regenerative Potenzial als Maximum der Nutzungsintensität einzuhalten ist. Die Einhaltung dieser Restriktion führt selbst im Falle ausbleibender Substitution durch natürliche Kompensation zu einer Kategorisierung des Verhaltens als stark nachhaltig (S0). Wird diese natürliche Kompensation durch Substitution innerhalb oder zwischen den Kapitalformen ergänzt, so resultiert daraus ebenfalls starke Nachhaltigkeit, wobei die Kapitalsumme insgesamt sogar steigt (S+).

Aus Kapitalstockperspektive muss die **Zielsetzung** folglich eine Gestaltung wirtschaftlicher Aktivitäten in der Art sein, dass diese sich in möglichst hohem Maße erneuerbarer Kapitalan-

[82] Eigene Darstellung

teile bedienen. Konsequenterweise muss dazu die Nutzung nicht regenerativer Anteile minimiert werden. Dies kann kurzfristig bzw. vorübergehend durch Effizienztechnologien erfolgen, langfristig kann eine Unabhängigkeit von nicht regenerativen Kapitalanteilen allerdings v. a. durch alternative Technologien (z. B. *Backstop*-Technologien) erreicht werden. Nach der Diffusion derartiger Technologien muss ein Effizienzgewinn angestrebt werden, der die Kapitalnutzung maximal auf einem intragenerativ-regenerativen Niveau ermöglicht und so die intergenerative Erhaltung der einzelnen Kapitalgüter sicherstellt. Dieses Ergebnis stimmt mit der Auffassung überein, dass es im Kern der Nachhaltigkeitsdebatte u. a. darum geht, erschöpfbare natürliche Ressourcen mittels technologischen Fortschritts durch regenerative Ressourcen zu ersetzen sowie deren Nutzungseffizienz zu steigern.[83]

Die Perspektive des **ökologischen Fußabdrucks** bzw. der physischen Nachhaltigkeit ergänzt die kapitalstockbasierte Sichtweise, um die wachsende Bedeutung der ökologischen Säule als Engpass wirtschaftlicher Entwicklung zu berücksichtigen. Speziell den zunehmend überbeanspruchten natürlichen Schadstoffsenken kommt durch diesen Blickwinkel eine gesonderte Beachtung als kritische Faktoren der ökologischen Tragfähigkeit unseres Planeten zu, die bei der Bewertung des Nachhaltigkeitspotenzials von Technologien einzubeziehen ist.[84] Die argumentative Integration des ökologischen Fußabdrucks ermöglicht die Überwindung der Substitutionsproblematik, die auch im Konzept starker Nachhaltigkeit lediglich in das Naturkapital verlagert wird.[85] Besonders offensichtlich wird dieser Zusammenhang bei als stark nachhaltig zu kategorisierenden Beispielen, wie der Substitution von Trinkwasser durch Tierbestände. Die Analyse von Belastungsgrenzen und Stoffströmen zeigt hingegen deutlicher, zu welchen Konsequenzen die (Über-) Beanspruchung von Schadstoffsenken führt, da diese eher prognostizierbar sind als die Auswirkung ihrer Nutzung auf den Kapitalbestand. Diese besondere Behandlung ökologischer Schadstoffsenken bedeutet allerdings nicht, dass die ökologische Dimension, wie zum Teil in der wissenschaftlichen Diskussion gefordert, eine höhere Wertigkeit besitzt bzw. eine *primus inter pares*-Position einnimmt. Wie bereits zu Beginn dieses Teilkapitels erwähnt, sind die drei Säulen der Nachhaltigkeit im hier geltenden Nachhaltigkeitsansatz als gleichwertig definiert.

Zusammenfassend ergibt sich somit für den weiteren Verlauf der Untersuchung eine Nachhaltigkeitssystematik, die abhängig von Nutzungsintensität, Substitutionsverhalten und Nachhaltigkeitsdimension argumentativ eine Kombination aus Auswirkungs- und Kapitalstockperspektive ermöglicht. Diese bildet die Grundlage zur Bewertung des Potenzials technologi-

---

83 Diese Auffassung vertreten auch HELD/NUTZINGER 2001, Seite 32 und DÖRING 2004, Seite 9

84 Vgl. HINTERBERGER et al. 1997, Seite 8

85 Vgl. DÖRING 2004, Seite 24

scher Paradigmen bzw. deren Eignung vorhandene Trajektorien in Konsum und Produktion durch nachhaltigere zu ersetzen.[86]

2.2 Innovation und technologischer Wandel

Dieses Teilkapitel beschäftigt sich mit Innovation und technologischer Entwicklung aus der Perspektive der Innovationsökonomik. Dabei finden nach der Definition wesentlicher Grundlagen (Abschnitt 2.2.1) und einer Abgrenzung zur neoklassischen Betrachtungsweise (Abschnitt 2.2.2), die für die vorliegende Untersuchung im Speziellen relevanten Perspektiven der neuen Innovationsökonomik (Abschnitt 2.2.3) besondere Berücksichtigung.

2.2.1 Grundlagen

Dieser Abschnitt beschäftigt sich grundlegend mit Innovation und Innovationsökonomik (Absatz 2.2.1.1), der Inhalts- und Intensitäts- (Absatz 2.2.1.2) sowie der Prozessdimension (Absatz 2.2.1.3) von Innovation und den übergeordneten Ebenen technischen Wandels sowie ökonomischer Entwicklung (Absatz 2.2.1.4).

2.2.1.1 Innovation und Innovationsökonomik

Die etymologischen Wurzeln des Innovationsbegriffs liegen im lateinischen Verb *innovare*, das im Deutschen *erneuern* oder *verändern* bedeutet. Die unternehmenszentrierte Definition des Innovationsbegriffs geht zurück auf Josef A. Schumpeter der von *neuen Kombinationen* und deren Durchsetzung spricht, die in Form (qualitativ) neuer Produkte, (Produktions-) Prozesse, Bezugsquellen, Absatzmärkte sowie Organisationsformen erfolgen kann und diskontinuierlich auftritt.[87] Bereits diese Definition beinhaltet zwei wesentliche Aspekte von Innovation. Das erstes Element ist die Kreation neuer Kombinationen, die **Invention** bzw. Erfindung, wobei die Neuartigkeit das Kernkriterium darstellt. Zweiter Baustein ist die kommerzielle Verwertung bzw. das Erreichen des Marktes durch die neue Kombination, d. h. mindestens beginnende **Diffusion**, wobei der Markterfolg das wesentliche Kriterium ist.[88] Innovationen entstehen folglich, im Gegensatz zu Inventionen, in der ökonomischen Sphäre mit klarer Kommerzialisierungsabsicht.[89] Die Funktion von Innovation ist entsprechend die Einführung von Neuerungen in die ökonomische Sphäre.[90] Whitehead erkannte in diesem Zusammenhang

---

86 Vgl. MULDER et al. 1999, Seite 20

87 Vgl. SCHUMPETER 1934, Seite 100 f.

88 Die Definition des Innovationsphänomens über den Markterfolg führt zu einer ex-post-Identifikation von Innovationen, was erhebliche Auswirkungen auf Innovationsprojekte bzw. -prozesse hat. Vgl. MISCHKE 2007, Seite 39 f.

89 Vgl. FAGERBERG 2003, Seite 131. Es sei angemerkt, dass die Absicht zu Kommerzialisierung für eine Innovation notwendig, aber nicht hinreichend ist, da das Kriterium beginnender Diffusion den Absatz mindestens eines Objektes von Anbieter an Nachfrager voraussetzt.

90 Vgl. FAGERBERG 2005, Seite 20

bereits 1926, dass für eine Innovation die Überbrückung der Lücke zwischen wissenschaftlicher Theorie und deren Nutzbarmachung im Produkt entscheidend ist.[91] Nicht jede Invention kann sich allerdings am Markt durchsetzen, also Grundlage einer Innovation sein, sodass Invention keine hinreichende Bedingung für Innovation ist. Weiterhin folgt nicht jeder Innovation umfangreiche **Diffusion**, d. h. zahlreiche Innovationen erfahren trotz anfänglicher Akzeptanz erster Nachfrager keine marktdurchdringende Verbreitung und scheitern deshalb letztendlich, zum Teil mit ruinösen Auswirkungen.[92] Innovation ist als Generierung und Vermarktung von Neuerungen in hohem Maße **unsicher**.[93] Es werden auf **Anbieterseite** sowohl fachliche bzw. technische als auch kommerzielle Kenntnisse benötigt, um die geforderte Fusion zwischen Angebot und Nachfrage zu erzielen. Aufgrund der für die Kommerzialisierung entscheidenden Rolle der **Nachfrage** spielen neben Unternehmungen auch Kunden durch Veränderungen ihrer Bedürfnis- und Nachfragestruktur eine wesentliche Rolle.[94] Von der Innovation ist neben der Invention auch die **Imitation** zu differenzieren, die statt einer neuen Kombination eine Reproduktion bekannter bzw. vorhandener Kombinationen darstellt und für die Diffusion eine wesentliche Rolle spielt.[95] Eine tiefergehende Charakterisierung von Innovation ermöglicht deren **Mehrdimensionalität.**[96] Während sich die **inhaltliche Dimension** auf die Neuerung bzw. den Gegenstand selbst bezieht (Was ist neu?), bezeichnet die **Intensitätsdimension**[97] den Grad der Neuheit (Wie neu?). Letztere konkretisiert Ausmaß und Erstmaligkeit der Neuartigkeit.[98] Die **subjektive Dimension** bezieht sich auf die Wahrnehmung der Neuartigkeit von Innovation (Neu für wen?). Sie erstreckt sich von der Ebene eines Individuums über die eines Unternehmens (betriebswirtschaftlich), einer Branche (industrieökonomisch) oder eines Nationalstaates (nationalökonomisch) bis hin zur gesamten Menschheit.[99] **Die prozessuale Dimension** von Innovation hingegen (Wo beginnt und endet die Neuerung?) bezieht sich auf den zeitlich-dynamischen Aspekt, d. h. den Innovationsprozess von der Forschung bis zur Produktentwicklung und -verwertung.[100] Abschließend ist die **normative Dimension** zu nennen (Wie erfolgreich ist die Neuerung?). Sie bezieht sich auf den Erfolg bzw. Zielerfüllungsgrad einer Neuerung und nimmt somit eine retrospektiv-beurteilende Perspekti-

---

91 Vgl. WHITEHEAD 1926, Seite 121
92 Vgl. DOSI/NELSON 2009, Seite 37
93 "Since innovation, by definition, involves the creation and marketing of the new, these gauntlets, singly and in combination, make the outcome of innovation a highly uncertain process." KLINE/ROSENBERG 1986, Seite 275 oder Vgl. BLÄTTEL-MINK 2006, Seite 27
94 Vgl. VON AU 2010, Seite 16
95 Vgl. FAGERBERG 2005, Seite 8
96 Vgl. HAUSCHILDT/SALOMO 2011, Seite 5 ff.
97 In einem auf ökonomische Sektoren fokussierten Kontext wird unter Intensität auch das Ausmaß der Innovationstätigkeit in unterschiedlichen Branchen verstanden. Vgl. WENTZ 2008, Seite 22 ff.
98 Vgl. BECKER 2004, Seite 85 f.
99 Vgl. LASINGER 2011, Seite 108 f.
100 Vgl. UHLMANN 1978, Seite 41

ve ein.[101] Ausgehend von der ursprünglich eher unternehmens- bzw. angebotszentrierten Auffassung von Innovation Schumpeters ist der Begriff mittlerweile in viele **weitere Lebensbereiche** vorgedrungen. Die Sozialwissenschaften reagierten mit einer Universalisierung des Innovationsbegriffs.[102] So existiert eine Vielzahl disziplinärer Perspektiven, Definitionen und Deutungen von Innovation.[103] Die vormals vorwiegend ökonomische Auffassung der Innovationstheorie, die oftmals auch auf Branchen- oder Unternehmungsebene limitiert war, wurde erweitert.[104] Heute geht die Nutzung des Innovationsbegriffs weit über innovative Techniken hinaus, sodass Innovation gleichsam zur **Semantik unserer Gesellschaft** gehört.[105] Neues wird per se mit einer positiven Strahl- und Wirkungskraft verbunden, was in eine allgemeine Begeisterung für Innovation mündet.[106] Die gesellschaftliche Wahrnehmung von Innovation hebt den Begriff stillschweigend gar auf die Werteebene,[107] was sozio-kulturell dazu führt, dass die mit Innovation verbundene Neuheit gemeinhin als bevorzugt begriffen wird.[108] Diese positive Prägung als wünschenswertes Ziel wird besonders in der **Politik** genutzt, auch weil Risiken und negative Auswirkungen von Innovationen häufig ausgeblendet bleiben.[109] Innovationen finden sich folglich auf jeder Ebene der Gesellschaft und werden als Triebkräfte von Veränderung verstanden.[110] So definiert z. B. Gabler Innovationen als Neuerungen, die mit technischem, sozialem und wirtschaftlichem Wandel einhergehen.[111] Aus dem zeitlich-dynamischen Charakter von Innovationen resultiert allerdings auch ihr **paradoxer Charakter.**[112] Innovationen müssen sich im Grenzbereich zwischen Altem und Neuem durchsetzen, d. h. sie müssen in den Rahmen passen und diesen gleichzeitig transzendieren.[113] Dabei bewirken Innovationen Reduktion und Neuschaffung von Unsicherheit, die Erweiterung und Einschränkung von Handlungsmöglichkeiten sowie die Stabilisierung und Destabilisierung von Prozessen und Strukturen.[114]

---

101 Vgl. AMBRIZ 2010, Seite 32
102 Vgl. JOHN et al. 2012, Seite 7 sowie KONRAD/NILL 2001, Seite 22 ff.
103 Vgl. ÖMER-RIEDER/TÖTZER 2004, Seite 2 und Vgl. HERZOG 2011, Seite 9. Für eine vertiefte Darstellung wissenschaftlich-disziplinärer Perspektiven auf Innovation vgl. BLÄTTEL-MINK 2006, Seite 29 ff. sowie für eine umfangreiche Übersicht zu Definitionen von Innovation vgl. HAUSCHILDT/SALOMO 2011, Seite 3 ff. und vgl. FRIEDRICH-NISHIO 2005, Seite 40 ff.
104 Vgl. CANZLER et al. 2011, Seite 13
105 Vgl. PRONZINI et al. 2012, Seite 155
106 Vgl. JOHN et al. 2012, Seite 7
107 Vgl. PRONZINI et al. 2012, Seite 165 f.
108 Vgl. JOHN et al. 2012, Seite 7
109 Staatliche Innovationspolitik wird vor diesem Hintergrund per se als Wegbereiter einer besseren Zukunft akzeptiert, wobei sich die Politik als Problemlöser profilieren kann. Die Bezeichnung eines Artefakts als Innovation führt dazu, dass dieses gedanklich mit einer wünschenswerten Zukunft verknüpft wird und eine umfassende Debatte häufig ausbleibt. Vgl. PRONZINI et al. 2012, Seite 165 ff.
110 Vgl. BECKER 2004, Seite 88
111 Vgl. GABLER 2013
112 Für eine Analyse und Darstellung der Paradoxien von Innovation Vgl. SAUER/LANG 1999
113 Vgl. BLÄTTEL-MINK 2006, Seite 26
114 Vgl. SAUER/LANG 1999, Seite 150

Ausgehend von diesem grundsätzlichen Verständnis von Innovation lässt sich die **Innovationsökonomik** als die Teildisziplin der Wirtschaftswissenschaft definieren, die sich mit der ökonomischen Analyse von Entstehung, Diffusion und Auswirkungen von Neuerungen bzw. Innovationen auf Mirko-, Meso- und Makroebene befasst.[115] Sie hat sich seit Beginn der 1990er-Jahre als autonomes Feld der Wirtschaftswissenschaften emanzipiert, das sich mit Wissen und Innovation als Grundlagen der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmungen, Regionen und Volkswirtschaften beschäftigt. Dabei handelt es sich im Umfeld der permanenten Erneuerung von Wirtschaft und Gesellschaft um ein **interdisziplinäres**, wirtschaftswissenschaftliches Feld, u. a. mit Elementen aus Soziologie, Technologie, Ökologie, Geschichte und Komplexitätsforschung. Es existieren thematische und konzeptionelle Überschneidungen mit der Organisationstheorie, technik- und industriesoziologischen, aber auch politik- und rechtswissenschaftlichen Ansätzen.[116] Aus den Erkenntnissen der Innovationsökonomik ergeben sich neben Erkenntnissen für die Akteurs- und Netzwerkebene auch Empfehlungen für eine staatliche **Innovationspolitik**. Der fortschreitende Erkenntnisgewinn hat in diesem Forschungsgebiet, u. a. ausgelöst durch die richtungsweisende Arbeit von Nelson und Winter aus dem Jahr 1982, ergänzend zum **neoklassischen Theoriegebäude** zur Entwicklung der **neuen Innovationsökonomik** geführt.[117] Wesentliche Unterschiede liegen in der Wahrnehmung der untersuchten Phänomene, wobei abweichende Annahmen zu differierenden Hypothesen und unterschiedlichen Untersuchungsergebnissen führen.[118]

Darüber hinaus ist die übergreifende Perspektive der Innovationsökonomik von der betriebswirtschaftlichen Disziplin des **Innovationsmanagements** zu unterscheiden, die aus der Erkenntnis der zentralen Bedeutung von Innovation für Überleben und Wachstum von Unternehmungen entstand.[119] Der betriebliche Gestaltungsbereich des Innovationsmanagements überschneidet sich zusätzlich mit dem sich mit technologischen Neuerungen beschäftigenden Anteil des **Technologiemanagements**.[120] Aufgrund der überbetrieblichen Perspektive der

---

115 Während sich die Mikroebene auf einzelne Akteure oder Organisationen bezieht (z. B. Unternehmer oder Unternehmen), fokussiert die Makroebene auf eine gesamtheitliche Betrachtung (z. B. Industrie oder Gesellschaft). Die Mesoebene analysiert das zwischengelagerte Niveau der Netzwerke (z. B. Wertschöpfungs- oder Innovationsnetzwerke) und findet in der neuen Innovationsökonomik besondere Beachtung.

116 Vgl. SAUER/LANG 1999, Seite 21

117 Vgl. NELSON/WINTER 1982

118 Vgl. MULDER et al. 1999, Seite 2

119 Innovationsmanagement umfasst die Planung, Organisation, Steuerung und Kontrolle von Innovationen in Organisationen. Vgl. HEESEN 2009, Seite 59. Hauschildt und Salomo definieren es als „dispositive Gestaltung von Innovationsprozessen“. HAUSCHILDT/SALOMO 2007, Seite 32. Es hat klassisch einen innerbetrieblichen Fokus. Vgl. VON AU 2010, Seite 13 ff. Ein verbreitetes Prozessmodell des Innovationsmanagements ist der Stage-Gate Prozess von Cooper. Vgl. COOPER/EDGETT 2009, Seite 214. Ziel des Innovationsmanagements ist die Gestaltung von Innovationssystemen aus Unternehmensperspektive. Vgl. ZHANG 2009, Seite 13. Häufig werden hierzu Schemata bzw. Rezepte angeboten. Für eine Übersicht zahlreicher Prozessmodelle des Innovationsmanagements vgl. FELDMANN 2007, Seite 37 ff.

120 Vgl. VON AU 2010, Seite 15. Das Technologiemanagement ist eine Teildisziplin der Betriebswirtschaftslehre und hat somit ebenfalls primär betrieblichen Fokus. Es umfasst Erhaltung, Weiterentwicklung sowie

vorliegenden Untersuchung auf technologische Paradigmenwechsel sind die betriebswirtschaftlichen Teildisziplinen des Technologie- und Innovationsmanagements nur am Rande von Interesse.

2.2.1.2 Inhalts- und Intensitätsdimension von Innovation

In der Innovationsforschung ist die Typisierung von Innovationen nach ergebnisorientierter Inhalts- und Intensitätsdimension (Gegenstandsbereich) einerseits, sowie die vertiefte Analyse der prozessualen Dimension andererseits, verbreitet. Da eben diese Dimensionen für die vorliegende Untersuchung von Bedeutung sind, sind erstere Gegenstand dieses Absatzes, während letztere in Absatz 2.2.1.3 näher betrachtet werden.

Für die objekt- bzw. ergebnisorientierte **Inhaltsdimension** von Innovation findet sich in der Literatur keine einheitliche Typisierung. Häufig erfolgt allerdings über die Definition von Schumpeter (vgl. Absatz 2.2.1.1) hinaus eine Klassifizierung in techno-ökonomische, institutionelle oder sozio-kulturelle Neuerungen.[121] Erstere sind v. a. für die Unterscheidung zwischen Produkt- und Prozessinnovationen bekannt, die in Ziel- und Durchsetzungsaspekt zu differenzieren sind.[122] Während der Zielaspekt von Prozessinnovationen die Steigerung der Verfahrenseffizienz ist, fokussieren Produktinnovationen auf das Erreichen eines höheren Effektivitätsniveaus, wobei auch Effizienzgewinne inkludiert sein können. Hinsichtlich des Durchsetzungsaspektes sind Produktinnovationen im Markt zu verwerten, während Prozessinnovationen in vielen Fällen ausschließlich intern Anwendung finden. Ein neues Herstellungsverfahren gilt auch dann als Innovation, wenn es von der erstellenden Unternehmung ausschließlich intern genutzt wird.[123] Neben Neuerungen, die vorhandene Lösungen ersetzen, treten jedoch auch Innovationen auf, die neue Bedürfnisse adressieren sowie befriedigen und deshalb nicht mit einem komparativ-statischen Effizienzbegriff erfassbar sind.[124] Der häufige Fokus auf Produkt- und Prozessinnovationen darf jedoch nicht den Blick auf die hohe Relevanz organisatorischer Neuerungen verstellen.[125] Sie zählen ebenfalls zur Kategorie techno-ökonomischer Innovationen und treten bspw. in Form neuer Aufbauorganisation oder Ma-

---

Erweiterung im Unternehmen vorhandener Technologien in Kombination mit deren Vernetzung und dem Ziel rechtzeitiger Verfügbarkeit des Technologiepotentials zu dessen Verwertung. Vgl. FELDMANN 2007, Seite 50 ff. Technologie beinhaltet Wissen, Kenntnisse und Fähigkeiten um naturwissenschaftlich-technische Zusammenhänge zur technischen Problemlösung, Technik hingegen ist die Umsetzung von Technologie in Produkten und Verfahren. Vgl. SCHUH et al. 2011, Seite 33 ff.

121 Vgl. KLEMMER et al. 1999, Seite 29 und ÖMER-RIEDER/TÖTZER 2004, Seite 3 sowie AMBRIZ 2010, Seite 33

122 Vgl. HAUSCHILDT/SALOMO 2011, Seite 5

123 Vgl. VON AU 2010, Seite 19

124 Vgl. KRÜGER/BIZER 2009, Seite 12

125 So ist z. B. die wirtschaftliche Entwicklung der USA in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts maßgeblich auf organisationale Innovationen zurückzuführen. Vgl. FAGERBERG 2005, Seite 7

nagementtechniken zu Tage.[126] Abschließend anzuführende Kategorien techno-ökonomischer Neuerungen sind geschäftsbezogene (z. B. Geschäftsmodelle, Branchen- und Marktstrukturen) oder marketingbezogene Innovationen. **Institutionelle** Neuerungen hingegen, wie z. B. Politikinnovationen, verändern oder erschaffen gesamtgesellschaftliche Ordnungsprinzipien und Rahmenbedingungen zur Regelung der Beziehungen zwischen den Akteuren. Die Gruppe der **sozio-kulturellen** Innovationen schließt die Typisierung nach inhaltlicher Dimension ab.[127] Hierzu sind neue oder veränderte Werte, Normen, Lebensstile, Verhaltensweisen und Konsummuster, die gesellschaftliche Verbreitung finden, zu zählen. Sozio-kulturelle Neuerungen bedingen sozialen Wandel. Beispiele sind zunehmende gesellschaftliche Umweltorientierung sowie neue Umgangsformen in Kooperation und Kommunikation.[128] Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die Umsetzung von Ideen oftmals techno-ökonomische Innovationen erfordert, während institutionelle und sozio-kulturelle Neuerungen häufig Voraussetzungen zur Entwicklung neuer Ideen sind.[129]

Im Anschluss an die Betrachtung der Inhaltsdimension, folgt nun die Typisierung von Innovation aus Perspektive der **Intensitätsdimension**, d. h. bezogen auf den Grad der Neuartigkeit sowie Ausmaß und Reichweite ihrer Auswirkungen.

Inkrementelle und radikale Innovationen

Eine verbreitete Kategorisierung von Innovation nach Intensitätsgrad differenziert zwischen **inkrementellen** und radikalen Neuerungen. Erstere können grundsätzlich als Weiterentwicklungen bisheriger Problemlösungsmechanismen definiert werden,[130] wodurch bereits der anknüpfend-kontinuierliche Charakter dieses Innovationstyps klar wird, der in der Literatur mit einer Fülle von Synonymen benannt wird.[131] Breiter Konsens besteht bzgl. der Absehbarkeit inkrementeller Innovationen als marginale Veränderungen entlang technologischer Pfade, gleichsam als Entwicklungsdynamik einer Technologie.[132] Die dabei entstehenden Variationen verändern das Bestehende nicht grundlegend und schöpfen stattdessen das Potenzial des etablierten technologischen Designs aus.[133] Häufig bringt dieser Innovationstypus kleinere Produktdifferenzierungen und Individualisierungen hervor, die zu einer Fragmentierung von

---

126 In der Literatur treten die Begriffe Sozial-, Struktur- oder Personalinnovationen zum Teil als Synonyme für organisatorische Neuerungen auf.

127 In der Literatur werden die Termini *sozialbezogene Innovation* oder *Sozialinnovation* zum Teil synonym für *sozio-kulturelle Innovation* genutzt.

128 Vgl. LASINGER 2011, Seite 106 f.

129 Vgl. LASINGER 2011, Seite 107

130 Vgl. ZOLLENKOP 2006, Seite 109

131 So finden sich im deutschen und englischen neben *inkrementell* bzw. *incremental* Begriffe wie *graduell*, *fortlaufend*, *modifizierend*, *erweiternd*, *verstärkend*, *evolutorisch* bzw. *sustaining*, *variation* und *continuous*.

132 Vgl. PEREZ 1998, Seite 4

133 Vgl. LASINGER 2011, Seite 109. Ein Beispiel hierfür ist die Einführung der Direkteinspritzung für Hubkolbenverbrennungsmotoren.

Märkten und Nischenbildung führen.[134] Die kontinuierliche Erschließung der Potenziale etablierter Designs ist letztlich für den statistisch prognostizierbaren Produktivitätszuwachs maßgeblich verantwortlich.[135] Da Innovationen dieses Typus im Wesentlichen auf vorhandenen bzw. praktizierten Kompetenzen und Fähigkeiten beruhen, erfolgt ihre Erstellung eher durch etablierte Unternehmungen der jeweiligen Branche.[136] Obwohl die einzelnen Neuerungen lediglich kleine Veränderungen induzieren benötigen sie beträchtliche Kompetenzen und Einfallsreichtum und führen zu verstärkter Spezialisierung.[137] Eine Konsequenz ist die Steigerung der Markteintrittsbarrieren und damit die Stärkung von Dominanz bzw. Marktposition etablierter Akteure.[138] Intensität und Reichweite der Auswirkungen inkrementeller Innovationen auf Industriestrukturen und Institutionen sind gering.[139] Im Vergleich unterschiedlicher Branchen zeigt sich zudem, dass sie mit verschiedenen Raten auftreten und häufig weniger das Ergebnis gezielter F&E, als von *learning by doing* und *learning by using* sind.[140] Insgesamt sind inkrementelle Innovationen für Effizienzsteigerung und Produktivitätswachstum von entscheidender Bedeutung.

Demgegenüber werden **radikale Innovationen** als wesentliche technologische Durchbrüche definiert,[141] die eine bisherige Art und Weise des Vorgehens revolutionieren.[142] Ihrem diskontinuierlichen Charakter wird in der Literatur mit zahlreichen, meist synonym verwendeten Begriffen Ausdruck verliehen.[143] Ihr Auftreten ist seltener und unabsehbar, verknüpft mit der Konsequenz eines Wechsels des technologischen Entwicklungspfades bzw. der technologischen Bahn.[144] Vormals dominante Technologien werden dabei ersetzt,[145] wobei in vorhandenen Strukturen zerstörerische Effekte auftreten und sich eine Abkehr von der bisherigen Art der Befriedigung der Kundenbedürfnisse durchsetzt.[146] Radikale Innovationen resultieren folglich nicht aus inkrementellen Neuerungen.[147] Sie markieren einen Neubeginn durch Öffnung des Zugangs zu den inkrementellen Entwicklungsmöglichkeiten eines neuen techni-

---

134 Vgl. KLINE/ROSENBERG 1986, Seite 304 sowie ABERNATHY/CLARK 1985, Seite 10

135 Vgl. u. a. NELSON/WINTER 1982, z. B. auf den Seite 180 f. sowie Seite 259

136 Vgl. TRIPSAS 1997, Seite 343 sowie CHRISTENSEN 1997, Seite 30

137 Vgl. HENDERSON/CLARK 1990, Seite 9

138 Vgl. NELSON/WINTER 1982 und KEMP/ROTMANS 2005, Seite 43. Zudem argumentiert Arrow, dass dominante Unternehmungen grundsätzlich einen höheren Anreiz haben in inkrementelle Innovation zu investieren als andere. Vgl. ARROW 1962, Seite 622

139 Vgl. DOLATA 2007, Seite 26

140 Während *learning by doing* für Verbesserungen durch Anbieter/Ingenieure auf Basis von Erfahrung und normaler Problemlösungsaktivität steht, bezeichnet *learning by using* Verbesserungen, die durch Initiativen und Vorschläge der Nutzer erzielt werden. Vgl. FREEMAN-PEREZ 1988, Seite 46

141 Vgl. PYKA 1999, Seite 64

142 Vgl. DODGSON 1993, Seite 57

143 So finden sich im deutschen und englischen neben *radikal* bzw. *radical* Begriffe wie *prinzipiell*, *ersetzend*, *revolutionär* bzw. *altering*, *breakthrough*, *pioneering*, *nonroutine* und *non-programmed*.

144 Vgl. FAGENBERG 2002, Seite 23 sowie PEREZ 1998, Seite 5

145 Vgl. TRIPSAS 1997, Seite 343

146 Vgl. ZOLLENKOP 2006, Seite 109

147 Ein verbreitetes Beispiel hierfür ist die Diskontinuität zwischen Kerze und Glühbirne.

schen Designs,[148] verbunden mit einem qualitativen und/oder quantitativen Leistungssprung.[149] Bei radikalen Innovationen leitet das Neuartige prinzipielle Veränderungen ein, es entsteht ein neuer Markt und/oder ein neues Nutzenniveau wird erreicht, welches oftmals nicht oder nur bedingt mit den Vorgängerprodukten vergleichbar ist.[150] Die Erzeugung diskontinuierlicher Innovationen stellt Ansprüche, die mit vorhandenen Ressourcen, Fähigkeiten und Wissen kaum oder nicht erfüllt werden können.[151] Stattdessen erfordert sie neue Fähigkeiten und Kompetenzen und wird deshalb eher durch neue oder branchenfremde Unternehmungen vorangetrieben.[152] Die bestehende Wissensbasis wird dabei mindestens in Teilen obsolet.[153] Schumpeter begründet die Zurückhaltung der alten bzw. etablierten Unternehmungen mit deren Konservatismus.[154] Aufgrund der somit abgesenkten Markteintrittsbarrieren stellen sich vermehrt neue Anbieter diesem Wettbewerb, was erhebliche Turbulenzen für etablierte Unternehmen hervorruft.[155] Ergebnis ist eine Rekonfiguration des Marktes durch Einführung anderer Ausrüstung und Rohstoffe, neuem Wissen sowie Nutzung anderer physikalischer Prinzipien[156] bis hin zu Neudefinition einer Industrie.[157] Insgesamt bleiben die industriestrukturellen Effekte allerdings in ihren sozio-ökonomischen und institutionellen Wirkungen begrenzt, solange sie sich nicht zu einem Cluster an Innovationen verdichten.[158] Im Gegensatz zu inkrementellen sind radikale Innovationen häufig Ergebnis gezielter Forschung, ungleich über Wirtschaftszweige und Zeit verteilt und bedingen kombinierte Produkt-, Prozess- und organisationale Innovation.[159]

Weiterhin korrespondieren radikale Innovationen mit den von Schumpeter eingeführten **Basisinnovationen**, die Bestanteil seiner Theorie der langen Wellen bzw. Kondrajew-Zyklen sind.[160] Sie stellen bzgl. der Radikalität eine Extremum dar, indem sie als revolutionär-grundlegende technische Innovation eine durchdringende gesellschaftlich-ökonomisch Wirkung erzielen, der sich praktisch niemand entziehen kann. Zudem ziehen sie eine Welle von Folgeinnovationen nach sich. Entwicklung, Einführung und Durchsetzung von Basisinnovati-

---

148 Vgl. KLINE/ROSENBERG 1986, Seite 295

149 Vgl. KONRAD/NILL 2001, Seite 28. Als Beispiel hierfür nennt Klemmer u. a. den Umstieg vom Hubkolbenverbrennungsmotor zur Brennstoffzelle. Vgl. KLEMMER et al. 1999, Seite 34

150 Vgl. VON AU 2010, Seite 20 ff.

151 Vgl. ABERNATHY/CLARK 1985, Seite 6

152 Vgl. CHRISTENSEN 1997, Seite 30

153 Vgl. KLINE/ROSENBERG 1986, Seite 297 sowie CLARK/STAUNTON 1989, Seite 79 ff.

154 Vgl. SCHUMPETER 1939, Seite 104

155 Vgl. TRIPSAS 1997, Seite 341 ff.

156 Vgl. CLARK/STAUNTON 1989, Seite 79 f. sowie WINDRUM 2007, Seite 409

157 Vgl. KLINE/ROSENBERG 1986, Seite 286 sowie HENDERSON/CLARK 1990, Seite 9

158 Vgl. DOLATA 2007, Seite 26

159 Vgl. FREEMAN/PEREZ 1988, Seite 46. Da radikale Innovationen prinzipielle Veränderungen bisheriger Lösungen sind, entstehen sie häufig aus gezielter Forschung und nicht aus inkrementeller Verbesserung.

160 Schumpeter verbindet radikale Innovationen mit der Theorie der langen Wellen von Nikolai Kondratjew, sodass ein Wechselspiel aus kontinuierlich-inkrementellen und diskontinuierlich-radikalen Innovationen resultiert. Vgl. SCHUMPETER 1939

onen sind folglich langfristige Prozesse.[161] Arbeiten zu den Kondratjew-Zyklen können die wesentlichen Umbrüche der letzten 250 Jahre deskriptiv nachvollziehen bzw. erklären,[162] allerdings sind sie als Analyseebene umstritten. Es wird davon ausgegangen, dass Basisinnovationen eher dann auftreten, wenn sich der aktuelle Kondratjew-Zyklus in der Abschwungphase befindet,[163] oder ein durch alleinige Produktivitätssteigerung nicht mehr zu befriedigender Bedarf entstanden ist. Abschließend bleibt anzumerken, dass die Identifikation einer Innovation als Basisinnovation häufig erst in fortgeschrittenem Durchsetzungsstadium erfolgen kann.[164]

Technologische Systeme und techno-ökonomische Paradigmen

Aufbauend auf der Logik inkrementeller und radikaler Innovationen schlagen Freeman und Perez zwei weitere Kategorien vor.[165] Die erste bildet der **Wandel technologischer Systeme**.[166] Dabei handelt es sich um weitreichende Veränderungen im technologischen System, die im Gegensatz zu radikalen Innovationen per Definition mehrere Branchen betreffen und zur Entstehung neuer Sektoren führen.[167] Weiterhin führen die Autoren aus, dass diese auf Kombination radikaler und inkrementeller Innovationen basieren und zusammen mit Organisations- und Managementinnovationen zahlreiche Unternehmungen betreffen. Der Wandel technologischer Systeme führt folglich zu weitreichenden Transformationsprozessen mit dem Ergebnis neuer sozio-technischer Konfigurationen.[168] Beim Wandel technologischer Systeme handelt es sich um weitreichende Umbrüche eines Technikfeldes durch eine große Anzahl radikaler Innovationen, die die Strukturen zahlreicher Wirtschaftssektoren berühren oder die Herausbildung neuer Sektoren begünstigen und die involvierten Akteure zu signifikanten organisationalen, strategischen und institutionellen Anpassungsprozessen zwingen.[169] Treten technische Innovationen als synergetisches Cluster[170] über mehrere Branchen hinweg auf, ist von einem Übergang technologischer Systeme auszugehen. Der zweite von Freeman und Perez (ergänzend zu inkrementellen und radikalen Innovationen) vorgeschlagene Innovationstypus ist die **Veränderung techno-ökonomischer Paradigmen.**[171] Dabei handelt es sich um

---

161 Vgl. KONRAD/NILL 2001, Seite 28
162 Vgl. PYKA 1999, Seite 65 sowie FREEMAN/PEREZ 1988, Seite 50 ff.
163 Vgl. FREEMAN/PEREZ 1988, Seite 47 ff.
164 Vgl. KONRAD/NILL 2001, Seite 28
165 Vgl. FREEMAN/PEREZ 1988
166 Der deutsche Übersetzung des englischen Originalausdrucks *changes in technology system* von FREEMAN/PEREZ 1988, Seite 46 als *Wandel technologischer Systeme* findet sich bei DOLATA 2007, Seite 26 sowie DOLATA 2008b, Seite 265
167 Vgl. FREEMAN/PEREZ 1988, Seite 46
168 Vgl. KONRAD/NILL 2001, Seite 30
169 Vgl. DOLATA 2007, Seite 26
170 Ein Cluster ist eine Menge einzelner Teile, die ein Ganzes bilden.
171 Die deutsche Übersetzung des englischen Originalausdrucks *changes in techno-economic paradigm* von FREEMAN/PEREZ 1988, Seite 47 als *Veränderung techno-ökonomischer Paradigmen* findet sich bei

Veränderungen in technologischen Systemen mit weitreichendem Einfluss auf die Gesamtökonomie, die aus vielen Clustern von radikalen und inkrementellen Innovationen bestehen und mehrere technologische Systeme enthalten können. Ein Wandel techno-ökonomischer Paradigmen führt aufgrund seines die Gesamtwirtschaft durchdringenden Charakters zur Entstehung zahlreicher neuer Produkte, Dienstleistungen, Systeme und Branchen, wobei nahezu alle Branchen direkt oder indirekt beeinflusst werden.[172] Der Charakter einer solchen Transformation geht damit deutlich über eine Veränderung technologischer Paradigmen und Trajektorien hinaus.[173] Techno-ökonomische Paradigmen korrespondieren mit den durch Nelson und Winter eingeführten *natural trajectories*[174] und begründen vorübergehend stabile technologische Regime.[175] Die Durchsetzung eines neuen techno-ökonomischen Paradigmas bedingt eine Phase schmerzhafter struktureller Anpassung mit tiefgreifenden Veränderungen, wobei bisher tragende ökonomische Branchen ihre Dominanz einbüßen können. Die Veränderungen techno-ökonomischer Paradigmen sind in ihren sozio-ökonomischen und institutionellen Wirkungen derart weitreichend, dass sie die Gesellschaft insgesamt beeinflussen und zu ihrer Entwicklung und Nutzung eines grundlegend neuen Sets an strukturellen und institutionellen Arrangements bedürfen.[176] Freeman und Perez sehen Schumpeters Lange Wellen als direkte Folge der Durchsetzung eines neuen techno-ökonomischen Paradigmas.[177] Zusammenfassend beruht die Differenzierung zwischen technologischen Systemen und techno-ökonomischen Paradigmen somit v. a. auf der noch stärkeren Häufung von Innovationen in Verknüpfung mit deren umfassenderer Auswirkung.[178]

Architektonische und modulare Innovation

Eine technologieorientierte Typisierung von Innovation bieten Henderson und Clark, die eine **systemische Perspektive** einnehmen und zwischen **modularer und architektonischer Innovation** unterscheiden.[179] Dazu gehen sie von der Grundlage aus, dass inkrementelle Innovationen relativ kleine Veränderungen an Produkten induzieren, das Potenzial eines etablierten Designs erschließen und tendenziell die Dominanz etablierter Unternehmungen festigen.[180] Dementgegen weisen die Autoren jedoch auf Fälle hin, in denen inkrementelle Inno-

DOLATA 2007, Seite 26. Derselbe Autor spricht in DOLATA 2008b auf Seite 265 synonym von *technologischen Revolutionen*, was dem von FREEMAN/PEREZ 1988 auf Seite 47 angeführten englischen Terminus *technological revolutions* entspricht.

172 Vgl. FREEMAN/PEREZ 1988, Seite 47
173 Vgl. zu technologischen Paradigmen und Trajektorien DOSI 1982, Seite 147 ff.
174 Vgl. NELSON/WINTER 1982, Seite 258
175 Vgl. FREEMAN/PEREZ 1988, Seite 47
176 Vgl. DOLATA 2007, Seite 26
177 Vgl. FREEMAN/PEREZ 1988, Seite 47
178 Vgl. KONRAD/NILL 2001, Seite 30
179 Vgl. HENDERSON/CLARK 1990, Seite 9 ff.
180 Vgl. NELSON/WINTER 1982, z. B. auf den Seite 180 f. sowie Seite 259

vationen mit moderaten technischen Auswirkungen dramatische wettbewerbliche Konsequenzen haben.[181] Sie konstatieren folglich, dass die etablierte Kategorisierung von Innovation in inkrementell und radikal keine Erklärung dieses Phänomens ermöglicht, deshalb wird ergänzend eine Unterscheidung zwischen modularer und architektonischer Innovation vorgeschlagen.[182] Sie basiert auf systemischer Wahrnehmung des Produkts, das sich aus Komponenten bzw. Modulen und deren Verbindungen zusammensetzt. Während Module physisch getrennte Bausteine mit eigenem Designkonzept und bestimmter Funktion sind, wird die Produktarchitektur als das Prinzip der Verbindung und Zusammenarbeit von Modulen definiert. Die Selektion einzelner Module hat dabei grundlegende Auswirkungen auf das Gesamtdesign des Systems.[183] Henderson und Clark betonen weiterhin, dass diese Systemsicht von Produkten dazu führt, dass erfolgreiche Produktentwicklung zwei Arten (Dimensionen) von organisationalem Wissen benötigt. Einerseits ist Wissen um Designkonzepte inkl. deren Implementierung in Modulen wesentlich (*component knowledge*), andererseits wird auch das Wissen um die Integration und Verbindung der Module zu einem Produkt unverzichtbar (*architectural knowledge*).[184] Diese systemische Sichtweise von Produkten und die resultierenden Wissensarten führen zu einer Erweiterung radikal-inkrementeller Typisierung von Innovation, wobei diese etablierten Kategorien Extrema entlang beider Dimensionen bilden (Abb. 2-2).

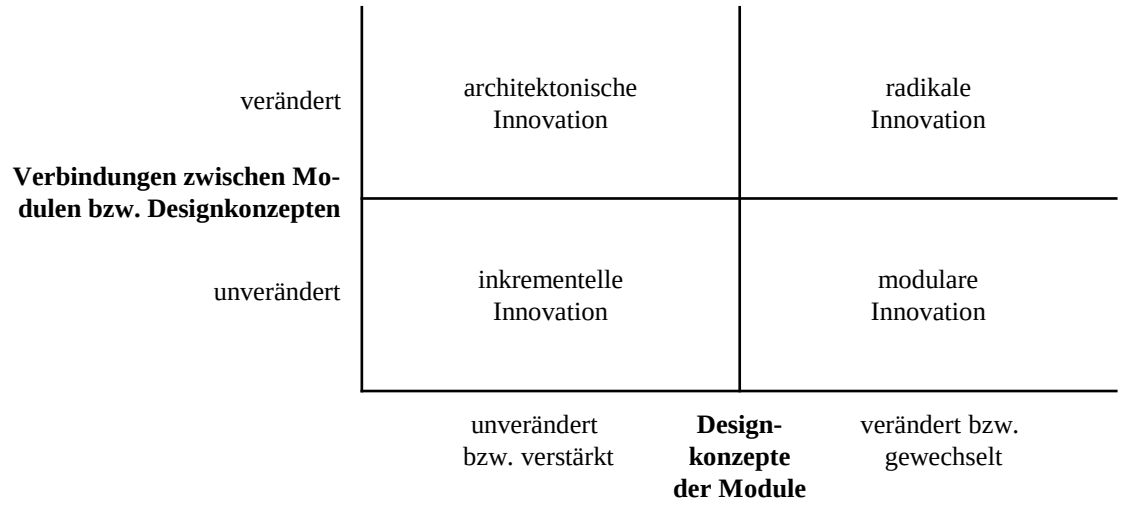


Abb. 2-2: Typisierung von Innovation aus systemischer Perspektive[185]

[181] Vgl. HENDERSON/CLARK 1990, Seite 10
[182] Vgl. HENDERSON/CLARK 1990, Seite 10 f.
[183] Vgl. HENDERSON/CLARK 1990, Seite 11. So hat z. B. die Entscheidung für den Einsatz eines Elektromotors an Stelle eines Verbrennungsmotors erhebliche Auswirkungen auf den gesamten automobilen Antrieb.
[184] Vgl. HENDERSON/CLARK 1990, Seite 11
[185] Eigene Darstellung in Anlehnung an HENDERSON/CLARK 1990, Seite 12. Eine Diskussion von Beispielen der angeführten Innovationstypen findet sich z. B. in TIDD et al. 2005, Seite 17 f.

Während modulare Innovationen als Ersetzen eines Moduls bzw. des inkorporierten Designkonzeptes zu verstehen ist, konfigurieren architektonische Innovationen die Gesamtarchitektur eines Produktes bzw. Systems neu, ohne einzelne Komponenten gravierend zu verändern.[186] Kern architektonischer Innovation ist somit der Rekonfigurationsprozess, wobei vorhandene Design- bzw. Funktionsprinzipien der Module erhalten bleiben.[187] Auch die Einführung bzw. Kombination vorhandener Technologien in neuen Produkten, Anwendungsformen oder Märkten ist somit eine architektonische Innovation.[188] Architektonische Innovationen setzen Unternehmungen der subtilen Herausforderung aus, dass Teile ihres vorhandenen organisationalen Wissens für die Neuerung relevant sind, während andere Anteile irrelevant oder gar nachteilig sind, wobei die Unterscheidung aufgrund der Charakteristik architektonischen Wissens schwer fällt.[189] Während Unternehmen in Zeiten inkrementell-kontinuierlicher Entwicklung eher effizienzorientierte, formale Rollen, Verantwortlichkeiten, Strukturen und Kulturen benötigen, sind zur erfolgreichen Bewältigung von Phasen architektonischer Innovation eher unternehmerisch-dynamische, kleine Einheiten mit experimenteller Kultur, flexiblen Prozessen und fundierter Fachkompetenz vielversprechend.[190]

Disruptive und erhaltende Innovation

In seiner Veröffentlichung aus dem Jahr 1997 bietet Christensen eine Typisierung von Innovation, mit der er das häufig auftretende Phänomen marktlichen Scheiterns vormals erfolgreicher Unternehmungen erklärt.[191] Im Fokus der Analyse stehen die wettbewerblichen Auswirkungen technologischer Neuerungen, wobei empirisch festgestellt wird, dass bisher offensichtlich dominante Unternehmungen bei Einführung neuer Produktgenerationen ihre Position verlieren oder gar vom Markt bereinigt werden.[192] Im Kern untersucht der Autor Umstände

---

186 Vgl. DOLATA 2008b, Seite 264

187 In diesem Zusammenhang soll auch das Konzept des *Conversion-* bzw. *Purpose-Designs* Erwähnung finden. Während beim *Conversion-Design* ein verändertes Modul bzw. ein Modul mit verändertem Designkonzept in eine unveränderte Architektur integriert wird (modulare Innovation), erfolgt im Rahmen des *Purpose-Design*-Ansatzes eine umfassendes Neudesign der Produktarchitektur zur besseren Abstimmung auf technologische Neuerungen auf modularer Ebene. Vgl. WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 116 ff. sowie Seite 135 ff. Der *Conversion-Ansatz* ermöglicht die Aufrechterhaltung vorhandener Strukturen und Prozesse, versperrt allerdings den Weg zur Erschließung des vollen Potenzials des neuen Designs.

188 Vgl. TIDD et al. 2005, Seite 280

189 Vgl. HENDERSON/CLARK 1990, Seite 13 sowie TIDD et al. 2005, Seite 16. Für einen Vorschlag einer dynamischen Strategie zum Umgang mit architektonischer Innovation durch Unternehmungen vgl. BALDWIN/CLARK 2006a, Seite 2 ff.

190 Vgl. LAM 2005, Seite 141

191 Vgl. CHRISTENSEN 1997, Seite 1 ff.

192 Dies wird am Beispiel der Hersteller von Diskettenlaufwerken für Computer veranschaulicht, die zwar zahlreiche architektonische und modulare Neuerungen einführten, letztlich allerdings die Verfolgung neuer Produktgenerationen, wie z. B. die des Laufwerks mit ach Zoll, vernachlässigten. Vgl. CHRISTENSEN 1997, Seite 31. Christensen referenziert in diesem Zusammenhang auf die bereits von HENDERSON/CLARK 1985 betonte Notwendigkeit neuer Wege in Kommunikation und Zusammenarbeit bei Innovationsprozessen, die architektonische Veränderungen etablierter Produkte erzwingen. Vgl. CHRISTENSEN 1997, Seite 30

und Ursachen dieses Scheiterns bei Aufkommen neuer Technologien, wobei er eine Typisierung von Innovation in *erhaltend* (*sustaining*) und *disruptiv* (*disrupting*) einführt.[193] Technische Innovation, die Leistung bzw. Effizienz bestehender Produkte aus Sicht eines Großteils der existierenden Kunden bzw. wesentlichen Märkte verbessert, wird als erhaltend bezeichnet und kann sowohl inkrementell-kontinuierlichen als auch radikal-diskontinuierlichen Charakter aufweisen.[194] Die Entwicklungs- bzw. Leistungskurve der etablierten Technologie wird dabei fortgeschrieben. Mindern technologische Neuerungen jedoch aus Perspektive der Nachfrager vorübergehend die Effizienz vorhandener Produkte und offerieren den Konsumenten stattdessen ein neues Wertangebot bzgl. deren Produktanforderungen, so werden diese als disruptiv kategorisiert. Die neue Technologie begründet diskontinuierlich eine neue Leistungskurve, die auf alternativen als den im Wettbewerb vorherrschenden Attributen beruht.[195] In vielen Fällen verfügt diese disruptive Neuerung über das Potenzial weitreichenderer Verbesserungen als zum Zeitpunkt ihres Aufkommens nachgefragt werden.[196] Christensen identifiziert in diesem Zusammenhang Ressourcenallokation, Markteintritt, Umgang mit Unsicherheit, organisationale Fähigkeiten und Erreichbarkeit der Nachfrage als wesentliche Handlungsfelder im Umgang mit potenziell disruptiver technischer Innovation.[197] Emergente Neuerungen dieser Art erweitern zudem den zunehmend preislich geprägten Wettbewerb in etablierten Märkten durch Adressierung anderer Produkt-Leistungsattribute um eine qualitative Komponente, wobei meist ein Leistungsüberangebot hinsichtlich bisher fokussierter Attribute reduziert wird.[198] Die Fähigkeit einer Unternehmung in disruptivem Umfeld eingeschwungene Muster aufzugeben bzw. an die Dynamik des Marktes anzupassen hängt maßgeblich von Ressourcen, Prozessen und Werten ab.[199] Da das Profitpotenzial disruptiver Innovation allerdings oftmals temporär unterhalb dessen der beherrschten Technologie liegt, reduziert sich der Anreiz eines Engagements für etablierte Unternehmungen.[200] Neuerungen dieser Art werden deshalb eher von branchenfremden Unternehmen entwickelt.[201] Disruptive Innovation

---

193 Vgl. CHRISTENSEN 1997, Seite 15 f.

194 Der Autor betont vor diesem Hintergrund, dass selbst radikal-erhaltende Innovationen nur in seltenen Fällen zu einem Scheitern dominanter Unternehmungen führen. Vgl. CHRISTENSEN 1997, Seite XI sowie CHRISTENSEN/OVERDORF 2000, Seite 5

195 Vgl. ZOLLENKOP 2006, Seite 212 sowie CHRISTENSEN/OVERDORF 2000, Seite 5

196 Vgl. TROTT 2005, Seite 10

197 Vgl. CHRISTENSEN 1997, Seite XIX ff. und Seite 98 ff. In den Kapiteln 5 bis 9 beschreibt der Autor wie sich die Unternehmensführung das Bewusstsein dieser Prinzipien nutzbar machen kann, um erfolgreich mit *disruptive technologies* umzugehen, wobei eine aktive anstatt einer reaktiven Rolle entscheidend ist.

198 Vgl. CHRISTENSTEN 1997, Seite XVI und Seiten 165 sowie ZOLLENKOP 2006, Seite 213

199 Vgl. CHRISTENSEN/OVERDORF 2000, Seite 2

200 Vgl. CHRISTENSEN/OVERDORF 2000, Seite 5

201 Vgl. ZOLLENKOP 2006, Seite 212 f. sowie CHRISTENSEN/OVERDORF 2000, Seite 5. Christensen führt die enorme Auswirkung zerstörerischer Neuerungen auf das Phänomen des *impetus to drift upmarket* zurück. Die Aussicht auf ein Erreichen höheren Preisklassen bzw. Wertebenen lässt Unternehmungen Neuerungen anstreben. Diese Verschiebung der Marktposition ist besonders für eintretende Unternehmungen attraktiv und ggf. zerstörerisch für bisher dominante Akteure. Vgl. CHRISTENSEN 1997, Seite 78 ff.

setzt sich anfangs nur in Nischenanwendungen durch.[202] Von einer durch disruptive Innovation induzierten Transformation der Wettbewerbsbedingungen sind Produkt-, Unternehmens- und Branchenebene betroffen. Die Produktarchitektur entwickelt sich von einer proprietären, über eine interdependente zu einer modularen Architektur, d. h. nach Erreichen des Mindest-Anforderungsniveaus in der Produktleistung erfolgt eine Standardisierung auf Architekturebene, sodass sich weiterer Fortschritt auf dem Niveau der Module vollzieht.[203] Auf Unternehmens- und Branchenebene etablieren sich nach Festlegung der Produktarchitektur neue Hersteller von Modulen, wobei eigenständige Märkte entstehen.[204] Die ehemals nischenhafte Entwicklung wird auf diese Weise zur marktdominierenden Lösung und verändert damit die eingefahrenen Spielregeln.[205] Die Ursprungstechnologie wird niederkonkurriert.[206] In zahlreichen Fällen geschieht dies, obwohl die scheiternden, ehemals marktbeherrschenden Unternehmungen die benötigten Voraussetzungen zur Bewältigung der Transformation besitzen. Ihr strategischer Fehler ist das Unterschätzen bzw. die nicht adäquate Bearbeitung des neu aufkommenden und durch abweichende Kundenpräferenzen charakterisierten Marktes.[207] Im Anschluss an die Prägung eines neuen dominanten Designs, das eine veränderte Branchenstruktur bedingt, spielen die vormals dominanten Unternehmungen keine oder eine untergeordnete Rolle. Für die bisherigen Anbieter sind die neue Technologie und Marktstruktur somit als disruptiv zu bezeichnen. Kernherausforderung im Umgang mit disruptiver Innovation ist folglich die Überwindung der negativen Auswirkung der Spezialisierung, die sich im Konflikt zwischen alt und neu manifestiert.[208]

Typisierung nach Technologie-Markt-Transilienz

In ihrer Publikation des Jahres 1985 untersuchten Abernathy und Clark einerseits die innovationsinduzierten Auswirkungen auf vorhandene (technologischen) Kompetenzen beteiligter Akteure.[209] Andererseits beleuchten die Autoren die Innovationsauswirkungen auf existierende Verbindungen zu Märkten und Konsumenten. Zielsetzung von Unternehmungen ist in diesem Rahmen das Erreichen von Wettbewerbsvorteilen[210], die aus Sicht der Autoren aus Ak-

---

202 Beispiele zerstörerischer Innovation finden sich bei CHRISTENSEN 1997, Seite XXV
203 Vgl. CHRISTENSEN 1997, Seite 118
204 Vgl. ZOLLENKOP 2006, Seite 215
205 Vgl. TIDD et al. 2005, Seite 31
206 Vgl. BLÄTTEL-MINK 2006, Seite 87
207 Vgl. TIDD et al. 2005, Seite 30
208 Vgl. PAVITT 2005, Seite 102
209 Vgl. ABERNATHY/CLARK 1985, Seite 3 ff. Es wird deutlich, dass diese Definition architektonischer Innovation zu der von HENDERSON/CLARK 1990 differiert. Da für den weiteren Verlauf dieser Untersuchung die Ebene der technischen Produktarchitektur im Fokus steht ist, wird die Bezeichnung *architektonische Innovation* ausschließlich gemäß der Definition von Henderson und Clark verwendet.
210 Die von Abernathy und Clark verwendete Definition von Wettbewerbsvorteil (*competitive advantage*) geht, u. a. aufgrund der Annahme von Heterogenität (Anbieter, Produkte, Nachfrager), über das Erzielen eines reinen Kostenvorteils deutlich hinaus. Vgl. ABERNATHY/CLARK 1985, Seite 4 f.

quisition und Entwicklung materieller Ressourcen, menschlicher Fähigkeiten und Beziehungen sowie relevanten Wissens entstehen. Aus den Auswirkungen von Neuerungen auf eben diese Erfordernisse wird eine Typisierung von Innovation abgeleitet, die sich empirisch anhand der historischen Entwicklung der US-Automobilindustrie belegen lässt.[211] Im Modell werden die Quellen für Wettbewerbsvorteile in zwei Dimensionen systematisiert.[212] Das System Technologie/Produktion enthält die technischen Aspekte von Produkt und Produktion, dafür relevante Fähigkeiten und Wissen sowie die Kapitalausstattung der Unternehmung. Zur Dimension Markt/Kunde zählen Distributions- und Servicekanäle sowie jegliche Beziehung und Kommunikation zu den Nachfragern. Das Potenzial einer Innovation zur Beeinflussung der Relevanz von Ressourcen, Fähigkeiten und Wissen einer Unternehmung wird als *Transilienz* (*transilience*, von lat. *transiliare* = überspringen, sprungweise übergehen) bezeichnet.[213] Kern der resultierenden Typisierung von Innovation ist, wie in Abb. 2-3 veranschaulicht, die Unterscheidung hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Systeme Technology/Produktion sowie Markt/Kunde.

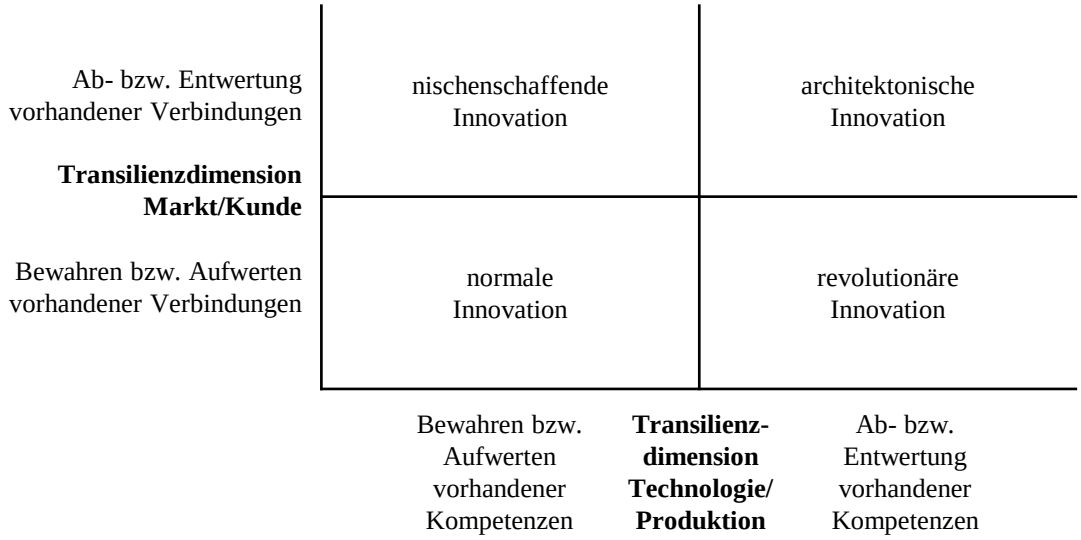


Abb. 2-3: Typisierung von Innovation nach Transilienzdimensionen[214]

Der im Modell als **normale Innovation** (*regular innovation*) bezeichnete Typus entspricht hinsichtlich beider Transilienzdimensionen inkrementeller Innovation. Als Gegenpol dazu definiert **architektonische Innovation** (*architectural innovation*) durch Ab- bzw. Entwertung vorhandener Markt-/Kundenverbindungen und Technologie-/Produktionskompetenzen die

[211] Vgl. ABERNATHY/CLARK 1985, Seite 4
[212] Vgl. ABERNATHY/CLARK 1985, Seite 5
[213] Als illustrierendes Beispiel soll an dieser Stelle die Veränderung der Vermarktung von Musik vom Verkauf von Tonträgern zu digitalen Downloads dienen. Hierbei handelt es sich um eine architektonische Innovation, da benötigte Kompetenzen entwertet und bestehende Verbindungen zu Kunden abgewertet werden.
[214] Eigene Darstellung in Anlehnung an ABERNATHY/CLARK 1985, Seite 8

Struktur einer Industrie neu oder schafft die Basis zur Entwicklung einer neuen Industrie.[215] Vorhandenes muss angepasst bzw. neu entwickelt werden, wobei bisher unbekanntes Wissen und neue Fähigkeiten erforderlich sind. Grundlage dieses in beiden Dimensionen radikalen Charakters ist das emergente Design, dessen Konzeption in der Folge architektonischer Innovation eine neue und langfristig stabile Entwicklungsgrundlage bildet. Zwischen diesen beiden Extrempositionen unterscheiden die Autoren zwei Kategorien von Innovation, die sich lediglich in einer Dimension radikal auswirken. Die Erschließung marktlicher Potenziale durch Einsatz vorhandener Technologie ist der Kern **nischenschaffender Innovation** (*niche creating innovation*), die eine Erhaltung bzw. Stärkung aktuellen Designs zur Folge hat und eine Kombination von Kundenanforderungen mit inkrementellen technologischen Verbesserungen erfordert.[216] **Revolutionäre Innovation** (*revolutionary innovation*) hingegen bezeichnet die Bedienung vorhandener Markt-Kundensets mit neuen Technologien in Produkt und Produktion, wobei vorhandene technologische Kompetenzen der Produzenten ab- bzw. im Extremfall sogar entwertet werden.[217] Alle vier dargestellten Innovationstypen prägen die Entwicklung von Industrien auf eine zum Teil subtile und unterschiedliche Art und Weise.[218] Normale und nischenschaffende Innovation bewahrt oder steigert den Wert vorhandener technologischer Kompetenzen und wird in der Literatur u. a. als *entrenching* bezeichnet, wohingegen revolutionäre und architektonische Innovation Kompetenzen durch Ab- oder Entwertung obsolet werden lässt.[219] Die resultierende Transformation bzw. Neuerstellung organisationaler Kompetenzen ist langwierig, schwierig, teuer und eine Quelle für Wettbewerbsvorteile.[220].

Umwelt- und Nachhaltigkeitsinnovation

Wirtschaftliche Tätigkeit bedingt die Nutzung natürlicher Ressourcen, wobei sich die Erkenntnis verdichtet, dass ökologische Aspekte zunehmend die Rolle eines gesamtwirtschaftlich entwicklungsbegrenzenden Faktors einnehmen (vgl. Teilkapitel 2.1). Dieses Konfliktverhältnis lässt die Frage aufkommen, ob und in welchem Ausmaß Innovationen einen Beitrag zu einer Entkoppelung dieser Faktoren leisten können. Diese ökologiefokussierte Perspektive auf

---

215 Vgl. ABERNATHY/CLARK 1985, Seite 7 ff.

216 Vgl. ABERNATHY/CLARK 1985, Seite 10 f. Utterback und Abernathy bezeichnen diesen Typus von Innovation bereits 1975 als *sales maximation*. Vgl. UTTERBACK/ABERNATHY 1975, u. a. auf Seite 643

217 Vgl. ABERNATHY/CLARK 1985, Seite 12 f. sowie TUSHMAN/ANDERSON 1986, Seite 442

218 Vgl. ABERNATHY/CLARK 1985, Seite 13. Abernathy und Clark weisen dies beispielhaft anhand der Historie der Automobilindustrie der USA nach.

219 Vgl. beispielhaft CLARK/STAUNTON 1989, Seite 80 sowie ABERNATHY/CLARK 1985, Seite 8. An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass auch für die Auswirkungen von Innovation auf vorhandene Kompetenzen der Anbieter in der Literatur die Begriffe *sustaining* bzw. *conserving* und *disrupting* bzw. *altering* verwendet werden. Um eine gesteigerte Trennschärfe zu erzielen werden die Begriffe *erhaltend* und *disruptiv* hier ausschließlich für die Markt- bzw. Kundenseite eingesetzt.

220 Vgl. NELSON/WINTER 1982, Seite 96 ff. sowie TRIPSAS 1997, Seite 341 ff.

Innovation resultiert in der Definition eines weiteren Typus von Neuerungen, der **Umweltinnovation**.[221] Im Allgemeinen sind Umweltinnovationen jene Teilmenge aus der Gesamtheit aller Innovationen, die Vorteile für die Umwelt generieren. Bereits diese simple Definition verdeutlicht die Offenheit im Hinblick auf die Inhaltsdimension dieses Typus, sodass sowohl techno-ökonomische als auch institutionelle oder sozio-kulturelle Neuerungen Umweltinnovationen sein können.[222] Definitorische Unterschiede ergeben sich in der Literatur einerseits bzgl. der ökologischen Effekte,[223] andererseits aus den gekoppelten ökonomischen Wirkungen.[224] Folgende Definition soll für diese Untersuchung gelten: Umweltinnovationen sind Erweiterungen der Wissensbestände, die es erlauben ein vorhandenes Versorgungsniveau mit reduziertem Verbrauch nicht-regenerierbarer bzw. geringerer Beanspruchung regenerierbarer Ressourcen sicherzustellen.[225] Wesentliche Eigenschaften von Umweltinnovationen sind positive Umwelteffekte, Langfristigkeit und Unsicherheit des Umweltnutzens, Kollektivgutcharakter der Umweltwirkung auf Seiten von Innovator und Nachfrager sowie die besondere Rolle politischer Einflussnahme bzw. des *regulatory push*.[226] Der ökologische Nutzen von Umweltinnovationen wird entlang dreier Strategien generiert: Effizienz-, Konsistenz- oder Suffizienzstrategie.[227] Während erstere eine quantitative Steigerung der Ressourcenproduktivität bzw. des Wirkungsgrades der Leistungserstellung verfolgt,[228] strebt die Konsistenzstrategie eine Vereinbarkeit von anthropogenen Stoffströmen mit natürlichen Kreisläufen an.[229] Die Suffizienzstrategie verfolgt die Zielsetzung veränderter Konsum- und Verhaltensmuster.[230] Eine Koppelung der Strategien ist insoweit vorhanden, als bei der Entstehung einer Technologie deren metabolistische Konsistenz konzipiert wird, während im Verlauf Ihres Lebenszyk-

---

221 In der Literatur treten synonym die Begriffe *environmental innovation* bzw. *eco-innovation* auf. Vgl. RENNINGS 2000, Seite 322 sowie OECD 2008, Seite 20 und OLTRA/SAINT JEAN 2009, Seite 567

222 Diese Auffassung der Definition von Umweltdefinition vertritt z. B. RUDOLPH 2003, Seite 2.

223 Neben positiven Formulierungen wie *Verbesserung der Umweltqualität* u. a. bei RUDOLPH 2003, Seite 2 treten v. a. Negativformulierungen wie *Verminderung* oder *Vermeidung negativer Umwelteinwirkungen* auf. Vgl. beispielhaft RENNINGS 2000, Seite 322.

224 Es wird betont, dass die ökologische Wirkung nicht explizite Intention der Innovation sein muss, sondern auch Nebeneffekt sein kann. Vgl. FOXON/KEMP 2006, Seite 121 sowie KONRAD/NILL 2001, Seite 35. Motivation für die Innovation können somit übliche Geschäftsziele wie Ertrag oder Qualität sein. Vgl. RENNINGS et al. 2003, Seite 13

225 Vgl. MONSSEN 2003, Seite 3

226 Vgl. ÖMER-RIEDER/TÖTZER 2004, Seite 7. Weiterhin wird betont, dass Umweltinnovationen häufig einen Nutzen für Innovator, Umwelt und Nutzer bieten. Vgl. RENNINGS et al. 2010, Seite 333 f.

227 Vgl. HUBER 2003, Seite 229 sowie GERSTLBERGER/WILL 2010, Seite 459 und VON HAUFF/KLEINE 2009, Seite 46 ff.

228 Vgl. PORTER/VAN DER LINDE 1995, Seite 121. Hier ist auch das *greening* vorhandener Technologien durch inkrementelle Innovationen zu nennen, mit denen sich u. a. die ökologische Effizienz bestehender Produkte und Prozesse verbessern lassen, ohne vorherrschende Technologiepfade oder sie tragende sozio-ökonomische Strukturen in Frage zu stellen. Vgl. DOLATA 2008b, Seite 275

229 Ziel der Konsistenzstrategie ist eine Kompatibilitätssteigerung bzw. Integration von industriellem und den ökologischem Metabolismus. Vgl. HUBER 2003, Seite 229 ff.

230 Vgl. GERSTLBERGER/WILL 2010, Seite 460

lus Effizienz gewonnen und Suffizienz geprägt werden.[231] Der ökologische Erfolg einer Umweltinnovation hängt maßgeblich von ihrer Diffusion ab, wobei sich eine Messung als problematisch herausstellt, da sie den gesamten Lebenszyklus (Entstehung, Nutzung, und Entsorgung) umfassen muss.[232] Die Identifikation einer *eco-innovation* ist folglich in vielen Fällen lediglich ex post möglich. Auf Grundlage dieses Verständnisses von Umweltinnovation wird diese Perspektive nun um ökonomische und soziale Aspekte erweitert. Die resultierende, nun dreidimensionale Sichtweise erschließt den Zugang zum Begriff der **Nachhaltigkeitsinnovation**, der in der Literatur aufgrund von Unschärfe in der Definition von Nachhaltigkeit,[233] v. a. wegen der verbreiteten Dominanz ihrer ökologischen Dimension (vgl. Teilkapitel 2.1), zum Teil synonym mit dem Terminus Umweltinnovation verwendet wird. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung erfolgt eine Unterscheidung der beiden Konzepte anhand ihrer Ein- bzw. Dreidimensionalität.[234] Neuerungen sind nur dann Nachhaltigkeitsinnovationen, wenn sie neben ökologischen auch ökonomische und soziale Kompatibilität ausweisen. Das ist allerdings selten der Fall, stattdessen ergibt sich häufig ein Zielkonflikt, der erst überwunden werden muss und dazu langfristiges Engagement erfordert.[235] Dieser Innovationstypus ist folglich komplexer und unsicherer als Innovation im Allgemeinen.[236] Konsistenz-, Effizienz- und Suffizienzstrategie eignen sich auch auf Nachhaltigkeitsebene, sodass sie in der Literatur zum Teil als Nachhaltigkeitsstrategien bezeichnet werden.[237] Zusammenfassend kann dieser Innovationstypus als Teilmenge der ökologischen Neuerungen verstanden werden, die wiederum ein Ausschnitt der Gesamtheit aller Innovationen sind.[238] Die zunehmende Nachhaltigkeitsorientierung eröffnet übergreifend neue Innovationsfelder hinsichtlich Produkten, Prozessen, Märkten und Geschäftsmodellen.[239]

2.2.1.3 Prozessuale Dimension von Innovation

Im Anschluss an die Darstellung objektorientierter Dimension von Innovation folgt nun die Analyse der prozessorientierten Dimension, die letztlich zur Wahrnehmung von Innovationsprozessen als dynamisch-kreative Prozesse der Wissensproduktion führt. Ein Prozess im Allgemeinen transformiert einen Input in einen Output. Im Fall des Innovationsprozesses erzeugen Menschen (Subjekt) Neuerungen (Output bzw. Objekt), die den Markt erreichen. Der in-

---

231 Vgl. HUBER 2003, Seite 229
232 Vgl. ÖMER-RIEDER/TÖTZER 2004, Seite 8
233 Für eine vertiefte Diskussion der Nachhaltigkeit vgl. Teilkapitel 2.1.
234 Mit Fokus auf die soziale Dimension lässt sich zwischen sozio-kultureller Anpassungsinnovation als Reaktion auf technologische Neuerungen und sozio-kulturelle Dynamisierung-Innovationen, die umgekehrt eine Reaktion technologischer Systeme erzwingen. Vgl. WEHRSPAUN 2012, Seite 71
235 Vgl. FOXON/KEMP 2006, Seite 122
236 Vgl. HALL/VREDENBURG 2003, Seite 63
237 Vgl. HUBER 2003, Seite 229
238 Vgl. ÖMER-RIEDER/TÖTZER 2004, Seite 11
239 Vgl. TIDD et al. 2005, Seite 51

dustrielle Innovationsprozess ist somit als Prozess der **Kommerzialisierung technologischen Wandels** zu sehen.[240] Anreiz für das Engagement der Innovatoren ist die Möglichkeit des Erzielens erhöhter Gewinne bzw. der Aneignung des kommerziellen Wertes der Neuerung.[241]
Analog der objektorientierten Dimension von Innovation wurden auch prozessorientiere Kategorien von Innovation vorgeschlagen, wobei besonders die Typisierung nach Induktion diskutiert wird. Während das Konzept des **technology push** die Ursache innovativer Aktivitäten im Erkenntnisfortschritt von Wissenschaft bzw. Anbieterseite sieht, identifiziert der Ansatz des **market pull** den Impetus in Wünschen und Bedarfen der Nachfrager. Diese Logik hat sich allerdings für den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn nicht bewährt.[242] Die Gründe dafür werden im weiteren Verlauf dieses Absatzes dargestellt. Eine zweite prozessuale Typisierung, die auf die Offenheit des Innovationsprozesses abstellt, entstammt der betriebswirtschaftlichen Disziplin des Innovationsmanagements. Diese hat klassisch einen innerbetrieblichen Fokus, untersucht allerdings mittlerweile auch vermehrt überbetriebliche Aspekte.[243]
Das Konzept der **closed innovation** geht von einer positiven Wirkung strikter Prozesskontrolle aus, sodass Unternehmungen innovative Anstrengungen rein intern ausführen. Dies führt allerdings dazu, dass zahlreiche vielversprechende Inventionen nie den Markt erreichen, da häufig Probleme alleine nicht gelöst werden können und das Innovationsvorhaben letztlich aufgegeben wird.[244] Dementgegen geht der Ansatz der **open Innovation** davon aus, dass die Nutzung der Erkenntnisse und Fähigkeiten sowie die Unterstützung anderer Unternehmungen den Innovationsprozess entscheidend bereichern und dessen Erfolgsaussichten steigern.[245] Kooperatives Verhalten in einem unternehmensübergreifend offenen Innovationsprozesses rückt hier in den Vordergrund.[246]
In der Literatur finden sich vielfältige **Prozessmodelle** von Innovation. Dabei ist nicht nur eine rasche Veränderung der Technologie selbst festzustellen, sondern auch ihrem Kommerzialisierungsprozess, dem Innovationsprozess, eine erhebliche Dynamik zu attestieren. Zum Teil wird sogar betont, dass sich diese Veränderung beschleunigt.[247] Eine Darstellung der Evolution des Innovationsprozesses und seiner Modellierung bietet Rothwell, der eine Unterteilung in fünf Prozessgenerationen vornimmt, wobei er aus den ersten vier ein Modell einer fünften

---

240 Vgl. ROTHWELL 1992, Seite 221
241 Während positive Effekte der Forschung das schöpferische Element Schumpeters *schöpferischer Zerstörung* repräsentieren, steht die Reduktion bzw. Vernichtung der Profite bisher erfolgreicher Unternehmungen für das zerstörerische Element. Vgl. SEITER 2005b, Seite 33
242 Vgl. MOWERY/ROSENBERG 1979, Seite 143 und CHIDAMBER/KON 1994, Seite 12 ff.
243 Vgl. HAUSCHILDT/SALOMO 2011, Seite 40
244 Vgl. HERZOG 2011, Seite 19 ff.
245 Vgl. WOLPERT 2002, Seite 78 sowie KLOSE et al. 2011, Seite 55
246 Für eine detailliertere Beschreibung dieses Konzeptes aus der Perspektive des Innovationsmanagements vgl. HERZOG 2011, Seite 21 ff.
247 Vgl. ROTHWELL 1992, Seite 221

Generation entwickelt.[248] Die folgenden Seiten strukturieren sich nach dieser Generationenlogik, wobei zahlreiche Modelle, im Besonderen das *chain-linked model*, selektiv in die Argumentation einbezogen werden.[249]

Die **erste Generation** entspricht dem bereits erwähnten **technology push**, der den Erkenntnisfortschritt von Wissenschaft bzw. Anbieterseite in den Mittelpunkt rückt. Bereits die Haltung Veblens stützte diese Auffassung mit dem Argument, dass aus einer Invention die entsprechende Nachfrage resultiere, selbst wenn es ursprünglich keine Nachfrage nach der Innovation gab.[250] Bei diesem Modell handelt es sich um eine einfache, vorwärts gerichtete Sequenz, deren Prozesslogik auf Schumpeter zurückgeht.[251] Invention, Innovation und Diffusion wurden bereits in Absatz 2.2.1.1 näher erläutert. Sie vollziehen sich weitgehend unabhängig voneinander, wobei lediglich der Output der vorgelagerten Prozessstufe Eingang in die nachgelagerte findet.[252] Push-induzierte Innovationen werden auch als mittelinduziert bezeichnet, wobei aufgrund der Verfügbarkeit von Inputs Neuerungen entstehen, für welche Anwendungsmöglichkeiten zu schaffen sind.[253] Gesteigerte Anstrengungen in F&E führen in diesem Modell deterministisch zu mehr Innovationen.[254] Dieser Typus des Innovationsprozesses ist dem Zeitraum von Mitte der 1950er bis Mitte der 1960er Jahre zuzuordnen, der eine Phase rapiden Wachstums, der Entstehung neuer Industrien und deutlichen Nachfrageüberschusses war, in dem Wissenschaft und Technologie als universeller Lösungsmechanismus angesehen wurden.[255] Ein Innovationsprozess dieser Charakteristik liegt eher bei wissenschaftsgeprägten Produkten wie z. B. Medikamenten vor. Zudem bringt forschungsinduzierte Innovation seltener inkrementelle, häufiger aber radikale technologische Durchbrüche hervor.[256]

Die **zweite Generation** des Innovationsprozesses ist dem Zeitraum von Mitte der 1960er bis in die frühen 1970er Jahre zuzuordnen, die von Hochkonjunktur, weiterem Wachstum und neuen Produkten auf Basis vorhandener Technologien geprägt war, wobei Angebot und Nachfrage bei sich intensivierendem Wettbewerb nahezu in Balance waren.[257] Die Konsequenz war eine stärkere Rolle des Absatzmarktes im Innovationsprozess, sodass sich dessen Mecha-

---

248 Vgl. ROTHWELL 1992, Seite 221 ff. Der Autor ordnet identifizierten Konjunkturphasen nach dem zweiten Weltkrieg jeweils eine Prozessgeneration zu.

249 Vgl. KLINE/ROSENBERG 1986, Seite 289

250 Veblen formulierte “Invention is the mother of necessity”. Vgl. VEBLEN 1914, Seite 314. Bereits 1898 veröffentlichte er einen Beitrag zur evolutorischen Natur der Ökonomik. Vgl. VEBLEN 1898, Seite 373 ff.

251 Vgl. SCHUMPETER 1934, 1939 sowie 1942. Eine wesentliche Prägung erfuhr diese Perspektive des Innovationsprozesses auch durch Bush. Vgl. BUSH 1945, Seite 231 ff.

252 Vgl. PYKA 1999, Seite 29

253 Vgl. VON AU 2010, Seite 19

254 Vgl. NEMET 2009, Seite 701 sowie GRUPP 1997, Seite 17

255 Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 115

256 Vgl. KLINE/ROSENBERG 1986, Seite 288

257 Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 116

nik in einen rückwärtsgerichteten, sequenziellen **need pull** bzw. **market pull** umkehrte.[258] In diesem Modell greifen die Produzenten zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse auf einen von den Wissenschaften bereitgestellten Möglichkeitsraum zurück.[259] Innovationen werden als Ergebnis durch Marktforschung erkannter bzw. artikulierter Kundenwünsche interpretiert, auf welche die Unternehmen mit fokussierten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten reagieren und Neuerungen erzeugen.[260] Es handelt sich um zweckinduzierte bzw. Pull-Innovationen. Im Vergleich zwischen Push und Pull zeigen Beobachtungen, dass Innovationen häufiger auf einen äußeren Bedarf zurückzuführen sind und seltener ihren Bedarf erst schaffen.[261] Auf zahlreichen Feldern, auf denen sich kein forschungsinduzierter technologischer Fortschritt einstellt, erzeugen unzählige zweckinduzierte und inkrementelle Neuerungen in Summe wesentliche evolutorische Fortschritte.[262] Wesentliche Gefahr der Pull-Interpretation des Innovationsprozesses ist allerdings ein *lock-in* der Anbieter auf einem Pfad technologischen Inkrementalismus mit dem Ziel der Individualisierung und Verbesserung vorhandener Produkte an Kundenwünsche.[263] Ein Innovationsprozess dieses Typus liegt eher bei reinen Konsumprodukten, wie z. B. im Lifestyle-Bereich, vor und bringt vorwiegend inkrementelle Neuerungen hervor. Kritiker dieser Interpretation des Innovationsprozesses fordern eine ausgewogenere Modellierung und bescheinigen, dass die reine Pull-Perspektive einen überzeugenden empirischen Nachweis schuldig bleibt.[264]

Die **dritte Generation** des Innovationsprozesses wird als **interaktiv-gekoppeltes Modell** (*coupling model*) bezeichnet. Zeitlich ist sie einem Intervall von den frühen 1970er bis zur Mitte 1980er Jahre zuzuordnen, das sich durch Ölpreissteigerung,[265] hohe Inflation, Angebotsüberschuss, wachsende Arbeitslosigkeit sowie Konsolidierungs- und Rationalisierungsstrategien in Unternehmungen mit Schwerpunkt auf Skalen- und Lerneffekten auszeichnete.[266] Ferner wurde in den 1970er Jahren eine Reihe von projektbezogenen, taktischen Umsetzungseigenschaften erfolgreicher Innovatoren identifiziert,[267] aus denen sich strategische Ei-

---

258 Diese Auffassung von Innovation geht zurück auf Schmookler, der technologische Entwicklungen als durch die Bedürfnisse der Nachfrage determiniert sieht. Vgl. SCHMOOKLER 1962 sowie 1966

259 Vgl. PYKA 1999, Seite 28

260 Vgl. NEMET 2009, Seite 701 und Vgl. VON AU 2010, Seite 20

261 Vgl. LASINGER 2011, Seite 104

262 Vgl. KLINE/ROSENBERG 1986, Seite 288. Die Autoren führen als Beispiel an, dass, obwohl keine zufriedenstellende wissenschaftliche Modellierung der Stabilität des Fahrradfahrens existiert, dieses dennoch erfunden wurde und bereits von Kindern genutzt werden kann.

263 Vgl. HAYES/ABERNATHY 1980, Seite 67 ff. sowie CHIDAMBER/KON 1994, Seite 16

264 Vgl. MOWERY/ROSENBERG 1979, Seite 147

265 Vgl. zur historischen Entwicklung des Rohölpreises Absatz 3.2.1.3

266 Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 117

267 Rothwell identifiziert neun taktische Erfolgsfaktoren: (1) interne und externe Kommunikation, (2) Verständnis von Innovation als unternehmensweite Aufgabe, (3) Planung und Controlling von Projekten, (4) effiziente Entwicklung und Qualitätsmanagement, (5) Nachfrageorientierung, (6) Serviceorientierung, (7) Technologie- und Produktexperten, (8) Qualität des Managements sowie (9) Erschließung von projektübergreifenden Synergien und Lerneffekten. Vgl. ROTHWELL 1992, Seite 223 f. und ROTHWELL 2002, Seite 118

genschaften ableiteten.[268] So zeichnete sich ab, dass eine reine push- bzw. pull-Argumentation als Ursache von Innovation Marktbedingungen bzw. technologische Möglichkeiten ignoriert.[269] Zum Teil wurden diese Sichtweisen gar mit Begriffen wie *polemische Karikaturen* bezeichnet.[270] An Stelle rein nachfrage- oder technologieinduzierter Innovation wurde ein simultan auf beiden Prinzipien beruhendes Modell gefordert und betont, dass beide Perspektiven nötig aber nicht hinreichend sind.[271] Das interaktiv-gekoppelte Modell des Innovationsprozess ist sequentiell, aber nicht nötigerweise regelmäßig, es integriert Aspekte von Technologie, Vermarktung und Produktgestaltung und bringt inkrementelle wie radikale Neuerungen hervor.[272] Ferner basiert es auf einem intra- und extraorganisationalen Kommunikationsnetz, das sowohl die Verbindung der internen Unternehmensfunktionen untereinander, als auch ihre Verknüpfung zu Wissenschaft, technologischen Kreisen und Markt ermöglicht.[273] Diese Sichtweise des Innovationsprozesses erlaubt aufgrund der Möglichkeit von Feedbacks auch eine Interpretation als interdependente Koevolution sozio-kultureller Nachfragefaktoren, wie z. B. Werten, und wissenschaftlich-technischem Fortschritt. Dennoch bleibt es aufgrund seines linear-sequenziellen Charakters eine stark vereinfachende Darstellung, die sowohl dynamische Beziehungen zwischen den Phasen als auch wichtige Einflussfaktoren der technologischen Entwicklung als Problemlösungsprozess ausblendet.[274] Zudem variiert die Bedeutung von *technology push* und *need pull* in verschiedenen Phasen des übergeordneten Industrie- bzw. Technologielebenszyklus.[275]

Die **vierte Generation** des Innovationsprozesses bezeichnet Rothwell als **integriertes Modell** (*integrated model*). Sie trat im zeitlichen Rahmen der frühen 1980er bis in die frühe 1990er Jahre auf, die eine Periode wirtschaftlicher Erholung war, in der sich Unternehmungen auf Kernkompetenzen konzentrierten und globalisierten. Zudem stieg das Bewusstsein für die strategische Bedeutung von Technologiestrategie als Bestandteil der Unternehmensstrategie und Entwicklungs- und Produktlebenszyklen verkürzten sich dramatisch.[276] In diesem dynamischen und wettbewerbsintensiven Umfeld gewannen zeitbasierte Strategien an Bedeutung.

---

[268] Rothwell und Zegveld identifizieren sechs strategische Parameter: (1) Commitment des Top-Managements inkl. sichtbarer Unterstützung von Innovation, (2) Bedeutung von Innovation in langfristiger Unternehmensstrategie, (3) langfristiges Commitment zu Großprojekten, (4) Flexibilität und Reaktionsbereitschaft bei Veränderungen, (5) Risikoakzeptanz des Top-Managements sowie (6) Innovationsgepräge und unternehmerische Kultur. Vgl. ROTHWELL/ZEGVELD 1985, Seite 77 f.

[269] Vgl. NEMET 2009, Seite 701

[270] Vgl. DE MIRANDA 1995, Seite 52

[271] "Rather than viewing either the existence of a market demand or the existence of a technological opportunity as each representing a sufficient condition for innovation to occur, one should consider them each as necessary, but not sufficient, for innovation to result; both must exist simultaneously." MOWERY-ROSENBERG 1979, Seite 143 und Vgl. CHIDAMBER/KON 1994, Seite 12 ff.

[272] Vgl. ROTHWELL 1992, Seite 222 f.

[273] Vgl. ROTHWELL/ZEGVELD 1985, Seite 50

[274] Vgl. PYKA 1999, Seite 58

[275] Vgl. ROTHWELL 1992, Seite 222 sowie Absatz 2.2.1.3 und Absatz 2.2.3.6

[276] Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 119 f.

Besonders erfolgreiche japanische Innovatoren wurden durch interne wie externe Integration und Parallelisierung im Entwicklungsprozess einflussreicher.[277] In der Folge wandelte sich auch die Auffassung des Innovationsprozesses von einem ehemals sequenziellen zu einem weitgehend parallelen Prozess mit simultanen Elementen und integrativen Ansätzen.[278] Auf dieser Ebene abstrahiert auch das *chain-linked model* des Innovationsprozesses von einer einfachen Push-Pull-Logik, indem es Rückkopplungen und Kooperation zwischen den Stufen integriert.[279] Kline und Rosenberg betonen, dass jede Interpretation des technischen Innovationsprozesses als gleichmäßiger, manierlicher und linearer Prozess oder die Sichtweise von Forschung in zentraler Rolle als Prozessauslöser, bei weitem zu stark simplifizieren sowie Natur und Richtung der ursächlich beteiligten Faktoren verfehlen.[280] Wesentliche Folge der Aufgabe sequenzieller Linearität des Innovationsprozesses ist, dass die bisherige Diskussion um den Auslöser des Innovationsprozesses zum Teil obsolet wird, da in komplexeren Modellen wechselseitige Verflechtungen und Beeinflussungen zentrales Element sind. An Stelle des Prozessauslösers rückt damit die Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Unternehmensbereichen sowie in integrierten Entwicklungsteams in den Vordergrund.[281] Kline und Rosenberg vertreten im Rahmen ihres Modells die Auffassung, dass statt der Forschung nun die Entwicklung die zentralere Rolle im Innovationsprozess einnimmt und wiederum selbst Auslöser von Forschungsinitiativen ist.[282] Über die Unternehmensgrenzen hinaus gewinnen in der vierten Generation des Innovationsprozesses enge vertikale Kooperationen mit Lieferanten und Nachfragern sowie die horizontale Bildung strategischer Allianzen und Joint Ventures massiv an Bedeutung.[283] Zudem treten weiche Faktoren wie Vertrauen, Verhalten und Kultur innerhalb des Innovationprozesseses stärker in den Vordergrund.[284]

Mitte der 1990er Jahre setzte sich das **systemintegrierte Netzwerkmodell** (*systems integration and networking model*, *SIN*) als **fünfte Generation** des Innovationsprozesses durch.[285] Ge-

---

277 Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 120

278 Ein Beispiel für diese Entwicklung ist die Integration an der Schnittstelle von F&E zur Produktionsstufe, die zum *Design for Manufacturability*-Ansatz führt. Vgl. ROTHWELL 1992, Seite 221 sowie Seite 236

279 Vgl. KLINE/ROSENBERG 1986, Seite 291. Innerhalb dieses Modells sind fünf Innovationspfade modelliert, an denen Forschung, Entwicklung, Produktion, Marketing und die Nachfrager in unterschiedlichem Maße beteiligt sind. Die zum Wertschöpfungsprozess parallel gelagerte Forschung kann in jeden Prozessschritt eingebunden werden (*chain link*). Vgl. KLINE/ROSENBERG 1986, Seite 303

280 Vgl. KLINE/ROSENBERG 1986, Seite 275 und Seite 293. Eine Darstellung inkl. Kritik an sequenziellen Modellen des Innovationsprozesses bietet auch Freeman. Vgl. FREEMAN 1996, Seite 27 ff.

281 Vgl. ROTHWELL 1992, Seite 225

282 Vgl. KLINE/ROSENBERG 1986, Seite 286. Die Autoren gehen davon aus, dass der Einbezug von Wissen in den Innovationsprozess in zwei Schritten erfolgt. Im ersten erfolgt der Versuch der Problemlösung durch Rückgriff auf den vorhandenen Wissensstock. Sollte dieser keine Lösung bieten folgt im zweiten Schritt der Lösungsversuch durch Generierung neuen Wissens. Vgl. KLINE/ROSENBERG 1986, Seite 291

283 Vgl. ROTHWELL 1994, Seite 39

284 Vgl. ROTHWELL 1992, Seite 229

285 Eine systemische Sichtweise des Innovationsprozesses stützende Auffassung vertritt bspw. auch Freeman. Vgl. FREEMAN 1996, Seite 29 ff.

samtwirtschaftliche Hintergründe dieser Entwicklung waren intensivierter Wettbewerb inkl. geringer Profite und scheiternder Akteure, eine weiter zunehmende Bedeutung von Geschwindigkeit im Entwicklungsprozess bzw. schneller Markteinführung, sowie neue regulative Vorgaben als Resultat zunehmend negativer ökologischer Auswirkungen des Wirtschaftens mit strategischen Auswirkungen für Unternehmungen.[286] Die fünfte Generation des Innovationsprozesses lässt sich mittels 24 Parametern charakterisieren, die es erfolgreichen Innovatoren in diesem Wettbewerbsumfeld ermöglichen, Geschwindigkeit und/oder Effizienz des Innovationsprozesses zu steigern.[287] Im zweiten Schritt leiten sich aus diesen Erfolgsfaktoren **acht Strategien** ab, die diese Unternehmungen erfolgreich als Reaktion auf die zunehmend komplexe Marktsituation einsetzen.[288] (1) Geschwindigkeit: Wettbewerbsintensität und beschleunigter technologischer Wandel lassen schnellere bzw. effizientere Produktentwicklung zum zentralen Erfolgsfaktor werden. Die Unternehmungen setzen verstärkt zeitbasierte Strategien ein.[289] (2) Flexibilität: Reaktionsvermögen und Anpassungsfähigkeit spielen sowohl im Innovationsprozess als auch auf Unternehmensebene bzgl. Organisation, Produkt und Produktion eine entscheidende Rolle. (3) Qualität: Produktqualität und -leistung sowie andere nicht-monetäre Faktoren rücken ins Zentrum der Unternehmensstrategie. (4) Kundenfokus: Die Fokussierung auf Kunden und deren Bedürfnisse steht an der Spitze der Unternehmensstrategie. (5) Vertikale Vernetzung: Erfolgreiche Innovatoren integrieren Lieferanten in ihren Innovationsprozess. (6) Horizontale Vernetzung: Technologische Kooperation mit Wettbewerbern in Form von strategischen Allianzen und Joint Ventures gewinnt an Bedeutung. (7) Elektronische Datenverarbeitung: Systeme zur elektronischen Speicherung, Verarbeitung und zum Austausch von Daten werden übergreifend eingesetzt.[290] (8) Qualitätsmanagement: Er-

---

286 Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 120 f.

287 Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 121 ff. Diese Parameter sind: (1) Explizite, zeitbasierte Strategie, (2) Commitment des Top Managements, (3) Mobilisierendes Commitment und Ressourcen (Vorbereitung), (4) Effizienz indirekter Entwicklungsaktivitäten, (5) Horizontaler Führungsstil: Entscheidung auf niedrigen Ebenen, (6) Engagierte Produktspezialisten und Projektleiter, (7) Hohe Qualität der ersten Produktspezifikation, (8) Integrierte, cross-funktionale Teams, (9) Commitment zu allgemeiner Qualitätskontrolle, (10) Inkrementelle Entwicklungsstrategie, (11) Übernahmestrategien zwischen Produkten, (12) Kombination von Alt und Neu im Produktdesign, (13) Designinhärente Flexibilität, (14) Economy in Technology, (15) Enge Verbindung zur Primärlieferanten, (16) Aktuelle Datenbank von (möglichen) Lieferanten, (17) Einbindung von Leitkunden in Design und Entwicklung, (18) Integration externen Wissens, (19) Interner Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien, (20) Vernetzte CAD-Systeme: Lieferant-Hersteller-Anwender, (21) Rapid-Prototyping-Technologien, (22) Simulation an Stelle von Prototypen, (23) Technologiedemonstratoren als Grundlage von Simulation, (24) Expertensysteme zur Entwicklungsunterstützung.

288 Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 127. In früheren Publikationen nennt der Autor mit Referenz auf COOPER 1980 zusätzlich (9) Technologiestrategie (10) Integrierte Produkt- und Produktionsstrategie sowie (11) Umweltorientierung. Vgl. ROTHWELL 1992, Seite 232 und ROTHWELL 1994, Seite 34

289 Unternehmen verwenden für zeitbasierte Strategien Begriffe wie *speed to market* oder *time to market* bzw. *first to market*. Eine Beschreibung elf beschleunigender Parameter bietet ROTHWELL 1992, Seite 234 f..

290 Auch im Rahmen des *chain linked models* des Innovationsprozesses wird die wesentliche Rolle computergestützter Entwicklung und Produktion betont. Die Autoren sehen diese in Kombination mit verbesserten Simulationsmöglichkeiten als Wegbereiter höherer Effizienz. Vgl. KLINE/ROSENBERG 1986, Seite 293

folgreiche Innovatoren setzen ein durchgängiges Qualitätssystem inkl. Kontrollmechanismen ein. Aus diesen Strategien zieht Rothwell in einem dritten Schritt Rückschlüsse auf die **Grundcharakteristik des Innovationsprozesses** der fünften Generation. Dabei konstatiert er übergreifend, dass Technologie, Organisation und institutioneller Rahmen der Produktentwicklung im Verbund einen Prozess innerhalb eines systemintegrierten Netzwerks bedingen.[291] Dieser erfordert zur Schaffung und Aufrechterhaltung innovationsfördernder Strukturen in dynamischem Umfeld hohe Flexibilität in Management und Organisation.[292] Übergeordnetes Ziel ist die Steigerung von Effektivität, Effizienz und Flexibilität, was das Modell im Wesentlichen zu einem Ansatz der *lean innovation* macht.[293] Im Kern wird ein schlanker Prozess gefordert.[294] Das vernetzte Innovationsbild stellt ferner auf die gegenseitige Beeinflussung und Abhängigkeit aller Phasen des Innovationssprosseses ab, sodass Rückkopplungen nun eine Rolle als Triebkraft zukommt.[295] Die einzelnen Prozessschritte sind als wiederkehrende, miteinander verkettete Prozesse zu interpretieren.[296] Es entsteht ein systemischer Problemlösungsprozess mit hohem Integrations- und Parallelitätsgrad sowie funktions- und unternehmensübergreifender Beteiligung. Eine wesentliche Herausforderung ist dabei der erfolgreiche Umgang mit der erhöhten Komplexität dieses Netzwerkprozesses,[297] der neue Praktiken interner Organisation sowie starke vertikale und horizontale Verbindungen zwischen Unternehmungen beinhaltet.[298] Für eben dieses systemische Zusammenspiel verschiedener Akteure prägt Pyka den Begriff des **kollektiven Innovationsprozesses**.[299] Aufbauend auf diesem übergreifenden Verständnis des systemintegrierten Netzwerkprozesses erweitert Rothwell sein Modell, indem er fünf operative Prozesseigenschaften aus den befähigenden Attributen erfolgreicher Innovatoren ableitet:[300] (1) Übergreifende Organisation und Systemintegration inkl. externem Netzwerk,[301] (2) Flachere, flexiblere Strukturen inkl. übertragener

---

291 Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 121

292 Vgl. ROTHWELL 1992, Seite 237. Zur Gegenüberstellung traditioneller und moderner Organisationdesigns für Innovation Vgl. SOUDER 1983, Seite 35

293 Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 128

294 Vgl. WÖRDENWEBER/WICKORD 2008, Seite 11 und Seite 136

295 Vgl. PYKA 1999, Seite 46 sowie Seite 60

296 Vgl. VON AU 2010, Seite 25

297 Vgl. ROTHWELL 1992, Seite 237

298 Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 121

299 Vgl. PYKA 1999

300 Vgl. ROTHWELL 1992, Seite 236 sowie ROTHWELL 2002, Seite 127 ff.

301 Unternehmerisch-operative Parameter dieser Prozesseigenschaft sind: (1a) paralleler, integrierter Entwicklungsprozess mit Fokus auf zeitbasierter Strategie (1b) strategische Integration mit Primärlieferanten, frühe Lieferantenentwicklung in der Produktentwicklung (1c) Einbindung von Leitkunden in die Produktentwicklung, Kundenfokus an der Spitze der Strategie (1d) horizontale technologische Kooperationen inkl. Forschung und Marketing. Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 127. Dodgson betont den kooperativen Schwerpunkt bzgl. (1b), (1c) und (1d). Vgl. DODGSON 1993, Seite 25

Entscheidungsbefugnisse,[302] (3) Elektronisch gestützte Produktentwicklung: Informationsverarbeitung in Echtzeit, (4) Vollentwickelte interne Datenbanken,[303] (5) Effektive externe Datenverbindungen.[304]

Zusammenfassend verursacht eine Ausprägung industrieller Innovation als Prozess in einem systemintegrierten Netzwerk erheblichen Aufwand bzgl. Finanzen, Zeit, Training und Ausrüstung.[305] Zudem ist die Korrelation zwischen Veränderungsgrad und Unsicherheit für den Parallelitätsgrad wesentlich. Je umfangreicher die Veränderungen sind, die eine Neuerung mit sich bringt, desto höher ist der korrelierende Grad der Unsicherheit bzgl. technischer und organisationaler Umsetzbarkeit sowie der Durchsetzung im Markt.[306] Dieser Zusammenhang führt speziell bei den von hoher Unsicherheit geprägten radikalen Innovationen dazu, dass der Grad an Parallelität, entgegen der sich im Zeitverlauf reduzierenden Unsicherheit, gesteigert werden sollte.[307] Zielsetzung ist somit die bewusste Gestaltung einer indirekt proportionalen Korrelation. Die Interpretation von Innovation als Prozess in systemintegrierten Netzwerken ermöglicht letztlich auch eine koevolutorische Auffassung von Technik und Gesellschaft.[308] Vor diesem Hintergrund sind technische Innovationen nicht nur ein Produkt technischen Könnens und wirtschaftlicher Nutzbarmachung, sondern werden auch von gesellschaftlichem Wertewandel getragen.[309]

2.2.1.4 Technischer Wandel und ökonomische Entwicklung

Anschließend an die Darstellung prozessualer Dimension von Innovation konzentriert sich dieser Absatz auf ihre industriellen und ökonomischen Auswirkungen. Dazu werden die Begriffe Technologie und Technik kurz voneinander abgegrenzt, woran sich eine Betrachtung marktlicher Durchsetzung derartiger Neuerungen anschließt. Auf dieser Grundlage folgt eine Erörterung des resultierenden technologischen Wandels sowie eine kurze Darstellung seines Beitrags zur ökonomischen Entwicklung von Volkswirtschaften.

---

302 Unternehmerisch-operative Parameter dieser Prozesseigenschaft sind: (2a) Übertragung umfangreicherer Verantwortung auf Manager niedriger Ebenen inkl. Entscheidungskompetenz (2b) Übertragung von Verantwortung und Entscheidungskompetenz auf Experten und Projektleiter. Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 127

303 Unternehmerisch-operative Parameter dieser Prozesseigenschaft sind: (4a) effektive Datenaustausch- und Expertensysteme (4b) Metrik für die Produktentwicklung, computerbasierte Heuristiken, Expertensysteme (4c) elektronisch gestützte Produktentwicklung und Simulation (4d) verbundene CAD/CAE-Systeme zur Steigerung der Flexibilität der Produktentwicklung und -herstellung. Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 127 f.

304 Unternehmerisch-operative Parameter dieser Prozesseigenschaft sind: (5a) Systemseitig vernetzte Entwicklung mit Lieferanten (5b) Nutzung von CAD an der Schnittstelle zu Kunden (5c) effektive Datenverbindungen mit Forschungs- und Entwicklungspartnern. Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 128

305 Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 130 f.

306 Vgl. KLINE/ROSENBERG 1986, Seite 276 sowie Seite 303

307 Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 128

308 Vgl. BLÄTTEL-MINK 2006, Seite 132

309 Vgl. BIELER/RISCH 2012, Seite 178

Obwohl die Begriffe **Technologie und Technik** sowohl im allgemeinen Sprachgebrauch als auch in wissenschaftlicher Literatur häufig synonym genutzt werden,[310] erfolgt im Rahmen dieser Untersuchung eine Differenzierung gemäß dem ursprünglichen Wortsinn. Während der Terminus *Technologie* Wissen, Kenntnisse und Fähigkeiten um naturwissenschaftlich-technische Zusammenhänge zur technischen Problemlösung bezeichnet, beschreibt *Technik* deren Umsetzung in Form von Produkten und Verfahren.[311] Technologie ist somit eine Voraussetzung zur Erstellung von Technik, wobei Technik in vielen Fällen zahlreiche Technologien inkorporiert. Für den weiteren Verlauf der Untersuchung ist somit wesentlich festzuhalten, dass Technik immer auch Technologie einschließt, nicht allerdings umgekehrt.

Wie bereits in Absatz 2.2.1.1 erläutert muss eine Neuerung den Markt erreichen, um als Innovation zu gelten. Um für den Innovator allerdings auch einen ökonomischen Erfolg darzustellen, muss sie zusätzlich eine Verbreitung erreichen, die den Innovationsaufwand überkompensiert. Grundlage der hierfür notwendigen **Diffusion** ist die Durchsetzung der Innovation im Markt. Dabei ist grundsätzlich davon auszugehen, dass sich diejenige Technologie durchsetzt, die unter gleichen Startbedingungen anfänglich hohe Erträge bietet und/oder durch Steigerung Ihrer Nutzerzahl Vorsprünge erreichen kann.[312] Geels unterscheidet bei der Durchsetzung neuer Technologie drei grundlegende Pfadcharakteristiken sozio-technischen Wandels.[313] (1) Bei einer **technologischen Substitution** entwickelt sich die Innovation unbeachtet und parallel zur dominanten Technologie in Nischen, wo sie zunehmend an Reife und Wettbewerbsfähigkeit gewinnt. Sobald sie das Niveau der dominanten Technologie erreicht, treten diese in Wettbewerb, was zu *Anstoßwirkungen* (*knock-on effects*) in Politik, Infrastruktur, Nutzungsverhalten und industrieller Struktur führt.[314] (2) Im Fall **ausgedehnter Transformation** öffnet sich das dominante sozio-technische System problembedingt bereits vor dem Aufkommen der Neuerung. Ergebnis dessen ist die Entstehung von Eintrittsgelegenheiten (*windows of opportunity*) für neue Technologien, wobei die Probleme der dominanten Lösung adressiert werden. (3) Dritter Transformationspfad ist die **graduelle Rekonfiguration um-**

---

310 Vgl. PYKA 1999, Seite 51 f.

311 Vgl. SCHUH et al. 2011, Seite 33 ff. “Strictly speaking, as the word itself implies, technology is simply a body of knowledge about techniques.” FREEMAN/SOETE 1997. Technologie kann gleichsam als Rezept zur Erstellung von Technik interpretiert werden. Vgl. DOSI/NELSON 2009, Seite 8

312 Vgl. SEITER 2005b, Seite 35. In Fällen positiver Netzwerkeffekte führt eine steigende Zahl von Anwendern zudem zu höheren Nutzenniveaus des einzelnen, d. h. es liegen steigende Skalenerträge der Nutzung vor, sodass sich auch ineffiziente Technologien bis hin zu einer Monopolstellung durchsetzen können. Vgl. SEITER 2005b, Seite 34

313 Vgl. GEELS 2005, Seite 257 ff. sowie GEELS 2002, Seite 1257 ff. Der Autor bezeichnet diese als Transformationspfade (*Transition routes*), die die Ablösung einer dominanten Technologie durch in Marktnischen entwickelte Neuerungen beschreiben (*niche-regime interactions*).

314 Der Autor unterscheidet den Pfad der technologischen Substitution weiterhin bzgl. des Substitutionsablaufs in drei Subkategorien: (1) schneller Durchbruch (*rapid breakthrough*) (2) graduelle Substitution (*gradual substitution*) sowie (3) Komponentensubstitution mit kaskadierter Innovation (*component substitution with innovation cascade*). Vgl. GEELS 2005, Seite 258 ff.

fangreicher technischer Systeme, die aus zahlreichen verbunden Technologien und Infrastrukturnetzwerken bestehen. Da die Funktion des Systems während der Transformation aufrechterhalten werden muss werden die Technologien kombiniert, wobei neue Technologie und Technik im Entwicklungsverlauf graduell an Bedeutung gewinnen.[315] Ergebnis derartiger Transformationsperioden ist die Substitution der bisherigen durch die neue Technik, wobei sich der Diffusionsprozess über Zeiträume von bis zu dreißig Jahren erstrecken kann.[316] Über diese Pfadcharakteristiken der Durchsetzung hinaus geht die Diffusion neuer Technologien in der Regel mit zahlreichen inkrementellen Innovationen einher, die oftmals das Ausmaß der eigentlichen Innovation übersteigen.[317] Rothwell und Gardiner bezeichnen das Phänomen, dass speziell bei langen Produktlebenszyklen die Markteinführung von einer Phase umfangreicher Verbesserungsinnovationen gefolgt ist als *re-design* für *re-innovation*.[318] Zusätzlich zu den Anstrengungen, die der Innovator selbst zur Verbreitung der Neuerung unternimmt, wird Diffusion durch Imitation beschleunigt. Die aus erfolgreicher Innovation resultierenden, erhöhten Gewinne des Innovators ziehen Wettbewerber an, die die Neuerung nachahmen, um sich einen Teil des kommerziellen Wertes anzueignen.[319] Abschließend lassen sich bzgl. der Durchsetzung neuer Technologien einige Grundtendenzen identifizieren.[320] Die Diffusion techno-ökonomischer Innovationen erfolgt zunehmend im systemischen Verbund mit institutionellen und sozio-kulturellen Innovationen, wodurch letztere an Bedeutung gewinnen. Weiterhin rückt die Kompatibilität von Neuerungen mit Bestehendem in den Fokus, was in Problemfällen zur Rechtfertigung politischer Intervention dient.

Die Auswirkung der Gesamtheit aller technischen Innovationen in einer Volkswirtschaft ist **technischer Wandel**,[321] der gemäß der bereits getroffenen Definition von Technik technologischen Wandel beinhaltet bzw. durch diesen ermöglicht wird. Gemäß Schumpeter ist technischer Wandel der Prozess, der unaufhörlich die Wirtschaftsstruktur von innen heraus revolutioniert, dabei alte Strukturen zerstört, neue schafft und somit als *schöpferische Zerstörung*

---

315 Vgl. GEELS 2005, Seite 266

316 Vgl. DOLATA 2011, Seite 275

317 Vgl. PYKA 1999, Seite 60

318 Vgl. ROTHWELL/GARDINER 1989, Seite 148. Zudem weisen die Autoren auf die Gefahr eines *lock-in* in *technologischem Inkrementalismus* (*technological incrementalism*) hin, der dazu führen kann, dass Unternehmungen unfähig werden auf radikale Innovationen adäquat zu reagieren. Vgl. ROTHWELL/GARDINER 1989, Seite 150

319 Vgl. PYKA 1999, Seite 27

320 Vgl. KONRAD/NILL 2001, Seite 32 ff.

321 Vgl. PYKA 1999, Seite 27 sowie ZÜRN 2010, Seite 19. Wandel wird im Allgemeinen als Synonym für Veränderung gebraucht, was einen Transformationsprozess von einem in den anderen Zustand über eine Zeitspanne bezeichnet. Wandlungsprozesse werden in verschiedenen Wissenschaftszweigen mit unterschiedlichen Begriffen beschrieben, die zum Teil eine Konnotation implizieren. Während Begriffe wie Wandel und Entwicklung keine Wertung enthalten, sind Vokabeln wie Fortschritt oder Modernisierung mit einer positiven Nebenbedeutung gefärbt. Um eine neutrale Argumentation zu ermöglichen wird hier der Begriff Wandel verwendet.

bezeichnet werden kann.[322] Aufgrund der Relevanz von Technologie und Vermarktung hängt technischer Wandel sowohl von wissenschaftlich-technologischen als auch von ökonomischen Faktoren ab.[323] Basis dieser andauernden Transformation sind die Innovationsaktivitäten der Unternehmungen, die einerseits zur Diffusion des in den neuen Produkten inkorporierten Wissens[324] und andererseits zu Lerneffekten durch den Einsatz neuer Technik im Produktionsprozess führen.[325] Gerade vor dem Hintergrund eines vernetzten Innovationsprozesses ist technischer Wandel als ein aus vielen Subprozessen bestehender Hauptprozess zu verstehen, der von zahlreichen Akteuren geprägt wird.[326] Zudem bezieht sich technischer Wandel nicht nur auf physisches Kapital (*embodied technical change*), sondern auch auf die betriebs- und volkswirtschaftliche Organisation des Produktionsprozesses (*disembodied technical change*), der häufig ohne oder mit geringem Ressourcenaufwand erheblich verbessert werden kann.[327] An dieser Stelle soll betont werden, dass die Dynamik des technischen Wandels zwischen Perioden gemäßigter Entwicklung und Phasen erhöhter Transformationsrate sowie Fluktuation stark schwankt.[328] Während schrittweise Verbesserung bekannter Technik zu inkrementellem technischem Wandel führt, bedingen radikale technische Innovationen umfangreiche Umwälzungen. Beide Phänomene treten in Kombination auf, da die Ausbreitung einer neuen Technologie mit zahlreichen inkrementellen Verbesserungen einhergeht, die wiederum einen kumulativen Effekt erzeugen, von dem maßgebliche Anteile des technischen Fortschritts ausgehen.[329] Das Aufkommen immer neuer Technologien und resultierender Technik führt außerdem zu zeitlich begrenzten Lebenszyklen bei Technologien, technischen Produkten und Verfahren.[330] Konsequenz dieser Dynamik sind neben dem Aufkommen und Verschwinden industrieller Sektoren v. a. auch strukturelle Anpassungsprozesse.[331] In der Folge beinhaltet der Gesamtprozess technischen Wandels neben quantitativen Effekten (verbessertes Input-Output-Verhältnis) auch qualitative Aspekte und hat neben techno-ökonomischen auch erhebliche soziale und ökologische Auswirkungen. Die Entwicklung von Technologie und Technik ist einerseits von sozialen, ökonomischen und politischen Kräften geprägt, andererseits prägen

---

322 Vgl. SCHUMPETER 1942, Seite 83

323 Vgl. PYKA 1999, Seite 63. Pavitt kategorisiert industrielle Sektoren zur Erklärung von Auslösern und Entwicklungsrichtungen technischen Wandels abhängig von Technologiequellen, Kundenanforderungen und Aneignungsbedingungen in *supplier dominated*, *production intensive* und *science based*. Vgl. PAVITT 1984

324 Vgl. SCHNABL 2007, Seite 882

325 Vgl. SEITER 2005b, Seite 41

326 Vgl. PYKA 1999, Seite 47

327 Vgl. KURZ 2001, Seite 52

328 Vgl. WINDRUM 2007, Seite 415

329 Vgl. PYKA 1999, Seite 60

330 Vgl. zu Lebenszyklen von Technologien Absatz 2.2.3.6.

331 Struktureller Wandel ist z. B. dann ein Ergebnis technischen Wandels, wenn dieser eine Veränderung der Anzahl von Unternehmen oder Beschäftigten bedingt. Der Wandel von Strukturen ist stets mit einer Zu- oder Abnahme von Strukturelementen, oder mit qualitativen Veränderungen verbunden. Vgl. HALDER 2006, Seite 4

beide wiederum das sozio-technische Gefüge menschlicher Gesellschaft.[332] So unterscheiden sich technische Lösungen nicht nur in ihrem Design, sondern auch in den Formen sozialer Organisation, institutioneller und regulativer Erfordernisse sowie sozio-ökonomischer Wirkungen.[333] Aus Sicht der *Technikgenese*[334] wird betont, dass technischer Wandel aus vielfältigen Interdependenzen von Technik, Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft resultiert und somit ein komplexes Wirkungsgefüge darstellt, das durch unterschiedliche Akteure beeinflusst wird, umgekehrt jedoch auf diese durch Rückkopplungen zurückwirkt.[335] Auch der Zusammenhang zwischen technischem Wandel und Ökologie wird in der Literatur thematisiert. Dabei wird betont, dass technische Innovationen Menge und Zusammensetzung des im ökonomischen Gesamtprozess benötigten Naturkapitals verändern können.[336]

Die dargestellten Zusammenhänge zeigen, warum technischem Wandel die prägende Rolle als Determinante für **gesamtwirtschaftliche Entwicklung** zugeschrieben wird.[337] Ökonomische Entwicklung und technologischer Fortschritt zeigen sich in einer eng verzahnten gegenseitigen Abhängigkeit sowohl bzgl. gegenseitiger Anschubwirkung als auch Beschränkungen.[338] Dabei beinhaltet wirtschaftliche Entwicklung quantitative wie qualitative Aspekte und ist von konjunkturellen Wellen unterschiedlicher Länge geprägt. Schumpeter wies in diesem Zusammenhang darauf hin, dass Neuerungen mit langen Durchsetzungsphasen existieren, die wiederum schnelllebigere Innovationen auf dem Rücken der durch sie hervorgebrachten Wellen mitziehen.[339] So untersucht z. B. die Theorie der G*eneral Purpose Technologies* (analog Schumpeters Basisinnovationen) Neuerungen, die die gesamte Ökonomie durchdringen und nach ihrer Ausbreitung temporär eine regulär-kontinuierliche Entwicklung bedingen. Ein Beispiel hierfür sind Informations- und Kommunikationstechnologien.[340] Insgesamt ist die ökonomische Entwicklung geprägt von der Einführung technischer Neuerungen mit unterschiedlicher Ausprägung in Inhalts-, Intensitäts- und Prozessdimension und Diffusion sowie von ei-

---

332 Vgl. RIP/KEMP 1998, Seite 328

333 Vgl. DOLATA 2008b, Seite 262

334 Das Forschungsfeld der Technikgenese verknüpft die Entstehung und Durchsetzung technischer Systeme mit sozialer Entwicklungsdynamik, um so eine koevolutorische Perspektive entsteht. Im Fokus stehen dabei Ursachen, Bedingungen, Mechanismen, Muster und typische Verläufe innerhalb des sozio-technischen Systems. Vgl. BANSE et al. 2002, Seite 26

335 Vgl. BANSE et al. 2002, Seite 27

336 Vgl. MULDER et al. 1999, Seite 1. Der Autor betont, dass die Art und Weise in der Energie und Materialien im ökonomischen Prozess transformiert werden im Wesentlichen vom technologischen Status abhängt.

337 Vgl. LINSCHEIDT 1999, Seite 5 sowie ZÜRN 2010, Seite 18

338 Vgl. CANTNER/HANUSCH 1998, Seite 1

339 Vgl. SCHUMPETER 1939, Seite 176, der argumentiert, dass Basisinnovationen lange konjunkturelle Wellen von 50 bis 60 Jahren auslösen, die er *Kondratjew-Zyklen* nannte. Vgl. zur Darstellung der bisherigen Kondratjew-Zyklen DICKEN 2011, Seite 78 ff. sowie FREEMAN/PEREZ 1988, Seite 50 ff. In der Fortentwicklung der Theorie wurden ergänzend weitere Zyklen identifiziert, die simultan-überlagernd auftreten, so z. B. die kürzeren *Kuznets*- (15 bis 25 Jahre), *Juglar*- (10 Jahre) und *Kitchin-Zyklen* (40 Monate).

340 Vgl. SCHREYER 2005, Seite 267 ff.

ner andauernden Verschiebung von Ressourcen von alten zu neuen Industrien.[341] Aufgrund dieser Umwälzungen ist ökonomische Entwicklung kein strukturkonstanter Prozess. Sektorale Zusammensetzungen im Hinblick auf Beschäftigungs- und Produktionsanteile verändern sich dynamisch,[342] wobei neben quantitativen Änderungen des Input-Output-Verhältnisses auch qualitative Umbildungen eintreten.[343] Resultiert ökonomische Entwicklung in einer Volkswirtschaft in einem Zuwachs individueller Wohlfahrt, d. h. einer anhaltenden Zunahme des Bruttosozialprodukts pro Kopf, liegt moderndes wirtschaftliches **Wachstum** nach Kuznets vor.[344] Unter den Wachstumsfaktoren nimmt technischer Wandel und damit der Zugewinn technologischen Wissens[345] gegenüber Kapitalakkumulation[346] und Arbeitsteilung[347] eine dominante Stellung ein.[348] Aufgrund dieses Zusammenhangs zwischen technischem Wandel und ökonomischer Entwicklung wird ersterer verbreitet mit positiver Konnotation als technischer Fortschritt bezeichnet. Auf Basis dieser Erkenntnis zur Bedeutung technischer Entwicklung für ökonomisches Wachstum strebt die neue Wachstumstheorie eine endogene Modellierung der Triebfeder des Pro-Kopf-Einkommens an, wobei die Qualität technischen Fortschritts eine entscheidende Rolle spielt.[349] Während Produktinnovationen durch Generierung neuer Märkte direkte Beschäftigungszuwächse ermöglichen, wirken Prozessinnovationen effizienzsteigernd und damit eher umgekehrt.[350] Da die aggregierte Analyse des Wachstums auf Makroebene das Ergebnis vieler u. a. technischer Veränderungen auf Mikro- und Mesoebene ist, muss die endogene Modellierung technischen Wandels inkl. seiner Korrelation mit Wachstum disaggregiert erfolgen.[351] Wirtschaftswachstum ist somit ein komplexes Phänomen, das eine große Anzahl von Aspekten auf unterschiedlichen Ebenen beinhaltet und weit

---

341 Vgl. DOSI/NELSON 2009, Seite 56

342 Vgl. SEITER 2005a, Seite 8 f.

343 Vgl. ZÜRN, Seite 19. Die neue Wachstumstheorie modelliert Wachstumsprozesse endogen, wobei wirtschaftliche Entwicklung als Prozess quantitativer und qualitativer Veränderung verstanden wird.

344 Vgl. CANTNER/HANUSCH 1998, Seite 1. Um dies zu erzielen muss das Wachstum der Produktionskapazität das Wachstum der Arbeitskräftekapazität übersteigen. Der Sonderfall zunehmender Auslastung zuvor nicht ausgelasteter Überkapazitäten der Produktion ist demnach kein modernes Wachstum.

345 Wachstum, das aus neuen Technologien bzw. technischen Innovationen und dem resultierenden technischen Wandel erwächst, wird auch *Schumpeter-Wachstum* genannt. Vgl. CANTNER/HANUSCH 1998, Seite 1

346 Wachstum als Resultat erhöhten Kapitaleinsatzes geht zurück auf Solow. Vgl. SOLOW 1956, Seite 65 ff.

347 Wachstum als Ergebnis erhöhter Arbeitsteilung und Handel geht zurück auf Smith. Vgl. SMITH 1776

348 Vgl. FAGERBERG 2005, Seite 20 sowie CANTNER/HANUSCH 1998, Seite 1 und CARLSSON 1994, Seite 13

349 So modellierte bspw. Kaldor technischen Fortschritt in seiner *technical progress function* endogen. Produktivitätswachstum wird in diesem Modell durch technischen Fortschritt und erhöhte Kapitalintensität erzielt, sodass neoklassisch ausgedrückt nicht zwischen einer Bewegung auf bzw. einer Verschiebung der Produktionsfunktion unterschieden werden kann. Im kaldorianischen Ansatz besitzt technischer Wandel folglich exogene wie endogene Elemente. Neue Maschinen erzeugen Lerneffekte bei Arbeitskräften, die wiederum in Folgegenerationen von Maschinen inkorporiert werden. Der Ansatz stellt somit eine Kombination aller Arten technischen Fortschritts dar, da er autonome wie induzierte sowie verkörperte und unverkörperte Komponenten aufweist. Vgl. SEITER 2005b, Seite 21 ff.

350 Vgl. SEITER 2005a, Seite 8

351 Vgl. CARLSSON 1994, Seite 13. Beispiel hierfür ist die Verschiebung zwischen primärem, sekundärem und tertiärem Sektor.

mehr umfasst als die klassische Trennung in Angebot- und Nachfrage.[352] So rückt bspw. aufgrund der zunehmend negativen ökologischen Auswirkungen techno-ökonomischer Entwicklung die Vereinbarkeit zwischen der Zunahme ökonomischen Wohlstands und der Erhaltung der Umwelt in den Fokus. Umwelttechnischer Fortschritt spielt hier eine wesentliche Rolle, wobei bisherige Erkenntnisse zeigen, dass die verschiedenen Kapitalarten letztlich eher Komplementäre denn Substitute sind.[353] Wirtschaftliches Wachstum wird vor diesem Hintergrund sowohl als Ursache nicht nachhaltiger Entwicklung als auch als Ausweg gesehen, derweil auch hier technologischem Fortschritt eine Schlüsselrolle zukommt.[354]

2.2.2 Abgrenzung neoklassischer Perspektive

Das Theoriegebäude der **neoklassischen Ökonomik** basiert maßgeblich auf der Modellierung ihres **Akteurs**, dem *homo oeconomicus*. Dieser ist mit fixen Präferenzen ausgestattet, verhält sich stets rational-adaptierend und maximiert egoistisch seinen Nutzen bzw. Profit. Der Transfer des evolutorischen Grundprinzips *survival of the fittest*[355] erlaubt nach Friedmann eine derartige Modellierung der Akteure und Unternehmen auf Mikroebene.[356] Die Population dieser homogenen Akteure agiert in der neoklassischen Theorie in einem als vollkommen modellierten Markt, d. h. es liegen uneingeschränkte Markttransparenz sowie Homogenität von Gütern und Technologien vor, wobei keinerlei Reaktionszeiten auftreten. Alchian argumentiert, dass dieses nutzenmaximierende Verhalten auf Mikroebene ebenso zu einer Maximierung der Zielparameter auf Makroebene führt.[357] Die in diesem Umfeld strikt rational-optimierende Ausrichtung der Entscheidungen nach Preissignalen führt zum neoklassischen Idealbild des perfekten Wettbewerbs.[358] Aus der Perspektive der Innovationsökonomik steht den Akteuren als Subjekten des Innovationsprozesses v. a. dessen Objekt, die **Innovation**, gegenüber. Arrow beschreibt den Neuheitscharakter des Phänomens Innovation im Rahmen des *epistemologischen Vorbehalts*[359] so, dass es aufgrund der Natur von Innovation aussichtslos ist, ein Modell zu deren Vorhersage zu entwickeln, da Innovation etwas neues, heute noch

---

352 Vgl. SEITER 2005a, Seite 8. Als Beispiele nennt der Autor Umweltaspekte und Verteilungsfragen.

353 Vgl. SEITER 2005a, Seite 14 sowie Teilkapitel 2.1

354 Von Hauff betont zwei Antipoden: (1) Wirtschaftswachstum führt zu Umweltbelastung, die langfristig zu ökologischem Kollaps führt. (2) Der drohende ökologische Kollaps kann wiederum nur durch technischen Fortschritt bzw. weiteres Wachstum abgewendet werden. Vgl. VON HAUFF 2005, Seite 213 bzw. HAGEMANN/VON HAUFF 2010, Seite 13. Die zweite Haltung wird als technologischer Optimismus bezeichnet.

355 *Survival oft he fittest* wurde als Synonym für den evolutorischen Selektionsprozess geprägt von Spencer und Darwin. Vgl. SPENCER 1864, Seite 444 und Vgl. DARWIN 1869, Seite 92

356 Diese Argumentation basiert auf Friedmans Hypothese, dass "…individual firms behave as if they were seeking rationally to maximize their expected returns (generally if misleadingly called "profits") and had full knowledge of the data needed to succeed in this attempt." FRIEDMAN 1953, Seite 21

357 Vgl. ALCHIAN 1950, Seite 216

358 Der vollkommene Wettbewerb ist das Referenzmodell der Neoklassik. Es existieren jedoch auch in der Neoklassik realistischere Ansätze. Vgl. beispielhaft die Theorie der *angreifbaren Märkte* (*contestable markets*) von BAUMOL 1982 oder auch die Ansätze der Industrieökonomik.

359 Vgl. PYKA 2011, Seite 8 sowie CANTNER/HANUSCH 1998, Seite 10

nicht Bekanntes ist.[360] Er weist jedoch auch darauf hin, dass sich durch Bildung von statistischen Modellen Perspektiven des technischen Fortschritts offenbaren. Die der Innovation innewohnende Unsicherheit wird auf dieser Basis als Risiko interpretiert, sodass ein statistisches Konzept mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen und Erwartungswerten entsteht, dessen mögliche Systemzustände als Vektor-Ausprägungen inkl. deren Wahrscheinlichkeiten bekannt sind. Die Behandlung von Unsicherheit als Risiko wird in der Literatur als *schwache Unsicherheit* (*weak Uuncertainty*)[361] bezeichnet. Die Kombination dieser Modellierung von Akteur und Innovation in **Innovationsprozessen** führt in der Neoklassik zu situativem Determinismus in einem Umfeld aus strukturierten Optimierungsproblemen mit variablen Nebenbedingungen. Da die Akteure überdies durch keinerlei Grenzen der eigenen Informationsverarbeitung limitiert sind, verhalten sie sich substanziell bzw. unbegrenzt rational. Aus dieser Modellierung ergibt sich eine Produktionsfunktion für Innovationen mit den Input-Faktoren Forschungs-/Entwicklungsaufwand und Wissen sowie kalkulierbarem Output, was die Anwendung des mikroökonomischen Modellrahmens ermöglicht. Den Akteuren sind diese Zusammenhänge bewusst. Sie optimieren das Verhältnis zwischen Innovationsaufwand und -nutzen und mittels mathematischer Marginalbetrachtung und stellen makroökonomisch das Gleichgewicht im sozialen Optimum sicher. Der Unternehmer wird dabei als der Produktionsfaktor verstanden, der den Markt durch Gestaltung des Angebots in das Gleichgewicht versetzt.[362] Aus der Determiniertheit dieses Modells leitet sich neoklassisch ein linear-sequenzielles Innovationsmodell ab, das aufgrund des optimalen Verhaltens der Akteure weder Raum für Fehler bzw. resultierende Lernprozesse, noch für Feedbacks zwischen Innovator und Imitator bietet. Innovation wird für Akteure mit optimalen Kompetenzen und voller bzw. *vollkommener Voraussicht*[363] zu einem plan- und optimierbaren Parameter. Innovation und technischer Fortschritt sind exogene Phänomene, wobei neues Wissen nicht geschaffen, sondern lediglich aus der Natur erschlossen werden muss.[364] Die Neoklassik erklärt somit lediglich die (Wieder-) Einnahme eines Gleichgewichts durch das System.[365]

Grundsätzlich besteht in dieser idealisierten Welt kein Bedarf für eine Innovationspolitik, da der Markt die Einstellung des wohlfahrtsökonomisch optimalen Gleichgewichts sicherstellt.

---

360 Vgl. ARROW 1991, Seite 473

361 Vgl. DOSI/EGIDI 1991, Seite 149

362 Dieses Verständnis der Unternehmerrolle wird u. a. deutlich bei Kirzner. Vgl. KIRZNER 1973, Seite 73

363 Der Begriff der vollen bzw. *vollkommenen Voraussicht* wurde geprägt durch Hicks und Morgenstern. Vgl. HICKS 1933, Seite 445 sowie MORGENSTERN 1935, Seite 338

364 "It is as though Mother Nature has a patent on all techniques of production with unit cost c(x), (x>o) and that society has to pay x to purchase the right to use the technique of production with unit cost c(x)." DASGUPTA/STIGLITZ 1980, Seite 272. „Neue Möglichkeiten werden von der Umwelt fortlaufend dargeboten, insbesondere neue Erfindungen dem Wissensvorrat der Zeit fortlaufend hinzugefügt." SCHUMPETER 1934, Seite 117. In neoklassischen Modellen fällt technischer Fortschritt demnach wie Manna vom Himmel. Vgl. SEITER 2005a, Seite 15

365 Vgl. LEHMANN/WAFFENSCHMIDT 2006, Seite 77

Diese Sichtweise verändert sich allerdings bei genauerer Analyse der Eigenschaften von **Wissen** hinsichtlich Erzeugung und Vermarktung. Wesentlicher Anreiz zur Generierung neuen Wissens bzw. dessen Verwertung in Innovationen ist die Aussicht auf Aneignung des kommerziellen Wertes. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Eigenschaften Wissens einen dauerhaft funktionierenden Marktmechanismus erlauben.[366] Da dies bei Auftreten von externen Effekten, asymmetrischen Informationen, natürlicher Tendenz zur Monopolbildung sowie öffentlichen Gütern[367] nicht oder nur bedingt der Fall ist, wird auf diese Faktoren nun kurz eingegangen. **Positive externe Effekte** der Wissensgenerierung, d. h. der private Nutzen verbleibt unterhalb des sozialen Nutzens, entstehen in drei Ausprägungen. (1) Erster Aspekt ist das Auftreten *technologischer Spillover* in Form von (durch den Innovator) unerwünschter Wissensdiffusion zwischen Organisationen und Individuen. Dieses Phänomen wird durch den immateriellen Charakter und die daraus resultierende, einfache Kopier- und Verbreitbarkeit von Wissen begünstigt. In der Konsequenz treten Trittbrettfahrer (*Free-Riders*) auf, die sich Teile des kommerziellen Wertes aneignen ohne zu dessen Erschließung beigetragen zu haben, wodurch der Innovator schlechter gestellt wird. Die so reduzierten Aneignungsmöglichkeiten mindern den Anreiz Anstrengungen zur Erschließung neuen Wissens zu unternehmen, sodass F&E im Wirtschaftssystem unterhalb des Optimums verbleiben.[368] *Spillover* erfahren demnach eine negative Interpretation als Ursache marktlichen Versagens. (2) Zweite positive Externalität der Wissensgenerierung ist der häufig nicht zu vermeidende Hinweis auf identifizierte technologische Potenziale durch Aufnahme oder Intensivierung von F&E-Anstrengungen. In diesem Fall können Unternehmungen, die einen vielversprechenden technologischen Pfad verfolgen ihr Vorgehen, z. B. aufgrund von Aktivitäten auf dem Arbeitsmarkt, nicht vor ihren Wettbewerben verbergen. (3) Der dritte positive externe Effekt beeinflusst die Entscheidung für kooperative Innovationsstrategien bzw. die Teilnahme an Innovationsnetzwerken. Obwohl sich der Wert des Wissens durch dessen Nutzung innerhalb von Netzwerken steigert, nimmt aufgrund von *Spillovern* der komparative Wert gegenüber Wettbewerbern ab. Es kann demnach dazu kommen, dass sich Akteure aufgrund der im Netzwerk von ihrem Wissensstock ausgehenden positiven Externalitäten gegen eine Teilnahme entscheiden. In diesem Fall sehen Akteure ihre Externalitäten nicht durch den Mehrwert des Netzwerkes kompensiert. Weiterhin können bei der Wissensgenerierung auch **negative externe Effekte** auftreten, bspw. bei *patent-races* nach dem *the winner takes it all*-Prinzip. In diesen Fällen redundanter Innovationsanstrengungen übertrifft der private Nutzen den Netto-

366 Vgl. LUNDVALL/BORRÁS 2005, Seite 613

367 Öffentliche Güter zeichnen sich durch *nicht-Rivalität im Konsum* sowie *nicht-Ausschließbarkeit von Konsumenten* aus. Ersteres beschreibt Samuelson als das Phänomen, das der Konsum eines Guts durch ein Individuum nicht zu einer Reduktion des Konsums des selben Gutes bei jeglichem anderen Individuum führt. Vgl. SAMUELSON 1954, Seite 387

368 Diese Charakterisierung von Wissen geht zurück auf Arrow. Vgl. ARROW 1962, Seite 614

wert des sozialen, da die Verluste der unterlegenen Unternehmen den Nutzen des Patent-Gewinners überkompensieren. Neben externen Effekten können bei der Erzeugung von Wissen auch **Skaleneffekte** auftreten, die zu Konzentrationstendenzen bis hin zu einer Monopolbildung führen können. Grund hierfür ist der kumulative Charakter von Wissen mit der Konsequenz, dass sich geringe bzw. selektive Investitionen in Wissensaufbau nur bedingt lohnen, während der Aufbau einer umfangreichen Wissensbasis zu steigenden Skalenerträgen in der Wissensproduktion durch F&E führt.[369] Zudem ist die Schaffung neuen Wissens aufgrund der benötigten Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen mit hohen Fixkosten verbunden, wobei Reproduktion und Verbreitung nahezu kostenfrei möglich sind. Infolgedessen halten sich risikoaverse Akteure v. a. bzgl. eigener Forschung eher zurück, was Konzentrationstendenzen zusätzlich stützt. Abschließend kann bei der Verwertung von Wissen auch das Problem **asymmetrischer Information** auftreten, da für eine Preisfindung die detaillierte Kenntnis der Handelssache nötig ist, was in diesem Fall einer vorvertraglichen Übergabe gleichkommt.[370] In der Folge reduziert sich bei potenziellen Käufern entweder der Wille, die tatsächliche Zahlungsbereitschaft offen zu legen oder der Grund der Transaktion entfällt gänzlich. Da Anbieter auf Grund dessen das Handelsgut vorvertraglich nicht vollumfänglich offenlegen, ergibt sich eine Informationsasymmetrie zwischen den Vertragsparteien. Hieraus resultiert wiederum die Gefahr des Marktversagens durch *moralisches Risiko* bzw. *Negativauslese*.

Die neoklassische Innovationsökonomik kommt auf Basis dieser Erkenntnisse zu dem Schluss, dass das privatwirtschaftliche Engagement bei **F&E unterhalb des sozialen Optimums** verbleiben muss.[371] Aufgrund von Nichtausschließbarkeit und fehlender Rivalität im Konsum ergibt sich eine Auffassung von Wissen als öffentliches Gut,[372] was zu einer Empfehlung staatlicher Intervention in Form anreizorientierter Innovationspolitik führt. Dabei verdeutlichen besonders die positiven externen Effekte das Dilemma der Innovationspolitik zwischen gesellschaftlich-wohlfahrtsökonomischem Interesse an der Diffusion und privatem Anreiz für Innovationsanstrengungen. Die neoklassischen Empfehlungen zur Komparation der Anreize zur Wissensproduktion lassen sich in drei Gruppen innovationspolitischer Instrumente kategorisieren, wobei die auftretenden positive Externalitäten vermieden, kompensiert oder ihre Auswirkungen durch direkte staatliche Aktivitäten ausgeglichen werden sollen, um so ein optimales Niveau von Innovationsanstrengungen in der Volkswirtschaft sicherzustellen. Einen kombinierten Ansatz zur **Vermeidung von Informationsasymmetrien bei Handel mit Wissen** sowie zur **Internalisierung positiver externer Effekte** zur Widerherstellung der Aneignungsmöglichkeiten bietet Lindahl, der die Installation von Institutionen

---

369 "…it is not worth investing even a tiny amount in learning a tiny bit. If it is worth seeking Information of a certain kind it is worth seeking it in largish chunks." DASGUPTA 1987, Seite 9

370 Vgl. NOOTEBOOM 2004, Seite 93 f.

371 Vgl. PYKA 2011, Seite 4 ff.

372 Vgl. ARROW 1962, Seite 614 ff.

bzw. Schutzrechten vorschlägt.[373] Diese verwehren Akteuren, die unrechtmäßig Kenntnis von in fremdem Eigentum befindlichem Wissen erlangen, dessen Verwertung. Zudem ist es dem Innovator möglich das Wissen bei Verhandlung von Kauf- oder Lizenzverträgen gefahrlos offen zu legen. Kritisch anzumerken ist allerdings aus wohlfahrtsökonomischer Sicht, dass im Gegenzug zur Widerherstellung der Anreize durch Schutzrechte ein hoher administrativer Aufwand entsteht. Zudem wird Innovatoren temporär eine Monopolstellung inkl. der daraus resultierenden negativen Auswirkungen eingeräumt. Einen zweiten Ansatz zur Wiederherstellung des Anreizes für innovative Anstrengungen bietet Pigou, der die **Kompensation positiver Externalitäten** durch den öffentlichen Sektor vorschlägt.[374] Dabei stellt sich allerdings die Frage, inwieweit durch diese Subvention zusätzliche Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten generiert werden oder die Umverteilungssumme lediglich als zusätzliche Einnahme bei den Innovatoren anfällt. Neben der Zielsetzung der Kompensation von *Spillovern* verfolgen zahlreiche Staaten mit Subventionen auch eine Strategie der Förderung von Konsum bzw. Diffusion, um Innovationsanreize durch erhöhte Nachfrage zu stärken. Eine dritte Strategie des Anstrebens des sozialen Optimums in der Wissensproduktion bietet Samuelson, der direktes **staatliches Engagement** vorschlägt.[375] Besonders auf gesellschaftlich wesentlichen Feldern soll der öffentliche Sektor hier selbst die Rolle als Innovator übernehmen und F&E-Aktivitäten ausführen, wobei positive externe Effekte erwünscht sind. Dabei ist allerdings umstritten ob und wie die nötige Transparenz als Grundlage optimaler Investitionsentscheidungen geschaffen werden kann. Zudem droht durch die Intervention des öffentlichen Sektors ein Verdrängungseffekt privater Innovationsanstrengungen.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass neoklassische Märkte aufgrund ihrer im perfekten Wettbewerb befindlichen, homogenen und substanziell-rationalen Akteure zu Gleichgewichtszuständen streben, wobei Unsicherheit als kalkulierbares Risiko wahrgenommen wird. Neoklassische Modellierung geht somit von typologischem, repräsentativem Denken eines theoretischen Idealtyps aus, wobei Abweichungen als sich im Mittel ausgleichende Defizite betrachtet werden, sodass von ihnen abstrahiert wird.[376] Optimale Marktzustände lassen sich mathematisch ermitteln und ermöglichen den Abgleich mit dem ebenfalls bekannten, wohlfahrtsökonomischen Idealzustand. Übertragen auf Innovationsphänomene resultiert aus dieser Art der Modellierung ein deterministischer Zusammenhang zwischen Innovationsanstrengungen und -erfolg. Die mit perfekten Kompetenzen ausgestatteten Akteure optimieren folglich ihr Verhalten in Kenntnis der Innovations-Produktionsfunktion. Innovationsanstrengungen verbleiben aufgrund des Charakters von Wissen als öffentlichem Gut unterhalb des optimalen

[373] Vgl. LINDAHL 1919, Seite 85 ff.
[374] Vgl. PIGOU 1932, Seite 183 ff.
[375] Vgl. SAMUELSON 1954, Seite 387 ff.
[376] Vgl. LEHMANN-WAFFENSCHMIDT 2006, Seite 76

Niveaus, was ein Eingreifen des Staates zur Widerherstellung von Innovationsanreizen rechtfertigt.[377]

2.2.3 Perspektive der neuen Innovationsökonomik

Dieser Abschnitt schafft einen theoretischen Bezugsrahmen technologischen Wandels aus der Perspektive der neuen Innovationsökonomik. Ausgehend von verhaltensökonomischen Grundlagen (Absatz 2.2.3.1) wird dazu auf die Eigenschaften technologischen Wissens und Lernens eingegangen (Absatz 2.2.3.2) sowie die evolutorischen Grundprinzipien der Pfadabhängigkeit und Irreversibilität erläutert (Absatz 2.2.3.3). Die Verkettung des Konzepts technologischer Paradigmen und Trajektorien (Absatz 2.2.3.4) ermöglicht in Kombination mit dem Modell technologischer Möglichkeiten ein Verständnis technologischer Diskontinuitäten (Absatz 2.2.3.5). Die Darstellung der Innovationsdynamik in Industrie- und Technologielebenszyklus schließt die Betrachtung ab (Absatz 2.2.3.6).

Ausgangspunkt der neuen Innovationsökonomik ist Schumpeters Kritik an der neoklassischen Perspektive wirtschaftlicher Entwicklung. Diese bezeichnet er aufgrund Ihrer Beschränkung auf die Oberfläche der Dinge als fehlerhaft, da sie ein Vordringen auf darunterliegende, das Wesen der Sache prägende, industrielle Vorgänge verhindert.[378] Eben dieser neoklassisch vernachlässigte Prozess der industriellen Wandlung sorgt jedoch für das Grundcrescendo, das der Wirtschaft ihren Charakter verleiht.[379] Überdies verbindet Schumpeter die Einführung von Neuerungen mit stimulierenden Ausgaben und prädominierender Hochkonjunktur, die zum Teil vorübergehend von negativen Phasen kürzerer Zyklen überlagert wird.[380] Während der Vollendung dieser Neuerungen sowie deren Einfließen in die Ökonomie vollzieht sich ein Prozess des Aussonderns überholter industrieller Strukturelemente in temporärer Depression.[381] Wesentliches Merkmal dieser Dynamik ist die Zerstörung des alten Gleichgewichts, wodurch dessen Umrisse verschwinden und die Preisfunktion Ihre Rolle als absoluter Orientierungsmaßstab verliert. In dieser Phase besteht eine Konkurrenz neuer Güter, neuer Technik, neuer Bezugsquellen und neuer Organisationstypen, die maßgebliche Fortschritte in Kosten- und Qualitätsdimension erzwingt und bestehende Unternehmungen in ihren Grundfesten erschüttert bzw. ihren Fortbestand bedroht.[382] Innovation und Innovator sind somit zentrale Elemente des schumpeterianischen Theoriegebäudes.[383] Die Neue Innovationsökonomik begreift den Unternehmer im Sinne Schumpeters als denjenigen, der in dynamisch-unsicherem

---

377 Für ein Beispiel neoklassischer Modellierung von Innovation vgl. DASGUPA/STIGLITZ 1980, Seite 266 ff.
378 Vgl. SCHUMPETER 1939, Seite 50
379 Vgl. SCHUMPETER 1942, Seite 68
380 Vgl. SCHUMPETER 1942, Seite 68
381 Vgl. SCHUMPETER 1942, Seite 68
382 Vgl. SCHUMPETER 1942, Seite 84
383 Vgl. SCHUMPETER 1939, Seite 94

Umfeld Innovationen hervorbringt. Ohne diesen *entrepreneurial spirit*[384] des Schumpeter-Unternehmers stellt sich durch die Aktivitäten *statischer Betriebsleiter* ein stabiles Gleichgewicht ein.[385] Den Kapitalismus charakterisiert er als evolutorischen Prozess, wobei er betont, dass sich ökonomisches Leben in dynamischem, sozial-ökologischem Umfeld abspielt.[386] Bereits hier wird der komplexe, systemische Zusammenhang zwischen sozio-kulturellem Wandel, technologischem Fortschritt und ökologischer Erhaltung erkennbar. Wesenskern des Kapitalismus ist somit der Prozess *industrieller Mutation* bzw. *schöpferischer Zerstörung*, der unaufhörlich und stoßweise industrielle Strukturen von innen revolutioniert, wobei altes zerstört und neues erschaffen wird.[387] Die biologische Mutation entspricht im ökonomischen Kontext der Innovation. Für Schumpeter ist das Verständnis des Aufkommens neuer industrieller Strukturen vorrangig, die gleichgewichtszentrierte Lenkung vorhandener Strukturen dagegen nachrangig.[388] Mit Bezug auf diese Perspektive neuer Innovationsökonomik betont Freeman, dass sie im Gegensatz zu neoklassischer und keynesianischer die tatsächliche Charakteristik technischen Fortschritts erfasst.[389]

Aufbauend auf dieses Fundament beleuchten die folgenden Absätze die für diese Untersuchung wesentlichen Bausteine technologischen Wandels aus der Perspektive der neuen Innovationsökonomik, wobei sowohl neo-schumpeterianische als auch evolutorische Ansätze integriert werden. Mit Schwerpunkt auf den Eigenschaften von Innovation und Akteur werden relevante verhaltensökonomische Grundlagen erörtert und im Anschluss wesentliche Eigenschaften technologischen Wissens und Lernens dargelegt. In einem dritten Schritt werden die evolutorischen Prinzipien der Pfadabhängigkeit und Irreversibilität diskutiert. Auf dieser Grundlage wird das Konzept technologischer Paradigmen und Trajektorien vorgestellt, das im Anschluss mit dem Konzept technologischer Möglichkeiten verkettet zum Phänomen technologischen Paradigmenwechsels führt. Abschließend erfolgt die zyklisch-dynamische Erweiterung dieses Grundverständnisses durch Verkettung mit den Modellen von Industrie- und Technologielebenszyklus sowie deren korrelierender Innovationsmuster.

---

384 Vgl. GREBEL et al. 2003. Seite 500 ff.

385 Vgl. SCHUMPETER 1934, Seite 78. Der Schumpeter-Unternehmer ist unzufrieden wenn der homo oeconomicus zufrieden ist und akkumuliert (im Gleichgewichtszustand) Kapital für Investitionen. Die Funktion des Schumpeter-Unternehmers zeichnet sich demnach nicht darin etwas zu erfinden (Invention), sondern darin die Initiative zur ergreifen und (technischen) Wandel durch die Einführung von Neuerungen in Gang zu setzen (Innovation). Vgl. SCHUMPETER 1939, Seite 139 sowie SCHUMPETER 1942, Seite 132. Der Unternehmer verfügt demnach über spezifische „Führereignungen“, die es ihm ermöglichen, wirtschaftliche Opportunitäten zu nutzen, um eine privatwirtschaftlich vorteilhafte, neue Möglichkeit durchzusetzen. SCHUMPETER 1934, Seite 339. Während diese Rolle in frühen Phasen industrieller Entwicklung primär Einzelperson zukam, ging sie im Laufe der Zeit auf die Forschungs- und Entwicklungsbereiche der Unternehmen über (*routinized innovation*). Eine Auffassung von Innovation als Netzwerkprozess verlagert sie teilweise auf eine überbetriebliche Ebene.

386 Vgl. SCHUMPETER 1942, Seite 82

387 Vgl. SCHUMPETER 1942, Seite 83

388 Vgl. SCHUMPETER 1942, Seite 412

389 Vgl. FREEMAN/PEREZ 1988, Seite 45

2.2.3.1 Verhaltensökonomische Grundlagen

Ökonomisches Verhalten ist von Rationalität geprägt. Die in Abschnitt 2.2.2 vorgestellte neoklassische Perspektive geht von optimierendem Verhalten bei substanzieller Rationalität aus. Grundlage dafür ist im Wesentlichen die Interpretation von Unsicherheit als Risiko in Kombination mit homogener Bevölkerung aus *homines oeconomici*. Die abweichende Auffassung der neuen Innovationsökonomik in Form routinegeleiteten Verhaltens bei eingeschränkter Rationalität leitet sich folglich aus einer differierenden Auffassung von Unsicherheit und Akteuren ab. Aufgrund der Relevanz für diese Untersuchung wird auf diese verhaltensökonomischen Grundlagen im Folgenden eingegangen.

Starke Unsicherheit und eingeschränkte Rationalität

Innovation ist immer auch mit Unsicherheit verbunden. Diese wird im Rahmen der neuen Innovationsökonomik als **substanzielle Unsicherheit** verstanden,[390] weil weder alle Zustände des dynamischen Systems, noch mögliche Vektor-Ausprägungen oder deren Wahrscheinlichkeiten bekannt sind. Da Innovationen überdies dem vorhandenen Handlungsraum per Definition neue Möglichkeiten hinzufügen, sind sie untrennbar mit einer Erweiterung des bisherigen Informationsstandes verknüpft.[391] Dieser Zusammenhang bedingt eine Form der Unsicherheit, die nicht als kalkulierbares Risiko, sondern als *starke Unsicherheit* zu verstehen ist.[392] Zum zweiten verursachen limitierte menschliche Eigenschaften **prozessuale Unsicherheit**,[393] da sowohl Transparenz bzgl. relevanter Informationen als auch die Kapazität zu deren Aufnahme, Verarbeitung und Speicherung eingeschränkt sind.[394] Eine Analyse des tatsächlichen Innovationsprozesses wird somit nur durch Aufgabe des idealistischen, neoklassischen Menschenbildes möglich.[395] Die Berücksichtigung von Unvollkommenheit und Heterogenität schafft zudem Raum für Lernprozesse, wodurch die wissenszentrierte Analyse mit Fokus auf Fähigkeiten und Kompetenzen der Akteure an Bedeutung gewinnt.[396] Der Charakter substanzieller wie prozessualer Unsicherheit im Sinne Knights macht **starke Unsicherheit** zum Pa-

---

390 Vgl. DOSI/EGIDI 1991, Seite 148

391 Vgl. PYKA 1999, Seite 132

392 Vgl. KNIGHT 1921, Seite 20 ff. Der Autor unterscheidet “measurable risk and unmeasurable uncertainty“ sowie “known chance and true uncertainty“.

393 Vgl. DOSI/EGIDI 1991, Seite 150

394 Vgl. CHOI et al. 2006, Seite 22. Selbst in Situationen in den alle relevanten Informationen bekannt sind ist eine Optimierung aufgrund von Komplexität häufig nicht möglich, so z. B. beim Schachspiel.

395 Vgl. SIMON 1955, Seite 114 sowie GREBEL et al. 2003, Seite 498. Die Autoren Titeln im Rahmen der Aufgabe vollkommener Voraussicht und optimierendem Verhaltens “Giving up the holy grale“.

396 Neben imperfekten Eigenschaften wird Akteuren in der neuen Innovationsökonomik Heterogenität zuerkannt. Verschiedenartigkeit ist eine Quelle für Neuerungen und die Integration externen Wissens unternehmerischer Erfolgsfaktor. Die Evolutorische Ökonomik modelliert Populationen, wobei die Analyse nicht auf repräsentative oder durchschnittliche Elemente, sondern auf Varianz fokussiert. Verhalten ist dabei individuell, komplex und hochgradig heterogen. Vgl. CHOI et al. 2006, Seite 28

radigma der neuen Innovationsökonomik, wobei der optimierende Ansatz bzgl. Risiken, abgeleiteten Kosten und Erfolgswahrscheinlichkeiten entfällt.[397] Auf eben diese, teilweise als fundamental bezeichnete Form der Unsicherheit treffen Unternehmer im Alltag der Marktwirtschaft.[398] Speziell Innovationen sind dabei untrennbar mit starker Unsicherheit verknüpft,[399] sodass diese auch wesentliche Eigenschaft technologischen Wandels ist.[400] Insbesondere das Aufkommens neuer Technologie ist von starker Unsicherheit geprägt, da künftiger Aufbau und Ausgestaltung abgeleiteter Produkte noch unklar sind.[401]
In diesem von Unsicherheit und Dynamik geprägten Umfeld steht den limitierten Akteuren keine substanzielle, sondern lediglich **eingeschränkte Rationalität** (*bounded rationality*) als Entscheidungsgrundlage zur Verfügung.[402] Unstrukturierte Entscheidungsprobleme mit unbekannten Alternativen und dynamischen Nebenbedingungen prägen den Alltag. Dies bedingt allerdings keineswegs irrationales Verhalten, sondern ein Anstreben logisch konsistenter und rationaler Entscheidungen innerhalb des Rahmens verfügbarerer Fähigkeiten und Informationen.[403] Die Theorie technischen Fortschritts muss folglich eine Theorie der Innovationsprozesse sein, wobei Aussagen zur spezifischen Natur einzelner Innovationen unmöglich sind.[404]

Satisficing behavior und routinegeleitetes Verhalten

In Kombination mit der unsicherheitsbedingten Aufgabe substanzieller Rationalität bzw. optimierenden Verhaltens stellt sich nun die Frage nach der ökonomischen Motivation für Innovationsanstrengungen. Als Begründung bietet sich das Konzept des **satisficing behavior** an.[405] Gemäß der Theorie des *satisficing behavior* entsteht bei Akteuren immer dann die Motivation für (innovative) Aktivitäten, wenn die erzielten Ergebnisse unterhalb ihres Aspirationsniveaus liegen.[406] Dieses angestrebte Niveau entspricht nicht dem (unbekannten) Optimum, sondern ist ein Ergebnis bisheriger Erfahrungen oder der Beobachtung anderer. *Satisficing behavior* ist somit ein Ersatz für *optimizing behavior* unter Informationsdefiziten,[407] Zwischen dem Aspirationsniveau und den erzielten Ergebnissen existieren Rückkopplungen, die das Anspruchsniveau im Laufe der Zeit verändern können, d. h. es wird bei mangelndem

397 Vgl. DOSI/EGIDI 1991, Seite 161
398 Vgl. IMAI/BABA 1991, Seite 398
399 Vgl. HANUSCH/PYKA 2006, Seite 276
400 Vgl. NELSON/WINTER 1982, Seite 31
401 Vgl. HENDERSON/CLARK 1990, Seite 14 sowie Vgl. GEELS 2005, Seite 48
402 Vgl. SIMON 1955, Seite 113 sowie NELSON/WINTER 1982, Seite 35 und FLECK 2000, Seite 265 sowie HANUSCH/PYKA 2006, Seite 278
403 Vgl. PYKA 1999, Seite 134
404 In der Literatur wird dieser Einwand als *epistemologischer Vorbehalt* bezeichnet. Vgl. CANTNER/HANUSCH 1998, Seite 10 und WITT 2001, Seite 5
405 Vgl. SIMON 1955, Seite 100 ff. sowie WITT 1992, Seite 30 f. Der Begriff *satisficing* ist eine Kombination aus *satisfying* und *sufficing*.
406 Vgl. GREBEL et al. 2003, Seite 499 sowie PYKA 1999, Seite 137
407 Vgl. SCHMIDTZ 2004, Seite 55

Erfolg gemindert und bei erfolgreichen Verhaltensänderungen gesteigert, was wiederum zu neuen Suchaktivitäten führt.[408] Dabei nimmt s*atisficing behavior* die Rolle einer *stop rule* ein. Sobald der Entscheider eine zufriedenstellende Alternative gefunden hat, beendet er den Prozess der Entscheidungsfindung.[409] Das Konzept des *satisficing behavoir* bietet somit eine Erklärung für innovatives Verhalten auch ohne die vollkommene Voraussicht bzw. den situativen Determinismus der Neoklassik.[410] Diese endogene Begründung der Suche nach vielversprechenderen Verhaltensweisen liefert zudem eine Begründung für experimentelles Verhalten und resultierendes Lernen der Akteure. Um neue Strategien konzeptionieren und verfolgen zu können, müssen sie Kompetenzen erwerben und aus Fehlern lernen. Innovation wird so zu einem Prozess des Experimentierens und Lernens, in dem neue und fehlerhafte Verhaltensweisen ausprobiert und situationsbedingt modifiziert werden.[411]

In unternehmerischen Innovationsprozessen ist allerdings trotz starker Unsicherheit, eingeschränkter Rationalität und experimentellem Verhalten keine Willkür zu beobachten. Akteure wägen ihr Verhalten heuristisch ab und treffen Entscheidungen für die Zukunft auf Basis ihrer Erfahrungen der Vergangenheit.[412] Diese regelgebundenen Verhaltensweisen, die langfristig Anwendung finden, werden **Routinen** genannt.[413] Sie entstehen langfristig aus positiven Erfahrungen, wobei unter eingeschränkter Rationalität die Einstufung als positiv auf Basis von Aspirationsniveaus erfolgt.[414] Routinen sind weniger komplex als die Realität, sowohl robust als auch veränderlich. In ähnlichen Situationen werden sie wiederholt angewandt und auch bei kleinen Veränderungen des Entscheidungsproblems nicht immer angepasst. Bei größerer Variation der Rahmenbedingungen werden Routinen ebenso nicht verworfen, sondern Anpassungsversuche unternommen.[415] Unternehmen, die mit ihren Ergebnissen zufrieden sind, suchen demnach nicht nach alternativen Strategien, sondern verhalten sich nach bewährten Routinen. Unsicherheit und Komplexität im Innovationsprozess führen dazu, dass Unternehmen auch hierfür Routinen entwickeln, z. B. zur Festlegung ihres Forschungs- und Entwicklungsbudgets oder zur Informationsoffenlegung in Kooperationen.[416] Eine Veränderung der Innovationsanstrengungen kann folglich als Reaktion auf Rückkopplungen zwischen erzielten Er-

---

408 Vgl. PYKA 1999, Seite 137

409 Vgl. SIMON 1979, Seite 3 sowie AGOSTO 2002, Seite 17

410 Vgl. NELSON/WINTER 1982, Seite 211

411 Vgl. PYKA 1999, Seite 135. Ein Beispiel der Modellierung derartiger Lernprozesse ist die *experimentally organized economy*, in der eingeschränkt rationale Akteure unter Unsicherheit experimentieren, interagieren und aus Fehlern lernen (*trial-and-error*). Vgl. ELIASSON 1991 sowie JOHANSSON 2010

412 Vgl. WINTER 1971, Seite 260 sowie WIELAND/BECKER 2000, Seite 33

413 Vgl. WINTER 1971, Seite 239 f. sowie NELSON/WINTER 1982, Seite 86 ff.

414 Vgl. PYKA 1999, Seite 139

415 Vgl. FRIEDRICH-NISHIO 2005, Seite 31 sowie Vgl. PYKA 1999, Seite 139. Der Autor betont in der Folge Kontextabhängigkeit, Pfadabhängigkeit und den kumulativen Charakter von Routinen.

416 Vgl. PYKA 1999, Seite 138 f.

gebnissen und aktuellem Aspirationsniveau verstanden werden.[417] Routinen sind somit kontext- und pfadabhängig und weisen kumulativen Charakter auf. In einer für sie komplexen Welt handeln Akteure immer routine- bzw. regelgebunden, setzen sich Anspruchsniveaus und begnügen sich mit zufriedenstellenden Ergebnissen.[418]

2.2.3.2 Technologisches Wissen und Lernen

Der **wissensbasierte Ansatz der neuen Innovationsökonomik** differiert stark von der quantitativ-inputbasierten, produktionsfunktionalen Sicht der Neoklassik. Der im Rahmen der ressourcenbasierten Sicht der Unternehmung gleichberechtigten Ressource Wissen kommt dabei die zentrale Rolle zu, wobei das Unternehmen nicht als Bündel von Ressourcen, sondern als Ort der Entstehung, Integration und Verwertung von Wissen verstanden wird.[419] Insbesondere die Innovationstätigkeit einer Unternehmung wird von ihrer gebündelten Erfahrung, dem Wissen und den Kompetenzen der Mitarbeiter bestimmt.[420] Der Innovationsprozess wird vom schlichten Rückgriff auf einen exogenen Wissenspool zu einem kreativen Entdeckungsprozess heterogen-unvollkommener Akteure mit experimentellem Problemlösungsverhalten.[421] Die unternehmerische Problemlösungskompetenz hängt von vorhandenem Wissen und Fähigkeiten ab. Da in diesem Umfeld sowohl die Eigenschaften von (technologischem) Wissen, als auch das zu dessen Aneignung erforderliche Lernen von Bedeutung sind, wird auf diese Bausteine im Folgenden eingegangen.

Eine erste wesentliche Eigenschaft technologischen Wissens ist dessen expliziter bzw. implizierter Charakter. Während explizites Wissen in kodifizierter Form vorliegt, ist implizites häufig **nicht kodifizierbar** (*tacit).*[422] Dabei handelt es sich vorwiegend um Erfahrungswissen aus *learning-by*-Aktivitäten[423] und Ergebnisse aus *trial-and-error*-Verhalten, das in Individuen, Organisationen und Beziehungen verankert ist. Bei der Anwendung von Wissen in Unternehmungen spielt dieser akteursspezifische Aspekt inkl. praktischer Umsetzungsstrategien ei-

---

417 Vgl. NELSON/WINTER 1982, Seite 211. In diesem Zusammenhang ist das *not invented here*-Syndrom von besonderem Interesse. Es bezeichnet das psychologische Phänomen, dass Informationen, die auf eigener Erfahrung basieren, als valider empfunden werden als Informationen von außen. Konsequenz sind häufig Fehleinschätzungen und -entscheidungen von strategischer Tragweite. Vgl. KATZ/ALLEN 1982, Seite 7 ff. und HUSSINGER/WASTYN 2011, Seite 1 ff.

418 Vgl. FRIEDRICH-NISHIO 2005, Seite 7

419 In der Literatur existiert keine einheitliche Auffassung von Wissen. Während sich engere Definitionen auf den theoriebezogenen Aspekt geistiger Kenntnisse und intellektuellen Verständnisses beschränken (to know that), umfassen weitere auch anwendungs- bzw. routinebezogene Fähigkeiten (*to know how*) oder auch das Humankapital als Wissens- bzw. Kompetenzträger insgesamt. Vgl. SCHUMANN 2011, Seite 114 ff. und für eine Übersicht von Definitionen SCHÖN 2013, Seite 90. Dieser Untersuchung liegt ein Verständnis von Wissen im weiteren Sinne zu Grunde, die Begriffe Wissen und Kompetenzen werden synonym verwendet.

420 Vgl. PYKA 1999, Seite 47 f.

421 Vgl. DOSI 1988b, Seite 1125 f.

422 Vgl. POLANYI 1964, Seite X. *Tacitness* kann als Grad dafür bezeichnet werden, in dem wir mehr wissen, als wir mitteilen können. Vgl. DOSI/NELSON 2009, Seite 7

423 Vgl. FREEMAN/PEREZ 1988, Seite 46

ne entscheidende Rolle, wobei teilweise sogar, auf Basis impliziten Wissens, Technologien angewandt werden, deren Funktionieren wissenschaftlich bisher weder begründet noch kodifiziert werden konnte.[424] In der neuen Innovationsökonomik wird im Gegensatz zur neoklassischen Sichtweise die *tacitness* technologischen Wissens berücksichtigt. Dies hat massive Auswirkungen auf die Wahrnehmung der Diffusion von Wissen, da eine unmittelbare Weitergabe impliziten Wissens aufgrund eingeschränkter Explizierbarkeit zumeist nicht möglich ist.[425] Es bleibt festzuhalten, dass diese *tacitness* die Unternehmensspezifität technologischen Wissens zur Folge hat. Ein zweites Charakteristikum von Wissen ist dessen technologische Globalität bzw. **technologische Lokalität** in der Anwendbarkeit. Technologisches Wissen hat einerseits global-unspezifische Attribute, die eine Übertragbarkeit von Neuerungen zwischen Technologien ermöglichen.[426] Andererseits hat es aber auch technologiespezifische Eigenschaften, die diesen Transfer erschweren oder blockieren. Eine Verwertung ist in der Folge häufig nur technologisch lokal möglich, wodurch auch die Möglichkeit der Imitation eingeschränkt wird, da *Spillover* ausschließlich technologisch lokal an Technologiepunkten und nicht entlang der gesamten Isoquante der Inputfaktoren der Innovations-Produktionsfunktion auftreten können.[427] Technologischer Wandel ist häufig durch eben diese Technologiespezifität geprägt. In Fällen, in denen benachbarte Technologien neues Wissen zum Teil nutzen können, wird der technologische Wandel als *schwach lokal* bezeichnet.[428] Innovierende Unternehmen müssen Imitation deshalb nur von Wettbewerbern befürchten, die gleiche oder ähnliche Technologien verwenden.[429] An dieser Stelle soll betont werden, dass in einer zunehmend global-durchlässigen Ökonomie spezielle (technologische) Wissensbereiche und Lernprozesse zu den wenigen verbleibenden, genuin-lokalen Phänomenen zählen.[430] Als abschließende, dritte Eigenschaft technologischen Wissens soll dessen **Komplexität** angeführt werden, die für erfolgreiche Innovation bewältigt werden muss. Sie resultiert einerseits aus der Anzahl zu integrierender wissenschaftlicher Disziplinen und andererseits aus den benötigten Anwendungskompetenzen bzgl. Produktion, Markt- und Nachfragecharakteristik.[431] Erhöhte Komplexität mindert ebenfalls die Wahrscheinlichkeit von *Spillovern* und Nachahmungsstrategien durch Wettbewerber, da diese die Beherrschung der Komplexität voraus-

---

424 Vgl. ROSENBERG 1983, Seite 143

425 Vgl. ELIASSON 1991, Seite 178 sowie PYKA 1999, Seite 56. Die Rolle nicht kodifizierbaren Wettbewerbswissens der eingeschränkt rationalen Akteure in einem Wettbewerb als Entdeckungsfahren erörtert Helmstädter unter Bezug auf Hayek und bezeichnet dieses Wissen als *Hayek-Wissen*. Vgl. HELMSTÄDTER 2011, Seite 26 f.

426 Die Neoklassik geht von rein global-unspezifischem Charakter technologischen Wissens aus.

427 Vgl. STIGLITZ 1987, Seite 125 ff.

428 Vgl. VERSPAGEN 1990, Seite 196

429 Vgl. PYKA 1999, Seite 55

430 Vgl. MARKUSEN 1996 sowie MALMBERG 1997, Seite 574

431 Vgl. MALERBA/ORSENIGO 1993, Seite 49

setzt.[432] In der Konsequenz aus eingeschränkter Kodifizierbarkeit, technologischer Lokalität und Komplexität sieht die neue Innovationsökonomik technologisches Wissen als **latent öffentliches Gut**.[433] Die neoklassische Anreizorientierung wird durch eine Wissensorientierung (*knowledge-based approach*) ersetzt.

Technologisches Lernen ist aufgrund von unternehmens- und technologiebezogener Spezifität sowie der Komplexität relevanten Wissens aus Sicht der neuen Innovationsökonomik kein Nebenprodukt unternehmerischer Aktivität, sondern ein beabsichtigtes und mit Aufwand verbundenes Unternehmensziel.[434] Unternehmen befinden sich während des Lernens in ständiger Wechselwirkung mit ihrer Wissensumwelt, bei der eine gegenseitige Beeinflussung stattfindet. Die Relevanz von Unternehmens- und Technologiespezifitäten wird zusätzlich durch den **kumulativen** Charakter von Lernprozessen verstärkt, da die Unternehmen Lern- bzw. Innovationsanstrengungen auf bereits eingesetzte und angestrebte Technologien fokussieren.[435] Organisationales Lernen ist folglich individuell und kumulativ. Geringe bzw. selektive Investitionen in zahlreiche Lernpfade lohnen demnach nur bedingt, während der Aufbau eines umfangreichen Wissensstocks zu steigenden Skalenerträgen führt.[436] Dieser Zusammenhang betont die zentrale Rolle unternehmerischer Technologie- bzw. Lernstrategien für aktuelle technologische Kernbereiche einerseits und die Erschließung wissensbasierter Zugänge zu aufkommenden Technologien andererseits. Rothwell betont in diesem Rahmen, dass internes wie externes Lernen im *systemintegrierten Netzwerkmodell* von Innovation zentrale Rollen spielen und zu dessen erfolgreicher Gestaltung massive Aufwendungen hinsichtlich Zeit, Ausrüstung und Training erforderlich sind.[437] Um jedoch relevantes Wissen aus dem Umfeld erfolgreich identifizieren, assimilieren und für eigene Innovationsanstrengungen einsetzen zu können, ist eigene Kompetenz des Empfängers in Form **absorptiver Fähigkeiten** Voraussetzung.[438] Externes Lernen ist damit aufgrund der angeführten Eigenschaften technologischen Wissens kein Automatismus, sondern ein aktiver und aufwändiger Prozess. Speziell bei umfangreicheren technologischen Transformationen, wie z. B. technologischer Systeme oder techno-ökonomischer Paradigmen spielt außerdem die immense Komplexität benötigten Wissens eine Schlüsselrolle. Die Erkenntnis, dass eigenes Wissen somit eine Voraussetzung zur Verwertung externen Wissens ist, unterstreicht dessen kumulativen Charakter und verdeut-

---

[432] Vgl. PYKA 1999, Seite 57
[433] Vgl. NELSON 1989, Seite 232
[434] Vgl. PYKA 1999, Seite 49
[435] Vgl. PYKA 1999, Seite 57
[436] Vgl. DASGUPTA 1987, Seite 9
[437] Vgl. ROTHWELL 2002, Seite 130 f. Der Autor unterscheidet zwischen *learning by*- und *learning from*-Aktivitäten, die für internes wie externes Lernen stehen.
[438] Absorptive Fähigkeiten bezeichnen die Fähigkeit einer Organisation vorhandene Informationen und Wissen auszubeuten. Vgl. COHEN/LEVINTHAL 1989, Seite 569. Das Konzept der *competence of recievers* berücksichtigt neben technologischen auch das ökonomische Aspekte. Vgl. ELIASSON 1990, Seite 276

licht, dass Unternehmen vorwiegend absorptive Fähigkeiten im Umfeld der selbst eingesetzten Technologien besitzen.[439] Folglich ist zur Assimilation und Nutzung von, mit der eigenen Wissensbasis unverbundenem, externem Wissen der aktive Aufbau absorptiver Fähigkeiten notwendig.[440] Cohen und Levinthal argumentieren, dass eigene F&E der Schlüssel zum Aufbau absorptiver Fähigkeiten ist.[441] Die Bedeutung absorptiver Fähigkeiten wird daran deutlich, dass frei zugängliche Information für potenzielle Imitatoren häufig nicht verwertbar sind. Die neue Innovationsökonomik unterscheidet deshalb zwischen Information und Wissen. Eine Erweiterung des Konzepts der absorptiven Fähigkeiten bietet der Ansatz **dynamischer Fähigkeiten** (*dynamic capability*), der davon ausgeht, dass langfristig erfolgreiche Unternehmen ihren Wettbewerbsvorteil aus der Adaptierbarkeit ihrer Fähigkeiten gewinnen, die sie durch unternehmensspezifische Routinen erzeugen.[442] Reaktionsfähigkeit und -geschwindigkeit auf Umfelddynamiken nehmen eine erfolgskritische Rolle ein, wobei die Managementfähigkeit zur Adaption, Integration und Rekonfiguration interner und externer Fähigkeiten und Ressourcen im Mittelpunkt steht. *Dynamic capability* entsteht nach Tripsas einerseits aus der Fähigkeit zur Integration externer Fähigkeiten, die sich wiederum aus absorptiven Fähigkeiten und externer Kommunikationsinfrastruktur zusammensetzt.[443] Andererseits betont die Autorin die Relevanz geographisch distribuierter Forschungseinrichtungen, um sowohl Wettbewerb als auch Kooperation zwischen den Standorten zu erzeugen. Dynamische Fähigkeiten machen das Potenzial externen bzw. interorganisationalen Lernens zugänglich, wobei Kooperation als Vehikel des Lernens verstanden wird, das die Identifikation dysfunktionaler Routinen ermöglicht und strategisch-blinden Flecken vorbeugt.[444] Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass die neue Innovationökonomik Innovation als **aufwändigen Lernprozess** versteht, der individuell-kumulative, interaktiv-rezeptive und kreativ-experimentelle Charakteristika aufweist. In der unternehmensübergreifenden Sicht des kollektiven Innovationsprozesses bilden absorptive Fähigkeiten den kognitiven Aspekt,[445] wobei Lernen und Wissen zu zentralen Produktivitätsfaktoren in der Dynamik der Wettbewerbsfähigkeit werden.

2.2.3.3 Pfadabhängigkeit und Irreversibilität

Die neue Innovationsökonomik analysiert Innovation und technischen Wandel mit Fokus auf deren Dynamik. Für den Erkenntnisgewinn hat sich dabei die Integration evolutorischer

---

439 Vgl. PYKA 1999, Seite 81

440 Vgl. COHEN/LEVINTHAL 1990, Seite 150. Im Rahmen des Innovationsmanagements findet sich hierzu bspw. das Konzept der strategischen Frühaufklärung, mit der Unternehmungen versuchen relevante (technologische) Neuerungen in Ihrem Umfeld frühzeitig zu erkennen. Vgl. LASINGER 2011, Seite 15 ff.

441 Vgl. COHEN/LEVINTHAL 1990, Seite 137

442 Vgl. TEECE/PISANO 1994, Seite 537 ff. sowie TEECE et al. 1997, Seite 509 ff.

443 Vgl. TRIPSAS 1997, Seite 373 f.

444 Vgl. TEECE/PISANO 1994, Seite 545

445 Vgl. PYKA 1999, Seite 82

Grundprinzipien, wie z. B. von Pfadabhängigkeit und Irreversibilität, bewährt. Unter **Pfadabhängigkeit** ist im Allgemeinen die Abhängigkeit gegenwärtiger von vergangenen Entwicklungen bzw. Zuständen zu verstehen.[446] Aktuelle Handlungsalternativen werden dabei vergangenheitsbasiert eingeengt.[447] Übertragen auf technologische Entwicklung bedeutet dies, dass die Richtung, in die sie konvergiert, vom historischen Pfad abhängt. Hieraus ergibt sich ein starker Kontrast zur Neoklassik, in der historische Pfade bzw. Verläufe keine Rolle spielen und das Gleichgewicht von der Optimalbedingung determiniert ist. Die evolutorische Perspektive betont dagegen den prozessual-pfadabhängigen Charakter von technologischem bzw. technischem Wandel.[448] **Ursachen** dafür finden sich sowohl auf technologisch-wissensbezogener als auch auf durchsetzungsbezogener Ebene. (1) Routinegeleitetes Entscheidungsverhalten eingeschränkt rationaler Innovatoren führt zu pfadabhängiger, **technologischer Suchheuristik** im Innovationsprozess.[449] Nachdem etablierte Technologie die Erwartungen an künftige prägt, können technologische Pfade zu selbsterfüllenden Prophezeiungen werden.[450] In der Folge werden die technologischen Fähigkeiten, die Akteure als relevant erkennen, anstreben und entwickeln durch die vorherrschende Kultur und organisationale Struktur im Unternehmen limitiert.[451] Um einen Rückgriff auf vorhandene Erfahrungen zur ermöglichen, richten Unternehmen ihre kurzfristigen Suchprozesse verstärkt auf den aktuell verfolgten Pfad.[452] Gefahr dieses Verhaltens ist allerdings das Abgleiten in technologischen Inkrementalismus, der in eine Entwicklungsfalle führen kann.[453] (2) Überdies erwächst aus **kumulativem und technologisch lokalem Charakter** technologischen Wandels Pfadabhängigkeit.[454] Dominierende Technologien profitieren vom kumulativen Effekt langjährigen Lernens zur kontinuierlichen Verbesserung von Kosten und Qualität.[455] Diese dynamischen Entwicklungsvorteile führen auch zu einer Adaption des selektierenden Umfelds.[456] Aufgrund des technologisch lokalen Charakters technologischen Wissens besteht häufig keine oder nur eingeschränkte Übertragbarkeit auf neue, noch am Anfang ihrer Entwicklung befindliche Tech-

446 Vgl. PYKA 1999, Seite 144
447 Vgl. BEYER 2005, Seite 6
448 Vgl. RAHMEYER 2005, Seite 20
449 Vgl. PYKA 1999, Seite 144
450 Persistente Muster technologischen Wandels resultieren aus dem Glauben an diese Persistenz. Vgl. MACKENZIE 1992, Seite 32
451 Vgl. CHRISTENSEN/ROSENBLOOM 1995, Seite 237
452 Vgl. PYKA 1999, Seite 144
453 Vgl. LINSCHEIDT 1999, Seite 10. Der Autor betont auch den resultierenden Gegensatz zur evolutorischen Ordnungstheorie Hayeks, da der freie Innovationswettbewerb nicht nur zu einer überlegenen spontanen Ordnung, sondern auch in eine inferiore Sackgasse führen kann. Vgl. HAYEK 1972
454 Vgl. PYKA 1999, Seite 144
455 Aufgrund des kumulativen Charakters von Technologie bauen heute Fortschritte auf gestrigen auf, und morgige werden auf heutigen beruhen. Vgl. NELSON 1995, Seite 74 sowie DOSI/NELSON 2009, Seite 38
456 Vgl. KEMP 1997, Seite 269 sowie LINSCHEIDT 1999, Seite 11

nologie.[457] Ein Resultat von Kumulativität und Technologiespezifität technologischen Wissens ist Pfadabhängigkeit im Innovationsprozess. (3) Auch die **Ausrichtung von Verhaltensmustern und Institutionen** auf etablierte Technologien bringt Pfadabhängigkeit mit sich.[458] Technologien, Institutionen und Konsumstile führen zu einer sich wechselseitig verstärkenden Verfestigung, sodass deren Koevolution zur Prägung einer mit vorhandenen Technologien kompatiblen, mit neuen Technologien hingegen eher inkompatiblen Selektionsumwelt führt.[459] Auch Eliasson betont den Aspekt der Steuerung volkswirtschaftlicher Koordinationsprozesse durch pfadabhängige Organisationsstrukturen, die von routinegeleiteten Akteuren geprägt sind.[460] (4) Pfadabhängigkeit erwächst zudem aus **negativen Auswirkungen von Technologieentscheidungen** auf den Wert vorhandenen Kapitals.[461] Spezifischen Investitionen in Sach- oder Humankapital[462] droht im Falle technologischer Neuorientierung mindestens in Teilen eine Entwertung, sodass von einer Investitionsfalle gesprochen werden kann. Zusätzlich können Umstellungskosten[463] und mangelnde Kompatibilität technologischer Systeme zu prohibitiver Behinderung von Wandlungsprozessen führen.[464] (5) Letztlich soll auch die Pfadabhängigkeit verursachende Rolle von **Spillovern** innerhalb des alten wie neuen technologischen Systems genannt werden.[465] Vertreter des etablierten Systems profitieren von *Spillovern*, z. B. in Form vorhandenen Wissens, Humankapitals und Netzwerken. Demgegenüber verursachen Pioniere durch Engagement im neuen technologischen Feld *Spillover*, von denen Imitatoren profitieren. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Pfadabhängigkeit eine prägende Rolle für technischen Wandel einnimmt. Ausgehend von einer Anschlussfähigkeit an Vorhandenes erzeugt sie eine Richtungstendenz weiterer Entwicklung, generiert jedoch auch Trägheit. Da Unternehmungen in diesem Prozess unter den beherrschten Verhaltensweisen jene selektieren, die in der jeweiligen Situation befriedigende Ergebnisse liefern, können allenfalls lokale Optima erreicht werden. Folgen von Pfadabhängigkeit sind u. a. Selektion und Erhaltung offensichtlich inferiorer Standards, so z. B. des QWERTY-Tastaturlayouts für Computer.[466]

---

457 Vgl. PYKA 1999, Seite 44 und Seite 52 ff.
458 Vgl. KEMP 1994, Seite 1031 ff. Der Autor bezeichnet dieses Phänomen als Kompatibilitätsproblem.
459 Vgl. LINSCHEIDT 1999, Seite 12 sowie HANUSCH/PYKA 2007, Seite 1161 ff. Die Autoren betonen im Rahmen ihres *comprehensive neo-schumpeterian approach* die Koevolution verschiedener ökonomischer Sphären, die Dynamiken untereinander anschieben, behindern oder gar auslöschen.
460 Vgl. ELIASSON 1991, Seite 177. Der Autor entwickelt diese Erkenntnis im Rahmen seines Modells der *experimentally organized economy*.
461 Vgl. HARTJE 1990, Seite 148 ff.
462 Zur Entwertung von Humankapital Vgl. ERDMANN 1993, Seite 86.
463 Vgl. HARTJE 1990, Seite 150
464 Vgl. LINSCHEIDT 1999, Seite 11
465 Vgl. ERDMANN 1993, Seite 86 sowie LINSCHEIDT 1999, Seite 11
466 Vgl. DAVID 1985 und ARTHUR 1989, Seite 126 sowie DOSI/NELSON 2009, Seite 39

Eine evolutorisch-dynamische Betrachtung technischen Wandels impliziert neben dem Phänomen der Pfadabhängigkeit ebenso die **Irreversibilität zeitlicher Abläufe**.[467] Auch diese steht im Gegensatz zur neoklassischen Auffassung, die in Anlehnung an die newtonsche Mechanik von grundsätzlicher Reversibilität der Ereignisse ausgeht, wobei auch Innovationen zurückgenommen werden könnten.[468] In ökonomischen Abläufen liegt Reversibilität allerdings in den seltensten Fällen vor, wobei speziell Innovationen und resultierende Veränderungsprozesse durch Irreversibilität gekennzeichnet sind, sodass Zeit zu *historischer Zeit* wird.[469]
Abschließend bleibt zu betonten, dass Pfadabhängigkeit und Irreversibilität Innovation und technischen Wandel maßgeblich prägen. Sie spielen zentrale Rollen für Innovations- und Durchsetzungsprozesse. Aus gesamtheitlich-systemischer Perspektive ist zu konstatieren, dass die Pfadabhängigkeit koevolutorischer Abläufe industrieller Entwicklung technologisches Wissen, Technik, Akteure, Nachfrage und Institutionen betrifft, wobei technologisch lokales Lernen und Interaktion zwischen Agenten und Netzwerken Irreversibilität und *lock-in*-Effekte in inferiore Technologien erzeugt.[470]

2.2.3.4 Technologische Paradigmen und Trajektorien

Das von Dosi entwickelte Konzept technologischer Paradigmen und Trajektorien beschreibt technologischen Wandel. Es erklärt den dynamischen Wechsel zwischen Phasen kontinuierlich-inkrementeller und diskontinuierlich-radikaler technologischer Entwicklung bzw. normalen und außergewöhnlichen Innovationsanstrengungen.[471] Zudem verdeutlicht es den techno-ökonomischen Zusammenhang exogener und endogener Treiber dieses Wandels.[472]
In Anlehnung an Kuhns *wissenschaftliche Paradigmen*[473] definiert Dosi ein **technologisches Paradigma** als Lösungsmuster ausgewählter techno-ökonomischer Probleme, das selektierte und von naturwissenschaftlichen Zusammenhängen abgeleitete Prinzipien mit ausgewählten Regeln unternehmerischer Aneignung und Bewahrung von Wissen kombiniert.[474] Dabei handelt es sich sowohl um technische Artefakte, die entwickelt und verbessert werden, als auch um Sets aus Vorgehensweisen und Suchheuristik weiterer technologischer Entwicklung.[475] Ein technologisches Paradigma verkörpert somit die Identifikation von Bedürfnissen und

---

467 Synonym für *zeitliche Irreversibilität* existieren auch die Begriffe *Historizität* und *historical time*.
468 Vgl. GEORGESCU-ROEGEN 1971, Seite 197
469 Vgl. PYKA 1999, Seite 145 sowie DOSI 1988b, Seite 1144
470 Vgl. MALERBA 2006, Seite 17 sowie DOSI/LABINI 2007, Seite 338
471 Vgl. DOSI 1982, Seite 158
472 Vgl. PYKA 1999, Seite 63
473 Vgl. KUHN 1970, Seite 43
474 Vgl. DOSI 1982, Seite 152 sowie DOSI 1988b, Seite 1127 und DOSI/LABINI 2007, Seite 332
475 Vgl. DOSI 1988b, Seite 1127 sowie DOSI 1988a, Seite 224

technischen Anforderungen der Nutzer.[476] Es gibt ein Fortschrittskonzept vor, dass sich anhand spezifischer technologischer und ökonomischer *trade-off*-Beziehungen definiert und (v. a. in deren Umfeld) verbleibende Problembereiche sowie lösungsrelevante Wissensfelder und -quellen bestimmt.[477] Es erzeugt einen fokussierenden Effekt, d. h. der routinegeleitete Suchprozess der Akteure konzentriert sich auf die spezifischen Probleme und Verbesserungsmöglichkeiten des Paradigmas. Dosi spricht in diesem Zusammenhang von *paradigmenspezifischer Technologie technischen Wandels*.[478] Die mit einem technologischen Paradigma verbundene Heuristik verwurzelt sich im Laufe der Zeit tief in den organisationalen Routinen der Akteure,[479] was zu starren bzw. verkrusteten Strukturen und einer Blindheit gegenüber Alternativen führen kann. Die Fähigkeiten, die für den Suchprozess benötigt werden, beinhalten typischerweise sowohl unkodifiziertes als auch nicht kodifizierbares Wissen (*tacit knowledge*).[480] Ein technologisches Paradigma löst eine Phase normaler technischer Entwicklung aus, die von inkrementellen Verbesserungsinnovationen geprägt ist.[481] Die damit von einem offenen Raum auf einen Pfad fokussierte Lösungssuche birgt einen deutlich reduzierten Grad an Unsicherheit bzgl. weiterer Entwicklung.[482] Überdies wirken technologische Paradigmen auch normativ, bspw. hinsichtlich der Gestaltung oder Leistungsmessung von Produkten.[483] Bei der Ausprägung technologischer Paradigmen ist die funktionale Architektur abgeleiteter Produkte, die auch als **Basisdesign** (*basic design*) bezeichnet wird von besonderem Interesse.[484] Dabei handelt es sich um eine artefaktbezogene Konkretisierung des Entwicklungsrahmens eines technologischen Paradigmas. Die Weiterentwicklung des Basisdesigns bestimmt maßgeblich die technologische Entwicklung eines Paradigmas, wobei es sich dabei sowohl um eine bestimmte technische Umsetzung (z. B. Digitalkamera) als auch um eine ganze Technologie handeln kann (z. B. Mechatronik).[485] Eine Erweiterung des Konzepts des Basisdesigns bildet das Modell des **dominanten Designs** (*dominant design*), das auf die dynamische Rolle des Produktdesigns in Industrie- bzw. Technologielebenszyklus abzielt.[486] Suarez definiert ein Design als dominant, sobald entweder das wettbewerbsfähigste alternative De-

---

476 Vgl. DOSI/NELSON 2009, Seite 15

477 Vgl. DOSI 1982, Seite 148 und DOSI 1988b, Seite 1127 f. sowie PYKA 1999, Seite 64. Ein Beispiel derartiger *trade-offs* ist der Zusammenhang zwischen Gewicht und speicherbarer Energiemenge bei Batterien.

478 Vgl. DOSI 1988b, Seite 1128 sowie DOSI/NELSON 2009, Seite 15. Während dieser Suchfokus darauf abzielt ein Paradigma weiterzuentwickeln, erweitert grundlegend-übergreifender wissenschaftlicher Erkenntnisgewinn die Menge potenzieller technologischer Paradigmen. Vgl. DOSI 1988b, Seite 1136

479 Vgl. DOSI 1988b, Seite 1132 f.

480 Vgl. DOSI 1988b, Seite 1128

481 Vgl. DOSI 1982, Seite 157

482 Vgl. DOSI 1988b, Seite 1134

483 Vgl. DOSI/NELSON 2009, Seite 15. Beispiel hierfür ist die Leistungsangabe bei Pkw in Pferdestärken (PS).

484 Vgl. ABERNATHY/UTTERBACK 1978, Seite 44

485 Vgl. PYKA 1999, Seite 63 f.

486 Vgl. SUAREZ/UTTERBACK 1995 und SRINIVASAN et al. 2006 sowie TUSHMAN/ROSENKOPF 1992, Seite 320 ff. Zur Rolle von Basisdesign und dominantem Design in Industrie- bzw. Technologielebenszyklus vgl. Absatz 2.2.3.6

sign offensichtlich unterliegt oder es einen klaren Vorsprung im Marktanteil gegenüber den Alternativen erringt und sich die Vergrößerung dieses Vorsprungs abzeichnet.[487] Nach Aufkommen eines dominanten Designs ist dessen Adaption ein entscheidender Faktor für das Überleben von Unternehmungen.[488] Ein dominantes Design reduziert somit als konkrete Ausgestaltung eines technologischen Paradigmas Unsicherheit und verstärkt Kontinuität sowie *lock-in*-Effekte aufgrund von Pfadabhängigkeit und Irreversibilität.[489] Im Zusammenhang mit dominanten Designs und technologischen Paradigmen sollen auch die Konzepte *technologischer Wegweiser*, *fokussierender Objekte* und *technologischer Regimes* Erwähnung finden, die ebenfalls zu pfadabhängiger technologischer Entwicklung führen.[490]

Wie bereits erläutert führt die Natur eines technologischen Paradigmas neben der Gestaltung eines Artefakts auch zu pfadgerichteten Suchheuristiken und Problemlösungsaktivitäten.[491] Die Pfade, entlang derer sich technologische Paradigmen entwickeln, bezeichnet Dosi als **technologische Trajektorien**.[492] Sie beschreiben ein techno-ökonomisches Potenzial, geben innerhalb eines technologischen Paradigmas die präferierte Fortschrittsrichtung vor[493] und sind somit Leitlinien zur Problemlösung im Rahmen des normalen, zielgerichteten und kumulativen technischen Fortschritts.[494] Technologische Trajektorien sind geprägt von multidimensionalen, techno-ökonomischen *trade-offs*, die durch das zu Grunde liegende Paradigma vorgegeben werden, wobei Fortschritt als Verbesserung dieser Zielkonflikte zu verstehen ist.[495] Die Natur eines technologischen Paradigmas begrenzt somit den Lösungsraum seiner technologischen Trajektorie.[496] Die Entwicklungsrichtung einer Trajektorie wird dabei einerseits durch das zu Grunde liegende Paradigma inkl. des selektierten Basisdesign und andererseits

---

487 Vgl. SUAREZ 2004, Seite 281. Beispiel eines dominanten Designs ist Fords *Model T*. Vgl. ABERNATHY/UTTERBACK 1978, Seite 44 sowie GEELS 2005, Seite 148

488 Vgl. TUSHMAN et al. 1997, Seite 10 sowie TEGARDEN et al. 1999

489 Das dominante Design wird auch als *Wasserscheide technologischer Entwicklung* bezeichnet, deren Aufkommen den Charakter technologischen Fortschritts verändert. Vgl. TUSHMAN et al. 1997, Seite 10

490 Sahal nennt Artefakte, die ein Basisdesign definieren und einen Kurs technologischer Entwicklung vorgeben *technologische Wegweiser* (*technological guideposts*). Vgl. SAHAL 1981, Seite 33 sowie SAHAL 1985, Seite 61 und Seite 71. Rosenberg verwendet für Artefakte, die einen technologischen Entwicklungspfad vorgeben den Begriff *fokussierende Objekte* (*focusing devices*). Vgl. ROSENBERG 1969, Seite 1. Nelson und Winter gehen in ihrem Konzept *technologischer Regime* (*technological regimes*) davon aus, dass (gemeinsame) Fähigkeiten und Machbarkeitsschätzungen der gestaltenden Akteure eine pfadorientierte, technologische Entwicklung auslösen, sodass hier nicht ein Artefakt, sondern die kognitiven Fähigkeiten der lernenden Akteure bzgl. Erfolgserwartungen und Entwicklungsmöglichkeiten im Zentrum stehen. Vgl. NELSON/WINTER 1982, Seite 258 f., DOSI/NELSON 2009, Seite 31 sowie Vgl. GEELS 2005, Seite 76 ff. Ein technologisches Regime definiert sich durch ein spezifisches Set technologischer Möglichkeiten, Möglichkeiten der Aneignung des Wertes von Innovation, Kumulativität technischer Entwicklung und Eigenschaften der Innovationsaktivitäten der wissensgenerierenden Unternehmen. Vgl. MALERBA 2007, Seite 347

491 Vgl. DOSI 1982, Seite 153

492 Vgl. DOSI 1982, Seite 148

493 Vgl. DOSI 1982, Seite 148 sowie Seite 152

494 Vgl. PYKA 1999, Seite 65

495 Vgl. DOSI 1982, Seite 154 und DOSI 1988a, Seite 225 sowie DOSI 1988b, Seite 1128. Die Historie zeigt, dass diese Zielkonflikte zahlreiche Impulse für Neuerungen bieten. Vgl. DOSI 1982, Seite 1129

496 Vgl. DOSI 1982, Seite 154

durch die angewandten Suchheuristiken bestimmt, wobei nicht von geradliniger Entwicklung bzw. Potenzialerschließung ausgegangen werden kann.[497] Aufgrund der fokussierten Entwicklungsperspektive reduzieren technologische Trajektorien maßgeblich Unsicherheit und bilden einen Pfad schrittweiser Verfeinerung und Verbesserung der Angebotsreaktionen auf die Nachfrage.[498] Der Fortschritt entlang technologischer Trajektorien ist demnach eng verbunden mit der Entwicklung spezifischer Infrastruktur, Skaleneffekten, komplementären Technologien und besonderer technischer Standards.[499] Zudem bieten sie eine wesentliche Grundlage für Spezialisierung, Mechanisierung und Arbeitsteilung. In Anlehnung an technologische Trajektorien sollen hier auch die verwandten Konzepte der *Innovationsstraßen* (*innovation avenues*) und *natürlichen Trajektorien* (*natural trajectories*) genannt werden, die ebenfalls Pfade technologischer Entwicklung beschreiben.[500]

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch eine technologische Paradigma-Trajektorie-Kombination eine Auswahl aus der Vielzahl möglicher technologischer Entwicklungsrichtungen stattfindet, wobei sich auf Branchenebene ein dominantes Design herausbildet und auf Unternehmensebene individuell Suchheuristiken selektiert werden.[501] Demnach sind technologische Paradigmen und Trajektorien dafür verantwortlich, dass unternehmerische Innovationsanstrengungen trotz starker Unsicherheit nicht willkürlich stattfinden, sondern sich auf eine selektierte Richtung konzentrieren.[502] Auf gesamtwirtschaftlicher Ebene erzeugt dieses Phänomen zusammen mit der paradigmatisch-kumulativen Natur technologischen Wissens relativ geordnete Muster technologischen Wandels.[503] Diese werden ab und an durch einen technologischen Paradigmenwechsel unterbrochen, der immer auch einen Wechsel der technologischen Trajektorie bedingt, da unterschiedliche technologische Artefakte und Designs (inkl. *trade-offs*) sowie Wissensfundamente und Heuristiken zu veränderten technoökonomischen Dimensionen von Innovation führen.[504] Aggregierter technischer Fortschritt ist auf Basis des Paradigma-Trajektorie-Modells nicht als lineare Verschiebung der Produktionsfunktion, sondern eher als deren Bewegung entlang eines Kegels zu verstehen.[505] Zudem ermöglicht das Aufkommen neuer, breiter technologischer Trajektorien eine Erklärung des Auf-

---

497 Vgl. PYKA 1999, Seite 65

498 Vgl. DOSI/NELSON 2009, Seite 15 f.

499 Vgl. DOSI 1988b, Seite 1146

500 Sahal bezeichnet Pfade evolutorischer technischer Entwicklung als *Innovationsstraßen* (*innovation avenues*), wobei die Ausbeutung von Skaleneffekten (*learning by scaling*) im Fokus steht. Vgl. SAHAL 1985, Seite 71 f. Dosi verwendet *innovation avenue* und *technologische Trajektorie* synonym. Vgl. DOSI 1988b, Seite 1129. Nelson und Winter bezeichnen Pfade technologischer Entwicklung zudem als *natürliche Trajektorien* (*natural trajectories*) und betonen Skaleneffekte und Automatisierung. Vgl. NELSON/WINTER 1977, Seite 58 sowie NELSON/WINTER 1982, Seite 259 f.

501 Vgl. PYKA 1999, Seite 65

502 Vgl. PYKA 1999, Seite 64

503 Vgl. DOSI 1988b, Seite 1129

504 Vgl. DOSI/NELSON 2009, Seite 16 sowie DOSI 1988b, Seite 1129 f.

505 Vgl. DOSI/LABINI 2007, Seite 336 sowie DOSI 1982, Seite 160

tretens zeitlicher und thematischer Innovationscluster bis hin zu techno-ökonomischen Paradigmen,[506] die ein die Gesamtwirtschaft durchdringendes Cluster mehrerer technologischer Paradigmen darstellen.[507]

2.2.3.5 Technologische Möglichkeiten und Paradigmenwechsel

Technologische Möglichkeiten (*technological opportunities*) beschreiben das Entwicklungspotenzial einer Technologie sowie den Schwierigkeitsgrad technologischer Verbesserungen. Sie geben einen Anhaltspunkt hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit erfolgreicher Innovation.[508] Der Glaube an Erschließbarkeit und kommerziellen Wert bisher unerschlossener technologischer Möglichkeiten veranlasst profitsuchende Akteure zu experimentellen Suchprozessen mit dem Ziel, sich deren Wert im Markt durch Innovation anzueignen.[509] Technologische Möglichkeiten entstehen demnach in der Sphäre der Technologie, wohingegen Innovationen in der Sphäre der Ökonomie aufkommen.[510] Innovatoren müssen folglich erschlossene technologische Möglichkeiten dem Markt zuführen. Der Vergleich industrieller Sektoren zeigt, dass technologische Möglichkeiten ungleich verteilt sind, was zu ungleich verteilten Innovationsaktivitäten und -fähigkeiten führt.[511] Industrien mit weitreichenden technologischen Möglichkeiten weisen stärkere F&E-Anstrengungen auf, als diejenigen mit geringen.[512] Die Charakteristik der Erschließung sektoraler technologischer Möglichkeiten unterscheidet sich abhängig von Technologiequellen, Kundenanforderungen und Aneignungsbedingungen.[513] Über sektorale Differenzen hinaus unterliegen technologische Möglichkeiten auch einer zeitlichen Dynamik.[514] Die Quelle technologischer Opportunitäten ist technologisches Wissen, das unternehmensintern, z. B. durch F&E-Aktivitäten, erzeugt, oder von extern erschlossen werden kann. Innerhalb des Konzepts technologischer Möglichkeiten nimmt das Lernen von außen eine zentrale Rolle zur Überwindung unternehmensintern auftretender Engpässe in F&E ein, da es Impulse bieten und so neue technologische Möglichkeiten offenlegen kann.[515] Die Perspektive eines vernetzten Innovationsbildes lässt technologische Möglichkeiten sowohl aus intra-, als auch aus interindustriellen Beziehungen entstehen, wobei technologische Neuerungen in ihrem Ursprungssektor mit geringen, in anderen Sektoren aber mit großen Opportunitäten verbunden sein können. Die **Verknüpfung technologischer Opportunitäten mit techno-**

---

506 Vgl. DOSI 1982, Seite 160
507 Vgl. DOSI 1988a, Seite 225 sowie DOSI/LABINI 2007, Seite 339
508 Vgl. MALERBA 2007, Seite 348
509 Vgl. DOSI 1988b, Seite 1120 sowie MALERBA 2007, Seite 348
510 Vgl. COOMS 1988, Seite 303
511 Vgl. DOSI 1988b, Seite 1138 f.
512 Vgl. PYKA 1999, Seite 66
513 Vgl. PAVITT 1984, Seite 343
514 Vgl. PYKA 1999, Seite 66
515 Vgl. PYKA 1999, Seite 67

logischen Paradigmen und Trajektorien eröffnet ein vertieftes Verständnis technologischen Wandels. Bei technologischen Paradigmen werden erste (umfangreiche) Forschungserfolge eines Suchpfades als Indiz für weitreichende technologische Möglichkeiten interpretiert, sodass diese Such- und Lernheuristik in der Folge fokussiert wird.[516] Der Transfer auf technologische Trajektorien hingegen verdeutlicht deren Entwicklungsspielraum.[517] Technologische Möglichkeiten werden entlang einer Trajektorie kumulativ erschlossen,[518] erschöpfen aber aufgrund naturwissenschaftlicher Gesetze im Zeitverlauf. Die Erschließung der Potenziale einer Technologie ist außerdem mit zunehmendem Aufwand verbunden.[519] Die limitierten technologischen Möglichkeiten einer Trajektorie werden als *intensiv* bezeichnet, wohingegen *extensive technologische Opportunitäten* aus Komplementaritäten verschiedener Technologien erwachsen.[520] Die positiven Effekte der Erschließung extensiver technologischer Möglichkeiten werden als *cross-fertilization*-Effekte bezeichnet.[521] Identifikation und Erschließung technologischer Komplementaritäten können bspw. in unternehmensübergreifender Zusammenarbeit erfolgen, wobei absorptive Fähigkeiten eine zentrale Rolle spielen. So können auch innerhalb einer Branche, wenn die Unternehmen unterschiedliche Technologiepfade verfolgen, technologische Komplementaritäten und damit technologische Möglichkeiten vorliegen.[522] Ein Fall, in dem der Erkenntnisfortschritt einer Technologie weitreichende intensive und extensive Auswirkungen auf die übergreifende technologische Entwicklung hat, sind G*eneral Purpose Technologies*,[523] die folgende Charakteristiken aufweisen:[524] (1) Umfangreiches Verbesserungspotenzial bei Aufkommen, (2) Große Vielfalt der Einsatzbereiche, (3) Große Vielfalt funktionaler Anwendungsmöglichkeiten sowie (4) Hicks'sche[525] und technologische Komplementaritäten. Weiterhin ergeben sich wesentliche Eigenschaften technologischer Möglichkeiten mit Bezug auf technologische Paradigmen aus der Charakteristik technologischen Wissens, das ihnen zu Grunde liegt. Bereits erschlossene technologische Möglichkeiten sowie die Fähigkeit diese zu nutzen sind aufgrund von Spezifität, Kumulativität und

---

516 Vgl. DOSI/NELSON 2009, Seite 15

517 Vgl. PYKA 1999, Seite 66

518 Vgl. COOMBS 1988, Seite 297 sowie DOSI 1988b, Seite 1138

519 Vgl. PYKA 1999, Seite 66

520 Vgl. COOMBS 1988, Seite 304. Der Autor betont das enge Verhältnis zwischen technologischem Wandel entlang einer Trajektorie, intensiven technologischen Möglichkeiten und inkrementellen Innovationen sowie radikalen Innovationen und extensiven technologischen Möglichkeiten. Vgl. COOMBS 1988, Seite 305 f.

521 Technologische Komplementaritäten können in der Technologieentwicklung umfangreiche Opportunitäten durch Verschmelzung scheinbar unverbundener Technologien, wie z. B. Mechatronik oder Bioinformatik, erzeugen. Resultierende, neue Industrien kombinieren dabei die Konzepte ihrer Vorgänger.

522 Vgl. PYKA 1999, Seite 69

523 Für eine tiefergehende Darstellung und Analyse von G*eneral Purpose Technologies* vgl. LIPSEY et al. 1998, Seite 15 ff. sowie die anderen Beiträge dieses Sammelbandes von Helpman.

524 Vgl. LIPSEY et al. 1998, Seite 38 f.

525 Hicks'sche Komplementaritäten liegen vor, wenn eine Preisveränderung eines Gutes A die Nachfrage nach anderen Inputs verändert, wobei Output- und Substitutionseffekte kombiniert werden (*gross complementarity*). Vgl. LIPSEY et al. 1998, Seite 41

Tacitness technologischen Wissens in wesentlichen Teilen technologie- und unternehmensspezifisch.[526] Noch unerschlossene technologische Möglichkeiten dagegen sind auf Basis des selektierten technologischen Paradigmas paradigmenspezifisch (*paradigm bound*) und vor dem Hintergrund der industriellen Akteure sektorspezifisch (*sectoral specific*).[527] Der Erschöpfung technologischer Möglichkeiten entlang einer Trajektorie kann demnach entweder durch eine Suche nach extensiven Ansatzpunkten oder durch einen Paradigmenwechsel begegnet werden. Im zweiten Fall eröffnen sich neue intensive technologische Möglichkeiten in konzentrierter und strukturierter Form,[528] wobei sich der zur Erschließung nötige Aufwand (temporär) reduziert.[529]

Technologische Paradigmenwechsel bedingen immer auch den Wechsel der technologischen Trajektorie und sind seltene Phasen der Diskontinuität, die grundsätzlich von **zwei Triebfedern** ausgelöst werden. Einerseits kann die Eröffnung umfangreicher technologischer Möglichkeiten abseits des aktuellen Paradigmas zu (unvermittelten) technologischen Durchbrüchen bei Alternativen führen, was, sollte das aktuelle Paradigma diesem Fortschritt nicht folgen können, einen Wechsel nach sich ziehen kann.[530] Andererseits kann auch die zunehmende Erschöpfung von Potenzialen des aktuellen Paradigmas Auslöser einer Suche nach Alternativen und damit letztlich eines Wechsels sein.[531] Entwicklungsengpässe sind Konsequenz kumulativer Ausschöpfung der durch Naturgesetzte beschränkten Potenziale entlang einer technologischen Trajektorie, wodurch sich der verbleibende Entwicklungsspielraum reduziert.[532] Dieses Phänomen lässt sich anschaulich anhand der in Absatz 2.2.3.1 vorgestellten verhaltensökonomischen Muster nachvollziehen. Solange routinegeleitetes Suchverhalten entlang der aktuellen Trajektorie den eingeschränkt rationalen Akteuren ein Maß an Fortschritt ermöglicht, das ihr Aspirationsniveau erreicht und somit als zufriedenstellend akzeptiert wird, bleibt das zugehörige Paradigma stabil. Ist dies jedoch nicht (mehr) der Fall, beginnen Akteure Suchroutinen und Aspirationsniveaus experimentell zu verändern, wobei auch abseits der aktuellen Paradigma-Trajektorie-Kombination gesucht wird. Ein besonderer Fall des Mangels technologischer Opportunitäten liegt vor, wenn die (Über-) Nutzung eines etablierten Paradigmas negative Auswirkungen hat, die aufgrund paradigmeninhärenter *trade-offs* keine zufriedenstellende Lösung erfahren (können).[533] Zudem tritt, sobald sich technologiebasierte Wachstumsprozesse verlangsamen, eine zunehmend negative Wahrnehmung bestehender Lö-

---

526 Vgl. DOSI 1988b, Seite 1137
527 Vgl. DOSI 1988b, Seite 1137
528 Vgl. COOMBS 1988, Seite 302
529 Vgl. DOSI 1988b, Seite 1138
530 Vgl. PYKA 1999, Seite 64. Ein Beispiel hierfür ist der Wechsel von Röhren- zu Flachbildbildschirmen.
531 Vgl. DOSI 1982, Seite 157 sowie PEREZ 2010, Seite 199
532 Vgl. SAHAL 1985, Seite 63
533 Vgl. MULDER et al. 1999, Seite 7. So kann bspw. das Problem der Entsorgung atomarer Brennstäbe aus Kernkraftwerken (bisher) nicht innerhalb dieses technologischen Paradigmas gelöst werden.

sungen ein, die das Aufkommen von Neuerungen begünstigt.[534] Das vorherrschende Paradigma, dessen Weiterentwicklung in Ermangelung technologischer Möglichkeiten auch immer aufwändiger wird, ist von der Krise bedroht und alternative, bisher vernachlässigte technologische Ansätze werden untersucht und ausprobiert.[535] In dieser Phase technologischer Diskontinuität nehmen Innovationsdruck, Veränderungsbereitschaft und technologische Unsicherheit massiv zu. Es entsteht Raum für außergewöhnlichen technologischen Wandel bzw. pfadbrechend-radikale Innovationen, die den Grundstein zur Herausbildung eines neuen Paradigmas legen.[536] Etablierte und neue Akteure beginnen einen dynamisch-interaktiven Suchprozess nach **alternativen technologischen Paradigma-Trajektorie-Kombinationen**, der sich auf inter- und intraindustrieller sowie unternehmensinterner Ebene abspielt.[537] Silverberg und Verspagen modellieren die Erkundung als Perkolationsprozess, wobei der komplexe Möglichkeitsraum mittels zufälliger Suchprozesse in benachbarten Gebieten der aktuellen *best-practice-Grenze* untersucht bzw. durchdrungen wird.[538] Im Verlauf dieser Suchperiode setzen die Akteure häufig nicht die zuerst gefundene technologische Alternative direkt als Innovation um, sondern identifizieren zahlreiche mögliche Lösungen. Dieser Designwettbewerb ist von starker Unsicherheit geprägt, sodass unklar bleibt, welche Alternative das umfangreiste Potenzial für die Zukunft bietet und die Akteure gleichsam auf Technologien wetten.[539] Dosi betont in diesem Rahmen, dass eine objektiv-vergleichende Bewertung von Paradigmen a priori kaum möglich ist, da deren positive und negative Auswirkungen in Dynamik, Umfang und Multidimensionalität unbekannt sind.[540] Ferner hebt er hervor, dass Ansätze zum Vergleich technologischer Paradigmen in jedem Fall über die rein technologische Ebene hinausreichen müssen, wobei er besonders ökonomische Faktoren betont.[541] Das Ziel der Integration aller Selektionskriterien bleibt dabei allerdings in jedem Fall aufgrund intrinsischer Dynamik und Unsicherheit unerreichbar. Überdies weist der Marktmechanismus eine grundsätzliche ex-ante-Selektionsschwäche technologischer Entwicklungsrichtungen auf, die sich besonders bei Aufkommen neuer Technologien auswirkt und die Existenz *verbindender Institutionen* (*bridging institutions*) zwischen F&E rechtfertigt.[542] In dieser von starker Unsicherheit bzgl. des künftigen Paradigmas geprägten Suche ist sowohl die institutionelle Erzeugung und Kumulation von Wissen (Lernen), als auch die Existenz einer Vielzahl heterogener und experi-

534 Vgl. FAGERBERG 2003, Seite 126
535 Vgl. PYKA 1999, Seite 64
536 Vgl. BLÄTTEL-MINK 2006, Seite 99
537 Vgl. JENNER 1991, Seite 303. Der Autor interpretiert Suchprozess der Akteure als chaotisch.
538 Vgl. SILVERBERG/VERSPAGEN 2005. Wesentliches Ergebnis dieser Modellierung ist die Erkenntnis, dass das Risiko des (Ver-) Endens in einer Sachgasse (*dead-lock*) mit steigendem Suchradius sinkt.
539 Vgl. DOSI 1982, Seite 155
540 Vgl. DOSI 1982, Seite 154 f. Einen objektiven Vergleich ex post sieht der Autor allerdings als möglich an.
541 Vgl. DOSI 1982, Seite 159
542 Vgl. DOSI 1982, Seite 155

mentierender Akteure wesentlich.[543] Die Periode eines Paradigmenwechsels zeichnet sich zudem durch **Wechselwiderstände** aus. Auch wenn sich bereits offenkundig ein künftig dominantes Paradigma herauskristallisiert weisen soziale Institutionen und sozio-ökonomische Regulierung eine inhärente Trägheit auf, die den Wechselprozess hemmt.[544] Die Rekonstruktion dieses sozio-institutionellen Rahmens ist ein sozio-politischer Prozess, der Voraussetzung zur Durchsetzung des neuen Paradigmas ist. Aber auch auf Seiten der Anbieter führt die bisher starke Konzentration auf das schwindende technologische Paradigma zu Wechselwiderständen, die sich sowohl in einer Blindheit gegenüber Alternativen,[545] als auch in einem *not invented here*-Verhalten äußern.[546] Besonderes letzteres kann dazu führen, dass sich bereits als künftige Paradigmen andeutende Designs falsch eingeschätzt und folgenschwere, technologiestrategische Fehlentscheidungen getroffen werden.[547] Hierzu betonte bereits Schumpeter, dass etablierte (Groß-) Unternehmungen in der Regel eine (zu) konservative Haltung einnehmen und sich stattdessen auf inkrementelle Verbesserung des Vorhandenen konzentrieren.[548] Dieser Habitus wird erklärbar, wenn man berücksichtigt, dass ein Paradigmenwechsel diesen Unternehmen ihre sichere Perspektive auf Basis einer paradigmenbasiert-absehbaren technologischen Entwicklung entzieht.

Die **Selektion** eines neuen technologischen Paradigmas erfolgt durch die Umwelt.[549] Dabei handelt es sich um einen Prozess komplexer Interaktion zwischen ökonomischen Faktoren, sozialen Parametern und institutionellen Faktoren.[550] Die Selektion hängt im Besonderen von folgenden Faktoren ab:[551] (1) Mechanismen experimentellen Verhaltens in der Exploration

---

543 Da Phasen des Paradigmenwechsels dazu führen, dass die Nachfrage auf eine neue Art und Weise befriedigt werden muss, sinken die Markteintrittsbarrieren und Anzahl sowie Heterogenität der Akteure steigen. Vgl. DOSI 1982, Seite 157. In diesem Umfeld haben Unternehmen, die in den Markt eintreten sogar Vorteile gegenüber den etablierten Vertretern des schwindenden Paradigmas. Vgl. CHRISTENSEN/ROSENBLOOM 1995, Seite 233

544 Vgl. PEREZ 2004, Seite 233 f.

545 Vgl. DOSI 1982, Seite 153

546 Das *not invented here*-Syndrom bezeichnet das psychologische Phänomen, dass Informationen, die auf eigener Erfahrung basieren als valider empfunden werden als Informationen von außen. Vgl. KATZ/ALLEN 1982, Seite 7 und HUSSINGER/WASTYN 2011, Seite 2

547 Harmann unterscheidet im Managementkontext vier Strategien bzgl. technologischer Diskontinuitäten. Während bei der konservativen Strategie bewusst auf einen Technologiewechsel verzichtet wird (z. B. Nischenstrategie), bezeichnet die adaptive Strategie eine verzögerte Anpassung, d. h. einen Technologiewechsel erst dann, wenn die meisten Wettbewerber bereits gewechselt haben. Die aktive Strategie sieht eine schnelle Anpassung bzw. eine Mitgestaltung der Veränderungsdynamik vor, d. h. einen schnellen Technologiewechsel als Verfolger des Vorreiters. Die proaktive Strategie letztlich bezeichnet das *first-mover-Verhalten* und damit den pionierhaften Wechsel auf eine neue Technologie. Vgl. HARMANN 2003, Seite 52 ff.

548 „Innovationen treten vorwiegend bei den „jungen“ auf, und die „alten“ zeigen in der Regel Symptome einer Haltung, die man euphemistisch als Konservatismus bezeichnet.“ Vgl. SCHUMPETER 1939, Seite 104

549 Vgl. DOSI 1982, Seite 156. Eine weitere Funktion der Umwelt ist die Selektion (einzelner) Entwicklungsschritte entlang dieses Pfades. Vgl. DOSI 1982, Seite 156. Diese Entwicklung entlang einer Trajektorie verkörpert den eher endogenen, normalen technischen Fortschritt. Vgl. DOSI 1982, Seite 157

550 Vgl. DOSI 1982, Seite 153 sowie Seite 157

551 Vgl. DOSI 1988b, Seite 1136 f.

neuer Technologie, (2) Selektionskriterien der Märkte, v. a. früher Anwender, (3) Charakteristik und Interessen verbindender Institutionen zwischen Wissenschaft und ökonomischer Verwertung sowie (4) institutionelle Faktoren wie z. B. Behörden. Mit der Selektion und Durchsetzung einer Alternative vollzieht sich ein Paradigmenwechsel.[552] Der Diffusions- bzw. Durchsetzungsprozess kann, abhängig von der Bedeutung der Paradigmen für die Volkswirtschaft und ihrer Kompatibilität, sehr unterschiedlichen Charakter aufweisen. Er lässt sich analog der bereits in Absatz 2.2.1.4 vorgestellten Taxonomie technologischer Transformationspfade in (1) technologische Substitution, (2) ausgedehnte Transformation und (3) graduelle Rekonfiguration unterscheiden.[553] Darüber hinaus erfährt er eine zusätzliche Dynamik, sobald die Neuerung besser zum Anforderungsset der Nachfrage passt als das schwindende Paradigma.[554] Nutzenstiftende und destruktive Effekte des neuen Paradigmas werden dabei in vollem Umfang erst bei Erreichen einer kritischen Masse offensichtlich.[555] Aufgrund der Spezifität des Fortschritts entlang technologischer Trajektorien startet die Entwicklung eines Paradigmas am Beginn seiner Trajektorie,[556] wobei häufig (noch) umfangreiche technologische Opportunitäten vorliegen. Mit der Durchsetzung eines Paradigmas verschieben sich Ziele und Suchheuristik von wissenschaftlich dominierten auf eher anwendungsorientierte Fragestellungen, woraus eine Phase normalen technischen Fortschritts resultiert.[557]

Zusammenfassend soll festgehalten werden, dass Paradigmenwechsel aufgrund limitierter technologischer Möglichkeiten technologischer Trajektorien sporadisch auftreten und eine neue (temporäre) Basis für eine zufriedenstellende Rate technischen Fortschritts schaffen. Sie erzeugen diskontinuierliche Phasen technologischen Umbruchs unter massiver Unsicherheit und verminderten Markteintrittsbarrieren, wobei das schwindende Paradigma und seine Vertreter von der Krise bedroht sind. Zentrale Bedeutung in diesem Such- und Problemlösungsprozess nehmen Generierung und Akkumulation neuen Wissens ein.

---

552 Vgl. SUAREZ 2004, Seite 279 ff., der ein Fünf-Phasenmodell der Durchsetzung einer neuen technologischen Paradigma-Trajektorie-Kombination mit folgenden Meilensteinen vorschlägt: (1) Grundlegende F&E mit Pioniercharakter (2) Erster funktionsfähiger Prototyp (3) Erstes kommerzielles Produkt (4) Auftreten eines Produktdesigns als technologischer Wegbereiter (5) Durchsetzung einer technologischen Paradigma-Trajektorie-Kombination.

553 Vgl. GEELS 2005, Seite 257 ff.

554 Die Kongruenz von Angebot und Nachfrage wird von ökonomischen wie sozialen Faktoren geprägt. Neben der Dynamik des Angebotsprofils technologischer Paradigmen spielen demnach auch nachfrageverändernde Faktoren eine wesentliche Rolle. Ein Beispiel hierfür ist die Auswirkung des Atomreaktorunfalls in Fukushima (Japan 2011) auf Akzeptanz und Betrieb von Kernkraftwerken in Deutschland.

555 Vgl. PEREZ 2004, Seite 233

556 Vgl. DOSI 1982, Seite 154

557 Vgl. DOSI 1988b, Seite 1137. Auf die Durchsetzung eines Paradigmas folgt eine von Kontinuität geprägte Phase normalen bzw. zunehmend endogenen technischen Fortschritts mit Fokus auf inkrementellen Verbesserungen, Kostensenkungen, Internalisierung von Externalitäten, Rekapitalisierung und Konsolidierung von Unternehmen, sich verfestigenden Marktstrukturen sowie anwachsenden und zunehmend statischen Markteintrittsbarrieren.

2.2.3.6 Innovationsmuster in Technologie- und Industrielebenszyklus

Aufbauend auf den vorgestellten Charakteristika technologischer Entwicklung erfolgt in diesem Absatz deren argumentative Verkettung mit der Dynamik sektoraler Entwicklung. Dadurch werden sowohl die Zusammenhänge zwischen Technologie, Innovation und Marktstruktur herausgearbeitet, als auch die Einbettung technologischer Diskontinuitäten in einen evolutorischen Gesamtkontext deutlich. Wesentliche Grundlage hierfür ist das Modell des **Industrielebenszyklus**, ein Ansatz zur Modellierung der Interdependenzen zwischen technologischem Wandel, industrieller Organisation und Marktcharakteristika im Verlauf technischen Fortschritts.[558] Obwohl sich industriespezifische Unterschiede in der Ausprägung zeigen,[559] verläuft die Entwicklung industrieller Sektoren in einem breiten Spektrum von Randbedingungen entlang dieses Grundmusters.[560] Die industriell-evolutorischen Regelmäßigkeiten lassen sich in drei Phasen gliedern, die als Entstehungs-, Wachstums- und Reifephase bezeichnet werden.[561] Dieser Verlauf des Industrielebenszyklus steht in engem Zusammenhang mit dem **Lebenszyklus eingesetzter Technologie,** d. h. der durch die Industrie verfolgten technologischen Trajektorie, deren Entwicklung sich in Explorations-, Exploitations- und Reifephase gliedert.[562] Es ergibt sich somit, speziell in neuen Industrien mit umfangreichen technologischen Opportunitäten, ein koevolutorischer Zusammenhang zwischen Technologie und Marktstruktur.[563] Der Verlauf der Erschließung technologischer Möglichkeiten durch Innovation beeinflusst Größe und Wachstumsrate des Marktes, was wiederum industrielle Leistung und Struktur verändert.[564] Technologie- und Industrielebenszyklus sind somit auch als Transformationsvektoren von **Innovationsmustern** zu interpretieren,[565] woraus sich eine fluide, eine Übergangs- und eine spezifische Innovationsphase ergeben.[566] Aufgrund dieses engen Zusammenhangs zwischen Industrielebenszyklus (Abb. 2-4), Technologielebenszyklus (Abb. 2-5) und Innovationsmustern (Abb. 2-6) werden diese Phänomene im Folgenden integriert erörtert, wobei die dreiphasigen Modelle als weitgehend kongruent interpretiert werden.[567]

---

558 Vgl. PYKA 2000, Seite 28

559 Vgl. DOSI/NELSON 2009, Seite 49. Die Autoren nennen u. a. Unterschiede in der F&E-Intensität.

560 Vgl. SAVIOTTI/PYKA 2008, Seite 168. Filson weist zudem empirisch nach, dass die Automobilindustrie ein Musterbeispiel dieser Entwicklungscharakteristik darstellt. FILSON 2001, Seite 489

561 Vgl. WILLIAMSON 1975, Seite 215 sowie KLEPPER 1996, Seite 563 ff.

562 Vgl. PEREZ 2010, Seite 187

563 Vgl. KLEPPER 1997, Seite 148 sowie Vgl. KLEPPER 2002, Seite 57 f. Der Lebenszyklus einer Technologie prägt entscheidend den der Industrien, die sie einsetzen, wobei Industrien auf Basis einer Technologie zahlreiche Produktlebenszyklen hervorbringen können. Aufgrund des engen Zusammenhangs werden die Begriffe *Technologie*, *Industrie* und *Produkt* im Kontext ihrer Lebenszyklen teilweise synonym verwendet. Vgl. KLEPPER 1997, Seite 148 bzw. DOSI/NELSON 2009, Seite 50

564 Vgl. DOSI 1988b, Seite 1161 f.

565 Vgl. ABERNATHY/CLARK 1985, Seite 13 f. Die Autoren betonen, bezogen auf das von ihnen entwickelte Modell, die Transformation von architektonischen zu regulären Innovationen.

566 Vgl. UTTERBACK/ABERNATHY 1975, Seite 645

567 Vgl. PYKA 2000, Seite 29

Radikale Produktinnovation in Entstehungs- bzw. Explorationsphase

Die **Entstehungsphase des Industrielebenszyklus** wird durch einen technologischen Durchbruch ausgelöst, der zu einer radikalen Innovation in Form eines neuen Produktes führt.[568] Produktionsmenge und Nachfrage sind in diesem Stadium gering, woraus ein hoher Angebotspreis resultiert.[569] Niedrige Markteintrittsbarrieren führen zu hohen Ein- und Austrittsraten,[570] wobei die anfänglich geringe Herstellerzahl zunimmt.[571] Die Marktanteile der zahlreichen kleinen und mittleren Unternehmungen sind volatil,[572] ihre Organisation informell und unternehmerisch im Sinne Schumpeters.[573] Die Struktur der jungen Industrie ist flüssig bzw. flexibel, ihre industrielle Interdependenz gering.[574] Sowohl marktbezogen (Akzeptanz und Absatzpotenzial) als auch technologiebezogen sind die Akteure mit sehr hohem Unsicherheitsgrad konfrontiert.[575] In der korrespondierenden **Explorationsphase des Technologielebenszyklus,** die auch als *era of ferment*[576] bezeichnet wird, spielt die aus der Diskontinuität resultierende technologische Dimension der Unsicherheit eine Schlüsselrolle.[577] Sie bezieht sich einerseits auf die Selektion einer neuen Paradigma-Trajektorie-Kombination (intertrajektorielle Ebene) und andererseits auf den (komparativen) Umfang intensiver technologischer Opportunitäten potenzieller Trajektorien (intratrajektorielle Ebene). Grundsätzlich ist die Explorationsphase von den zu diesem Zeitpunkt noch umfangreichen technologischen Möglichkeiten bzw. der geringen Reife der Technologie und resultierender Produkten geprägt.[578] Es existieren keine technischen Standards in Produkt und Produktionsprozess.[579] Stattdessen erreichen Anzahl, Diversität und Dynamik der noch primitiven Basisdesigns in dieser Phase ihr Maximum,[580] sodass ein Wettbewerb potenzieller technologischer Paradigma-Trajektorie-Kombinationen herrscht.[581] Die Produktarchitektur folgt zu diesem Zeitpunkt häufig dem

---

568 Vgl. WILLIAMSON 1975, Seite 215 sowie KLEPPER 1997, Seite 146 ff. und PEREZ 2010, Seite 187. Die Entstehungsphase des Industrielebenszyklus wird u. a. auch als *initial*, *embryonic* oder *formative* bezeichnet.

569 Vgl. PYKA 2000, Seite 29

570 Vgl. GEELS 2005, Seite 54. In der Entstehungsphase wurden bzgl. der Dynamik der Markteintrittsrate empirisch zwei Muster nachgewiesen. Entweder sie reduziert sich im Entwicklungsverlauf stetig, oder sie steigt temporär an, um sich im Anschluss ebenfalls stetig zu reduzieren. Vgl. KLEPPER 1996, Seite 564

571 Vgl. KLEPPER 1996, Seite 564 f. sowie SAVIOTTI/PYKA 2008, Seite 169 und Seite 174 ff.

572 Vgl. GEELS 2005, Seite 54 und KLEPPER 1996, Seite 564 f.

573 Vgl. ABERNATHY/UTTERBACK 1978, Seite 40

574 Vgl. GEELS 2005, Seite 54

575 Vgl. WILLIAMSON 1975, Seite 215 sowie KLEPPER 1997, Seite 146 ff. und ABERNATHY/UTTERBACK 1978, Seite 45

576 Vgl. TUSHMAN/ROSENKOPF 1992, Seite 318 ff.

577 Vgl. PYKA 1999, Seite 182 sowie PYKA 2000, Seite 26 und Seite 29

578 Vgl. KLEPPER 1997, Seite 148. Die technologische Reife ist der Anteil der erschlossenen technologischen Möglichkeiten im Verhältnis zu den gesamten technologischen Möglichkeiten einer Technologie.

579 Vgl. WILLIAMSON 1975, Seite 215 sowie KLEPPER 1997, Seite 146 ff. und PYKA 2000, Seite 29 ff.

580 Vgl. KLEPPER 1996, Seite 565 f. sowie PEREZ/SOETE 1988, Seite 471 und PEREZ 2010, Seite 186

581 Vgl. TUSHMAN et al. 1997, Seite 9 sowie SUAREZ 2004, Seite 280

Prinzip des *Conversion-Designs*.[582] Eingesetzte Methoden und Anlagen in Herstellung, Vermarktung und Management sind experimentell, dynamisch und unspezialisiert.[583] Eine klare technologische Wissensbasis existiert nicht, sodass zahlreiche Einflüsse und Branchen die Entwicklung prägen.[584] Relevantes Wissen ist großenteils nicht kodifiziert, erste Patente eher wissenschaftlich bzw. technologisch-konzeptionell.[585] Es vollzieht sich ein massiver, extensiv-präparadigmatischer Lernprozess[586] mit Schwerpunkt auf externe Wissensquellen und experimentelle F&E ohne Vorteile für große Unternehmungen.[587] Technologischer Exploration zwischen Unternehmen wohnt in diesem Rahmen aufgrund der Eigenschaften technologischen Wissens immer auch ein kooperativer Aspekt inne, der aus der Unterscheidung zwischen *to know that* and *to know how* resultiert.[588] Die Verbesserungsrate technischer Leistungsfähigkeit kann in früher Phase des Lebenszyklus rapide ansteigen, wenn z. B. Lerneffekte eine Quelle steigender Renditen darstellen.[589] Es entstehen erste sprachliche Standards in Form neuer Terminologie und Symbolik (*language creation*).[590] Vorhandene technologische Erfahrung, früher Markteintritt und ausgeprägte Innovationsfähigkeit erzeugen bereits in dieser Phase Wettbewerbsvorteile und steigern somit die Chance auf Selektion im Zyklusverlauf (*technology based survival theory*).[591] In der technologischen Explorationsphase ist hinsichtlich der Innovationsmuster die **fluide Innovationsphase** zu beobachten.[592] Die umfangreichen technologischen Opportunitäten und Innovationsmöglichkeiten veranlassen zahlreiche Unternehmen zum Markteintritt.[593] Hauptstimulus für die sehr hohe Rate tiefgreifend-radikaler Produktinnovationen und Patente sind Informationen über die Bedürfnisse der (potenziellen) Nutzer, wobei ein überproportionaler Anteil der Innovationen von in den Markt eintretenden Unternehmen erzeugt wird.[594] Die F&E-Anstrengungen fokussieren auf die funktionale Leistungssteigerung des Produkts, es herrscht Produktinnovationswettbewerb.[595] Relevante Technologie kommt dabei häufig aus unerwarteten Quellen, sodass Unternehmen verstärkt auf ein breites Spektrum externer Wissensquellen angewiesen sind.[596] Innovationen im Produktionsprozess hingegen werden in dieser Phase im Wesentlichen durch Informatio-

---

582 Vgl. Absatz 2.2.1.2
583 Vgl. WILLIAMSON 1975, Seite 215 sowie KLEPPER 1997, Seite 146 ff.
584 Vgl. PYKA 2000, Seite 29
585 Vgl. KLEPPER 1997, Seite 149
586 Vgl. PEREZ/SOETE 1988, Seite 472 sowie PEREZ 2010, Seite 186
587 Vgl. KLEPPER 1997, Seite 149 sowie PEREZ/SOETE 1988, Seite 472 und PEREZ 2010, Seite 186
588 Vgl. RICHARDSON 1972, Seite 894 f.
589 Vgl. SAVIOTTI/PYKA 2008, Seite 174
590 Vgl. REDDY/CORT 1989, Seite 18
591 Vgl. JOVANOVIC/MACDONALD 1994, Seite 27 sowie KLEPPER 2002, Seite 57 f.
592 Vgl. ABERNATHY/UTTERBACK 1978, Seite 40
593 Vgl. JOVANOVIC/MACDONALD 1994, Seite 26. Umgekehrt verlassen diejenigen Unternehmen, deren Forschungs- und Entwicklungsvorhaben scheitern den Markt, was zu hoher Fluktuation führt.
594 Vgl. KLEPPER 1996, Seite 565 f. sowie KLEPPER 1997, Seite 167
595 Vgl. PYKA 2000, Seite 29 sowie UTTERBACK/ABERNATHY 1975, Seite 643
596 Vgl. UTTERBACK/ABERNATHY 1975, Seite 643

nen über die (potenzielle) Nachfragemenge stimuliert,[597] wobei ihre Rate gering aber zunehmend ist.[598] Insgesamt ist der Charakter des Produktionsprozesses noch unkoordiniert, d. h. heterogen-dynamisch-ineffizient, allerdings auch flexibel.[599] Dominierender Innovationstypus der fluiden Phase sind tiefgreifende Produktinnovationen,[600] wobei verstärkt auch architektonische Innovationen auftreten.[601] Die Technologie befindet sich in der Phase des Schumpeter-Unternehmers, in der zahlreiche Paradigma-Trajektorie-Kombinationen aufkommen und sich letztlich eine als dominant durchsetzt.[602] Bei diesem Innovationsmodus handelt es sich demnach im Kern um einen extensiv-explorativen Lernprozess.[603]

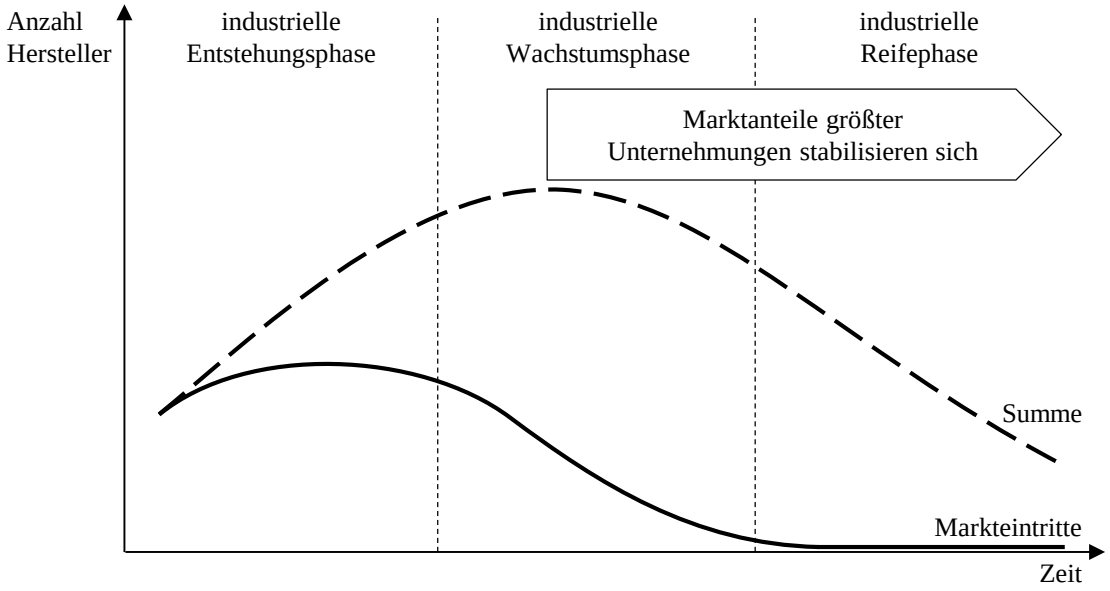


Abb. 2-4: Markteintritte, Herstelleranzahl und Marktanteile im Industrielebenszyklus[604]

Radikale Prozessinnovation in Wachstums- bzw. Exploitationsphase

In der **Wachstumsphase des Industrielebenszyklus** schärft sich das Profil des Marktes.[605] Die Produktionsmenge nimmt als Reaktion auf wachsende Nachfrage und die Entdeckung

597 Vgl. UTTERBACK/ABERNATHY 1975, Seite 645
598 Vgl. KLEPPER 1996, Seite 565 f.
599 Vgl. UTTERBACK/ABERNATHY 1975, Seite 641. Ineffizienzen werden bspw. anhand der experimentellen Erkundung technologischer Pfade deutlich, die im Perkolationsmodell von Silverberg und Verspagen als Sackgassen (*dead-ends*) bezeichnet werden. Vgl. SILVERBERG/VERSPAGEN 2005
600 Vgl. PEREZ/SOETE 1988, Seite 471
601 Vgl. ABERNATHY/CLARK 1985, Seite 13 f. sowie Absatz 2.2.1.2
602 Vgl. PYKA 2000, Seite 29
603 Vgl. LEVEQUE et al. 1996, Seite 186
604 Eigene Darstellung in Anlehnung an KLEPPER 1996, Seite 564
605 Vgl. WILLIAMSON 1975, Seite 215 sowie KLEPPER 1997, Seite 146 ff. Diese Wachstumsphase des Industrielebenszyklus wird u. a. auch als *adolescensel growth*, *intermediate* oder *growth stage* bezeichnet.

erweiterter Anwendungsgebiete rapide zu.[606] Dadurch sinkt einerseits der Preis und es vollzieht sich andererseits der Übergang vom Verkäufer- zum Käufermarkt.[607] Die Herstellerzahl ist nun maximal,[608] sodass durch sich intensivierenden Wettbewerb die Markteintrittsrate reduziert sowie die Marktaustrittsrate erhöht wird, was zu Konzentration und Stabilisierung von Industriestruktur und Marktanteilen bei steigenden Markteintrittsbarrieren führt.[609] Es liegt ein reduziertes, aber dennoch hohes, Niveau marktbezogener wie technologischer Unsicherheit vor.[610] Auf technologischer Ebene wird der Übergang zur **Exploitationsphase des Technologielebenszyklus** durch die Durchsetzung eines Basisdesigns zum dominanten Design markiert,[611] woraus die Selektion einer neuen Paradigma-Trajektorie-Kombination resultiert.[612] Dieser Schritt reduziert in Kombination mit ersten Erfahrungen mit der neuen Technologie das Ausmaß technologischer Unsicherheit, die sich nun im Wesentlichen auf die intensiven Opportunitäten der neuen Trajektorie beschränkt.[613] Mit dem Eintritt dieses Effektes erreicht die Markteintrittsrate ihr Maximum.[614] Während sich die technologische Reife in der Folge inkrementell entlang der Trajektorie entwickelt, reduzieren sich Diversität und Dynamik der Produktdesigns im Markt erheblich.[615] Zudem führen verbesserte Produkteigenschaften und sinkende Kosten zu starkem Marktwachstum.[616] Ebenso nimmt Standardisierungsgrad rapide zu,[617] was den Raum für weitere (v. a. radikale) Produktinnovation einschränkt.[618] Eingesetzte Vermarktungs- und Managementmethoden sind ebenso wie der Produktionsprozess zunehmend technologiebezogen differenziert bzw. spezialisiert.[619] Die Konturen der technologischen Wissensbasis schärfen sich nun erheblich und es erfolgt eine Strukturierung in abgegrenzte Felder relevanter F&E. Verstärkte Kodifikation technologischen Wissens reduziert Markteintrittsbarrieren,[620] während die Kumulativität technologischen Wissens den gegenteiligen Effekt hat.[621] Darüber hinaus steigern Spezialisierung und Skaleneffekte in

606 Vgl. WILLIAMSON 1975, Seite 215 und PEREZ/SOETE 1988, Seite 472
607 Vgl. PYKA 2000, Seite 29 und UTTERBACK/SUAREZ 1993, Seite 5 und Seite 8
608 Vgl. KLEPPER 1996, Seite 564 f. sowie SAVIOTTI/PYKA 2008, Seite 169 und Seite 174 ff.
609 Vgl. GEELS 2005, Seite 54 sowie KLEPPER 1996, Seite 564 f. und KLEPPER 1997, Seite 148
610 Vgl. WILLIAMSON 1975, Seite 215 sowie KLEPPER 1997, Seite 146 ff.
611 Vgl. KLEPPER 1997, Seite 148 und Seite 150 sowie GEELS 2005, Seite 54
612 Vgl. Absatz 2.2.3.5
613 Vgl. ABERNATHY/UTTERBACK 1978, Seite 45
614 Vgl. UTTERBACK/SUAREZ 1993, Seite 5 und Seite 8
615 Vgl. KLEPPER 1996, Seite 565. Tushman und Rosenkopf sprechen demnach von der *era of incremental change*. Vgl. TUSHMAN/ROSENKOPF 1992, Seite 323 ff.
616 Vgl. GEELS 2005, Seite 54
617 Vgl. UTTERBACK/ABERNATHY 1975, Seite 641
618 Vgl. PYKA 2000, Seite 29
619 Vgl. WILLIAMSON 1975, Seite 215
620 Vgl. KLEPPER 1997, Seite 149. Der Autor verweist überdies darauf, dass der Markteintritt zu in dieser Phase allerdings aufgrund bereits abnehmender Renditen wenig attraktiv ist.
621 Vgl. PEREZ/SOETE 1988, Seite 472 sowie KLEPPER 1997, Seite 149

F&E zusätzlich die Eintrittsbarrieren.[622] Die Inanspruchnahme technologischer Schutzrechte erfolgt nun weniger konzeptionell, sondern eher anwendungs- und variationsbezogen. Der nun intensive Lernprozess lässt Teile des in der präparadigmatischen Explorationsphase gewonnenen Wissens obsolet werden, führt allerdings in der Folge zu einem pfadgerichtet-beschleunigten Lernprozess.[623] Während der technologischen Exploitationsphase ist auf Seiten der Innovationsmuster eine **Übergangphase** zu beobachten, in der die Innovationsanstrengungen der Akteure die intensiven technologischen Möglichkeiten der neuen Trajektorie erschließen.[624] Eine sich reduzierende Rate an Produktinnovationen verbessert bei verminderter technologischer Unsicherheit die Eigenschaften des dominanten Produktdesigns.[625] Zielsetzung ist in dieser Phase v. a. die Steigerung des Absatzes, u. a. durch Produktvariation.[626] Neuerungen im Produkt sind jetzt stark überwiegend von inkrementeller Natur, die Patentierungsaktivitäten reduzieren sich.[627] Ein gegenteiliger Trend zeigt sich parallel auf Seiten der produktionsprozessbezogenen Innovationen, deren Rate und Auswirkungen, ebenfalls stimuliert durch intensive technologische Möglichkeiten, in dieser Phase ihr Maximum erreichen.[628] Es treten nun vermehrt radikal-tiefgreifende Neuerungen auf, die Kapitalintensität und Spezialisierungsgrad der Produktion massiv steigern.[629] Kernziel dieser Prozessentwicklung ist die Steigerung von Produktivität und Ausbringungsmenge,[630] wodurch sich der Marktanteil großer Hersteller zunehmend stabilisiert.[631] Der Charakter des Produktionsprozesses ist in dieser Phase als segmentiert zu bezeichnen, d. h. teilhomogen bei reduzierter Dynamik sowie steigender Effizienz, allerdings zum Preis reduzierter Flexibilität.[632] Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich durch die Festlegung auf eine technologische Paradigma-Trajektorie-Kombination der dominante Innovationstyp zu radikal-tiefgreifenden Neuerungen im Produktionsprozess verschiebt. Bei diesem Innovationsmodus handelt es sich folglich primär um einen intensiv-exploitativen Lernprozess, der den industriellen Wettbewerbs-

622 Vgl. KLEPPER 1997, Seite 149
623 Vgl. PEREZ 2010, Seite 186 f.
624 Vgl. ABERNATHY/UTTERBACK 1978, Seite 40
625 Vgl. GEELS 2005, Seite 54
626 Vgl. UTTERBACK/ABERNATHY 1975, Seite 643 f. sowie GEELS 2005, Seite 54
627 Vgl. ABERNATHY/CLARK 1985, Seite 14 und Seite 18 und KLEPPER 1996, Seite 580 sowie KLEPPER 1997, Seite 167
628 Vgl. KLEPPER 1997, Seite 148 und Seite 150. Der Autor betont die resultierende Austrittswelle der Unternehmungen, die bei der Verbesserung des Produktionsprozesses unterliegen. Größere Unternehmungen genießen zudem Vorteile bei der Erzeugung von Prozessinnovationen. Vgl. KLEPPER 1996, Seite 580
629 Vgl. UTTERBACK/ABERNATHY 1975, Seite 641 und WILLIAMSON 1975, Seite 215 sowie KLEPPER 1997, Seite 146 ff.
630 Vgl. PEREZ 2010, Seite 187
631 Vgl. KLEPPER 1996, Seite 565 f.
632 Vgl. UTTERBACK/ABERNATHY 1975, Seite 641 f.

charakter im Laufe der Exploitationsphase von Schumpeter- bzw. Technologiewettbewerb zu prozess-, management- und skalengeprägtem Preiswettbewerb verschiebt.[633]

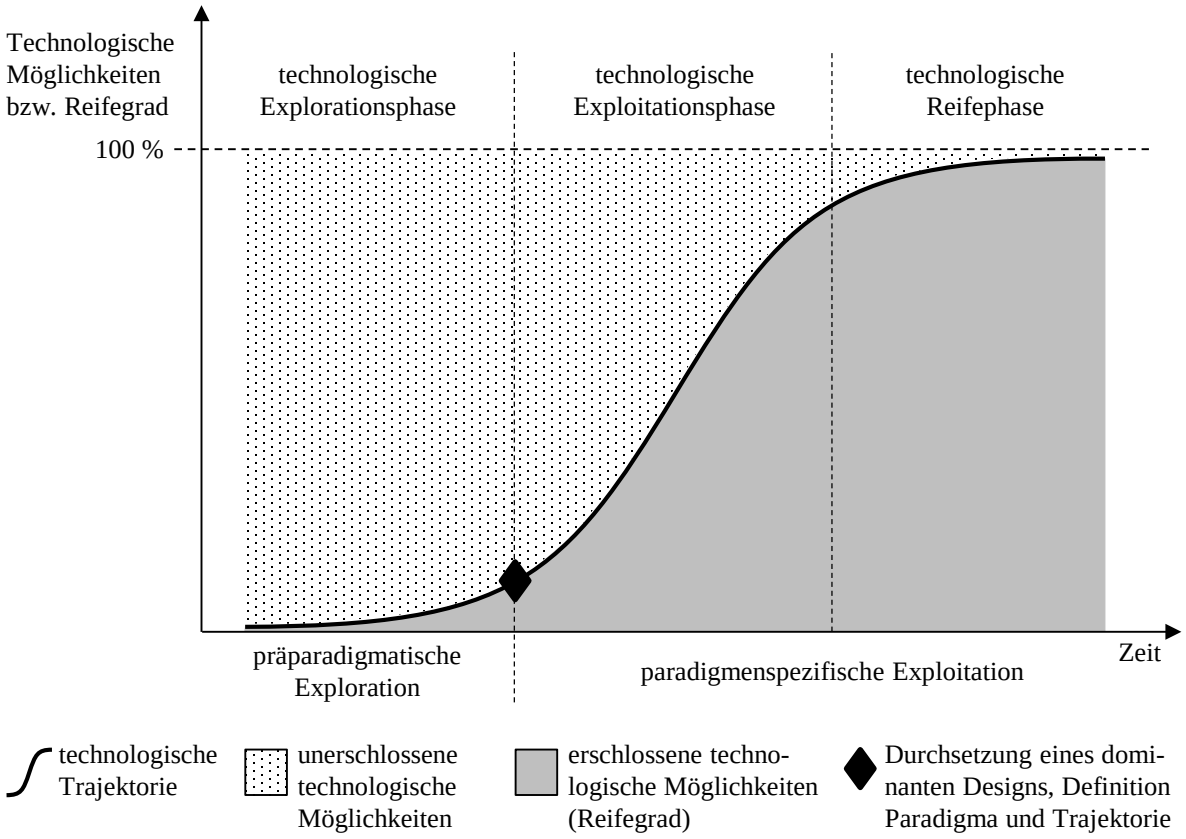


Abb. 2-5: Verlauf einer technologischen Trajektorie bzw. eines Technologielebenszyklus[634]

Inkrementelle Innovationen in der Reifephase

Die **Reifephase** bildet den letzten Abschnitt des Industrielebenszyklus. Sie zeichnet sich durch intensiven Preis- bzw. Kostenwettbewerb bei hohem Marktvolumen aus, dabei ist das verbleibende Wachstum gering und vorhersehbar.[635] Die Herstellerzahl reduziert sich in dieser Phase weiter, häufig hin zu einem Oligopol,[636] wobei sich unter den Oligopolisten vermehrt diejenigen befinden, die bereits früh in den Markt eingetreten sind.[637] Die Rate der

633 Vgl. PEREZ/SOETE 1988, Seite 472 und UTTERBACK 1996, Seite 26 ff. sowie UTTERBACK/SUAREZ 1993, Seite 17. Die Autoren betonen die überlebenswichtige Kompetenz des Designs von Produkten in F&E.

634 Eigene Darstellung in Anlehnung an PEREZ/SOETE 1988, Seite 471 sowie PEREZ 2010, Seite 187

635 Vgl. WILLIAMSON 1975, Seite 215 sowie KLEPPER 1997, Seite 146 ff. Die industrielle Reifephase wird in der Literatur u. a. auch mit den Begriffen *saturation* oder *mature* bezeichnet.

636 Vgl. SAVIOTTI/PYKA 2008, Seite 169 und Seite 174 ff. sowie KLEPPER 1996, Seite 564 f.

637 Vgl. KLEPPER 2002, Seite 646 und KLEPPER/SIMONS 2005, Seite 24. Dieses Phänomen wird in der Literatur u. a. mit den Ausdrücken *early mover advantage*, *success breeds success* oder *rich get richer dynamic* beschrieben. Das Risiko eines s*hakeouts* ist für *early movers* durch deren höhere Innovationsneigung re-

Markteintritte befindet sich auf entsprechend niedrigem Niveau und reduziert sich weiter,[638] sodass innerhalb von 20 Jahren ein *shakeout* von bis zu 90 % des vormaligen Maximums der Reifephase erfolgen kann, obwohl der industrielle Output stabil zunimmt.[639] Wesentlicher Grund für diese Entwicklung sind die durch Skaleneffekte in der Produktion, kumulatives Lernen sowie die Beharrungskräfte vorhandener Kunden- und Lieferantenbeziehungen hohen Barrieren, die lediglich großen Unternehmungen ein Überleben ermöglichen und den Eintritt in den nun reifen Markt praktisch blockieren.[640] Der Grad industrieller Interdependenz ist nun hoch. Innerhalb des Oligopols stabilisieren sich die Marktanteile zunehmend, die Industriestruktur verfestigt sich weiter.[641] Die organisationale Steuerung wird nun von formaler Aufbau- und Ablauforganisation, klaren Regeln und Zielen dominiert.[642] Umfassende und genaue Informationen zur weiteren Entwicklung von Markt und Technologie sind nun vorhanden,[643] der verbleibende Unsicherheitsgrad ist folglich gering.[644] Dies wird auch bei genauerer Betrachtung der korrespondierenden **Reifephase des Technologielebenszyklus** deutlich, in der die intensiven technologischen Möglichkeiten zunehmend erschöpfen.[645] Die Exploitation der mittlerweile bekannten, verbleibenden Opportunitäten erfordert in diesem Stadium steigenden Aufwand bei abnehmendem Reifegewinn, sodass technische Verbesserungen abnehmende Renditen erzeugen.[646] Der hohe Standardisierungsgrad in Produkt und Prozess lässt keinen Raum für tiefgreifende Neuerungen. Die bereits geringe Diversität der Basisdesigns reduziert sich im Preiswettbewerb weiter,[647] innerhalb des dominanten Designs erfolgen verstärkt Variation und Ausdifferenzierung. Methoden und Prozesse in Herstellung, Vermarktung und Management sind jetzt stark technologiebezogen differenziert bzw. spezialisiert.[648] Die technologische Wissensbasis ist in der Reifephase ausdifferenziert und liegt in weiten Teilen in kodifizierter Form vor.[649] Die verbleibenden Oligopolisten waren im kumulativen Lernprozess in Explorations- und Exploitationsphase erfolgreich und konzentrieren sich nun auf einen inten-

---

duziert. Vgl. KLEPPER/SIMONS 2005, Seite 40. Früher Markteintritt birgt jedoch im Gegenzug die Gefahr eines *lock-in* in Trajektorien, die mit dem späteren dominanten Design inkompatibel sind. Vgl. SUAREZ 2004, Seite 277

638 Vgl. KLEPPER 1996, Seite 564 f. sowie KLEPPER 1997, Seite 146 ff.

639 Vgl. KLEPPER/SIMONS 2005, Seite 23 f.

640 Vgl. KAYSEN/TURNER 1959, Seite 73 ff. und WILLIAMSON 1975, Seite 215 sowie KLEPPER 1997, Seite 148 und GEELS 2005, Seite 54 sowie DOSI/NELSON 2009, Seite 49 f. Dosi und Nelson betonen zudem, dass in Industrien in denen kleine Unternehmungen eine wesentliche Innovationsquelle darstellen und/oder hohe Innovationsraten vorliegen eine größere Anzahl von Unternehmungen überleben kann.

641 Vgl. WILLIAMSON 1975, Seite 215 und KLEPPER 1996, Seite 564 ff. sowie KLEPPER 1997, Seite 146 f.

642 Vgl. ABERNATHY/UTTERBACK 1978, Seite 40

643 Vgl. WILLIAMSON 1975, Seite 215

644 Vgl. KLEPPER 1997, Seite 146 ff. sowie WILLIAMSON 1975, Seite 215

645 Vgl. PYKA 2000, Seite 26

646 Vgl. GEELS 2005, Seite 54 und SAVIOTTI/PYKA 2008, Seite 174 sowie PEREZ 2010, Seite 186

647 Vgl. KLEPPER 1996, Seite 565 f.

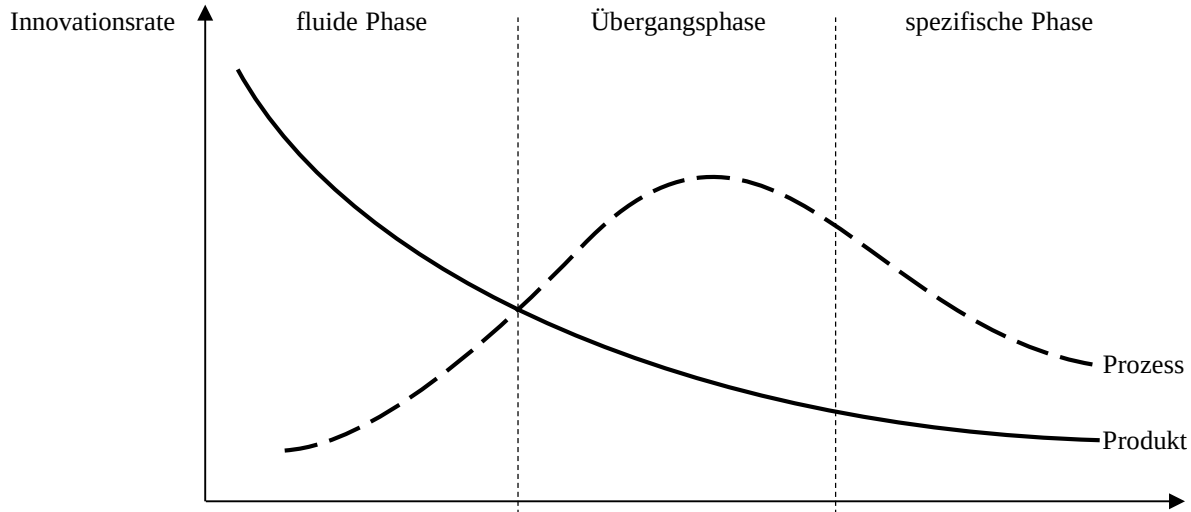
648 Vgl. WILLIAMSON 1975, Seite 215 sowie KLEPPER 1997, Seite 146 ff.

649 Vgl. PYKA 2000, Seite 29

siv-industrieinternen Lernprozess für den extensiv-industrieexterne Impulse von geringer Relevanz sind.[650] In der Reifephase verlangsamt sich der Rhythmus technologischen Lernens, d. h. besonders die Aktivitäten in Grundlagenforschung und Patentierung reduzieren sich.[651] Es ergibt sich im Hinblick auf die Innovationsmuster eine **spezifische Phase**, die von den reduzierten Innovationsmöglichkeiten bei bereits hohem technologischem Reifegrad geprägt ist.[652] Hauptstimulus für technische Neuerungen ist in dieser Phase der zunehmende Kosten- bzw. Qualitätsdruck,[653] der den Wettbewerb unter Produktions-Überkapazitäten und Produkt-Diversifizierungstendenzen v. a. auf Skaleneffekte konzentriert.[654] Eine Konsequenz ist, dass die bereits geringe Produktinnovationsrate weiter sinkt, wobei praktisch keine tiefgreifenden Neuerungen auftreten.[655] Die inkrementellen Veränderungen fokussieren stattdessen häufig auf die äußere Erscheinung des Produkts.[656] Auf Basis bereits hochspezialisierter und kapitalintensiver Produktionsanlagen sinkt in dieser Phase auch die bereits geringere Rate der Prozessinnovationen weiter ab.[657] Vorhandene Prozesse und Methoden in Herstellung, Vermarktung und Management werden durch inkrementelle Neuerungen lediglich verfeinert.[658] Fälle von Systemversagen werden auf Basis kumulierter Erfahrung mittels statistischen Methoden zunehmend reduziert.[659] Der Produktionsprozess ist nun integriert-systemisch, d. h. übergreifend homogen bei geringer Dynamik sowie hoher Produktivität und geringer Flexibilität.[660] Neuerungen werden in dieser Phase häufig durch Systemlieferanten generiert.[661] Dominierende Innovationstypen sind, induziert durch Preiswettbewerb und Standardisierung, inkrementell-kumulativ-effizienzbezogene Produkt- und Prozessinnovationen zur Steigerung der Produktivität bzw. Kostenreduktion.[662] Für die Unternehmungen dominiert nun das Management eigener Marktanteile, die Charakteristik des Unternehmers im Sinne Schumpeters tritt in den Hintergrund.[663] Der standardgeleitete Preiswettbewerb hält solange an, bis ein diskontinuierlicher technologischer Durchbruch (radikale Innovation) einen neuen Technologie-, Industrie- und Innovationszyklus eröffnet.[664]

---

650 Vgl. DOSI 1988b, Seite 1162
651 Vgl. NESTA/MANGEMATIN 2002, Seite 210
652 Vgl. ABERNATHY/UTTERBACK 1978, Seite 40
653 Vgl. UTTERBACK/ABERNATHY 1975, Seite 644 f.
654 Vgl. KLEPPER 1997, Seite 149 sowie GEELS 2005, Seite 54
655 Vgl. KLEPPER 1996, Seite 565 f.
656 Vgl. GEELS 2005, Seite 54
657 Vgl. WILLIAMSON 1975, Seite 215 und KLEPPER 1996, Seite 565 f. sowie KLEPPER 1997, Seite 146 ff.
658 Vgl. KLEPPER 1997, Seite 148
659 Vgl. WILLIAMSON 1975, Seite 215
660 Vgl. UTTERBACK/ABERNATHY 1975, Seite 642 sowie Seite 645
661 Vgl. UTTERBACK/ABERNATHY 1975, Seite 645
662 Vgl. PYKA 2000, Seite 29 sowie UTTERBACK/ABERNATHY 1975, Seite 644 f.
663 Vgl. PEREZ/SOETE 1988, Seite 473
664 Vgl. SUAREZ 2004, Seite 283



Hauptstimulus Produktinnovation	Informationen über Bedürfnisse der Nutzer	technologische Möglichkeiten	Kosten- und Qualitätsdruck
Hauptziel Produktinnovation	Steigerung der Produktleistung	Produktvariation und Absatzsteigerung	Kostenreduktion- und Qualitätssteigerung
Hauptstimulus Prozessinnovation	Informationen über die Nachfragemenge	technologische Möglichkeiten	Kosten- und Qualitätsdruck
Charakter des Produktionsprozesses	unkoordiniert, flexibel	Segmentiert, bedingt flexibel	systemisch, unflexibel
Dominierender Innovationstypus	umfangreiche/radikale Produktinnovation	umfangreiche/radikale Prozessinnovation	inkrementelle Produkt- und Prozessinnovation

Abb. 2-6: Innovationsmuster in Technologie- und Industrielebenszyklus[665]

2.3 Kooperation und Koordinationsdynamik

Dieses Teilkapitel fasst die für diese Untersuchung wesentlichen Grundlagen von Kooperation und Koordination zusammen. Dazu wird im ersten Schritt in Verbindung mit einer kurzen Darstellung der evolutionsbiologischen Perspektive eine Definition von Kooperation erarbeitet (Abschnitt 2.3.1). Es folgt eine Abgrenzung alternativer Koordinationsformen (Abschnitt 2.3.2) sowie eine Vorstellung dimensionaler Ausprägungen von Kooperation (Abschnitt 2.3.3). Anschließend werden Chancen (Abschnitt 2.3.4) und Risiken (Abschnitt 2.3.5) technologischer Kooperation sowie die Dynamik der Koordinationseignung im Verlauf technologischer Entwicklung (Abschnitt 2.3.6) analysiert. Eine fokussierte Analyse der Eignung vertrauensbasiert-kooperativer Exploration bei Wechsel der technologischen Paradigma-Trajektorie-Kombination schließt das Teilkapitel ab (Abschnitt 2.3.7).

[665] Eigene Darstellung in Anlehnung an UTTERBACK/ABERNATHY 1975, Seite 645 sowie ABERNATHY/UTTERBACK 1978, Seite 40 und UTTERBACK 1996, Seite XVII

2.3.1 Evolution und Definition von Kooperation

Der Begriff *kooperieren* geht auf das lateinische Verb *cooperare* zurück und bedeutet *zusammenarbeiten*.[666] Dabei wird bereits klar, dass es sich bei Kooperation um eine Tätigkeit bzw. eine Art des Verhaltens handelt. Die Begriffe Kooperation und Kollaboration werden im deutschen gemeinhin synonym gebraucht.[667] Ein tieferes Verständnis der Entwicklung kooperativen Verhaltens bei Menschen, und damit auch der durch ihn geschaffenen und geprägten Organisationen, gewährt ein Blick in die Evolutionstheorie.

Das evolutorische Selektionsprinzip, das von Darwin und Spencer mit dem Ausdruck **survival of the fittest** beschrieben wurde, legt eine von Mutation und Selektion getriebene Entwicklung nahe, in der die egoistische Rücksichtslosigkeit des Stärkeren sein Überleben sichert. Einzig der Mensch scheint diesen Mechanismus weitgehend überwunden und eine neue Stufe moralischer und juristischer Sozialität erreicht zu haben, die ihn zu **Altruismus** befähigt, die Kultur.[668] Es stellt sich jedoch die Frage wie der Mensch die Dichotomie zwischen Natur und Kultur überwinden konnte und ob menschliches Sozialverhalten auf Grundlage darwinistischer Theorie nachvollziehbar ist.[669] In der Evolutionsforschung wird unter **Kooperation** grundsätzlich eine Handlung eines Individuums verstanden, die einem oder mehreren anderen Individuen nützt, wobei es dem handelnden Individuum entweder auch unmittelbar nützt (*win-win*) oder unmittelbar einen Nachteil einbringt (*win-lose*).[670] Im ersten Fall handelt es sich um *Mutualismus*[671], im zweiten um *Altruismus*.[672] Die biologische Forschung hat gezeigt, dass Kooperation der Zugang zu höherer Komplexität ist und in der Natur dominiert. So versteht die Biologie **komplexe Organismen** als Zusammenballung organisierter und kooperierender Zellen.[673] Auch **zwischen Organismen**, z. B. bei Tieren, ist kooperatives Verhalten zu beobachten, das über offensichtlichen Mutualismus hinausgeht und auf den ersten Blick altruistisch erscheint. Beispiele hierfür sind der Verzicht auf eigene Nachkommen bei Arbeiterbienen zur Unterstützung der Fortpflanzung der Königin oder der Warnruf von Vögeln, der die Aufmerksamkeit eines Angreifers zusätzlich auf den Warnenden lenkt. Hier wäre grund-

666 Vgl. BAUM 2011, Seite 48
667 Vgl. BORNEMANN 2012, Seite 77
668 Vgl. LAUE 2010, Seite 157
669 Vgl. LAUE 2010, Seite 157
670 Vgl. SACHS et al. 2004, Seite 137
671 Mutualismus ist als kooperatives Verhalten bei unmittelbarer Gewinnerwartung des Handelnden zu verstehen. Vgl. NEWIG et al. 2011, Seite 34
672 Unter Altruismus ist ein dem Egoismus gegenteiliges, uneigennütziges Verhalten zu verstehen, bei dem der Handelnde aus biologischer Sicht seine Reproduktionsmöglichkeiten nicht ausschöpft. Der Nachteil des handelnden definiert eine Handlung als altruistisch. Vgl. LAUE 2010, Seite 161
673 Vgl. LAUE 2010, Seite 160. Der Autor betont, dass aus biologischer Sicht jeder komplexe Organismus die Zusammenballung perfekt organisierter und funktionierender Kooperation. Erst durch die Zusammenarbeit einer Unzahl von Untereinheiten ist ein Mensch mit seiner Individualität möglich. Aufgrund des Beitrags einzelner Zellen zum Überleben des Gesamtorganismus ist dies als Mutualismus zu interpretieren.

sätzlich davon auszugehen, dass diese altruistischen Verhaltensweisen evolutorisch nicht selektiert werden, weil derjenige, der sein eigenes Überleben dem der anderen unterordnet, von den Organismen überholt werden muss, deren selbstsüchtiges Streben genetisch determiniert ist.[674] Einen ersten Erklärungsansatz des *evolutionsbiologischen Altruismusproblems* bot Hamilton mit seiner genotypischen statt vormals phänotypischen Interpretation des Selektionsmechanismus (**Verwandtschaftsselektion**).[675] Das Prinzip erlaubt ein evolutorisches Verständnis altruistischen Verhaltens auf Basis des Verwandtschaftsgrades. Ein altruistisches Verhaltensmuster kann somit selektiert werden, wenn die Kosten des Handelnden geringer sind als das Produkt aus Verwandtschaftsgrad und Empfängernutzen.[676] Im Beispiel der Arbeiterbienen geht dies soweit, dass diese (aufgrund der Kombination diploider und haploider Chromosomensätze im Bienenvolk) mit eigenen Nachkommen zu 50 %, mit denen ihrer Königin allerdings zu 75 % verwandt sind und somit zur Verbreitung der eigenen Gene an Stelle eigener Nachkommen die Fortpflanzung der Königin unterstützen.[677] Es lässt sich somit festhalten, dass genotypische Selektion eine Begründung der Selektion sozialen Verhaltens bietet. Aufgrund der ausschließlichen Handlungsmotivation zur Verbreitung des eigenen Genotyps ist dieses jedoch nicht als altruistisch, sondern eher als mutualistisch bzw. symbiotisch zu bezeichnen. Einen Ansatz zur Erklärung altruistischen Verhaltens unter unverwandten Organismen (auch verschiedener Arten) entwickelte Trivers. Sein Konzept des **reziproken Altruismus** geht davon aus, dass altruistische Akte wechselseitig (*reziprok* bzw. *tit for tat*) ausgetauscht werden, wobei der Nutzen langfristig den Aufwand überwiegt.[678] Es handelt sich somit um eine Form kooperativen Verhaltens bei zeitversetzter bzw. späterer Gewinnerwartung.[679] Im Beispiel des Warnrufs bei Vögeln überkompensiert der Nutzen der Gewarnten den Aufwand bzw. die erhöhte Gefahr des Warnenden, sodass jeder einzelne der reziproken Altruisten insgesamt ein höheres Nutzenniveau erreicht als bei egoistischem Verhalten.[680] Wesentliche Voraussetzung evolutorischer Gruppenselektion reziproker Altruisten ist allerdings das Erkennen und Ausschließen von Betrügern, die vom Gruppenverhalten profitieren, selbst aber nicht investieren. Ist dies der Fall stellt der Altruist den Altruismus gegenüber dem Betrüger ein, sodass sich dessen Gesamtnutenbilanz verschlechtert. Reziprok altruistisches Sozialverhalten kann auf Gruppenebene evolutorisch selektiert werden, wenn (1) es in der Lebensspan-

---

674 Vgl. LAUE 2010, Seite 162

675 „Das Sozialverhalten jeder Spezies entwickelt sich in der Art, dass ein Individuum in jeder einzelnen, Verhalten hervorrufenden Situation die Fitness des Nachbarn gegenüber der eigenen unter Berücksichtigung des Verwandtschaftsgrades und der Anforderungen der Situation abschätzt." HAMILTON 1964, Seite 19. Dieses Verhalten wird in der Literatur auch als *nepotistischer Altruismus* bzw. *Familiensolidarität* bezeichnet. Vgl. NEWIG et al. 2011, Seite 34

676 In diesem Fall steigt die Gesamtfitness beider Individuen. Vgl. LAUE 2010, Seite 166

677 Vgl. LAUE 2010, Seite 167

678 Vgl. TRIVERS 1971, Seite 35 ff.

679 Vgl. NEWIG et al. 2011, Seite 34

680 Ein Beispiel reziproken Altruismus ist das gegenseitige Verhalten von Jagd- und Putzerfischen.

ne des Altruisten zahlreiche Situationen für dieses Verhalten gibt, (2) der Altruist wiederholt mit gleichen Partnern interagiert und (3) altruistische Paare symmetrisch mit altruistischen Situationen konfrontiert werden.[681] Die biologische Forschung hat überdies gezeigt, dass sich reziprok altruistisches Verhalten in einer egoistisch asozialen Umwelt entwickeln, verbreiten und negativen Einwirkungen (wie z. B. Krankheiten) widerstehen bzw. diese überdauern kann.[682] Bereits ein Transfer auf den frühen Menschen lässt zudem feststellen, dass bei Hominiden zahlreiche reziproken Altruismus begünstigende Parameter vorliegen.[683] Selbstverständlich gehen die kooperativen Mechanismen, die dem Menschen mit seiner moralisch-juristisch geprägten Sozialität sowie seinen kognitiv-emotionalen Fähigkeiten zur Verfügung stehen, deutlich über dieses einfache Prinzip hinaus.[684] Dies wird beispielhaft bereits daran deutlich, dass der Mensch nicht bipolar in faires Verhalten und Betrug kategorisiert, sondern zahlreiche Abstufungen unterscheidet.[685] Aus biologischer Sicht lässt sich somit festhalten, dass sowohl die Evolution als auch menschliches Sozialverhalten von Kooperation geprägt sind.[686]

Diese Erkenntnisse lassen sich nun auf die Perspektive der **Zusammenarbeit zwischen Unternehmungen** übertragen. Dabei kann biologische Kooperation der Zellen eines Organismus analog der zwischen Arbeitnehmern eines Unternehmens interpretiert werden. Kooperation unter verwandten Organismen ist analog der zwischen verbundenen Unternehmen zu verstehen. Reziproker Altruismus unter unverwandten Organismen entspricht der Kooperation unverbundener Unternehmen. **Kooperation** wird somit im Kontext dieser Untersuchung als Verhaltensstrategie definiert, in der mindestens zwei selbständige Partner (rechtlich und wirtschaftlich) freiwillig und unter Kombination von Ressourcen (Investment, z. B. in Form von Fähigkeiten und Gütern) sowie unter wechselseitiger Abstimmung und gemeinsamer Aufgabenerfüllung, spezifische gemeinsame und/oder individuell-kompatible Ziele verfolgen, wobei sich die Partner aus synergetischen Potenzialen im Vergleich zu alleinigem Vorgehen (naive Konkurrenz) eine höhere Zielerreichung versprechen.[687] Koordination und Aufgabenteilung der Partner orientiert sich dabei nicht ausschließlich am Konkurrenzprinzip, da neben

---

681 Vgl. TRIVERS 1971, Seite 37 f.

682 Vgl. AXELROD/HAMILTON 1981, Seite 1391

683 Trivers führt an: (1) lange Lebensspanne (2) kleiner Lebensraum bzw. Leben in Gruppen (3) wechselseitige Abhängigkeit (4) elterliche Pflege sowie (6) Kampfhilfe. Vgl. TRIVERS 1971, Seite 37 f.

684 Vgl. LAUE 2010, Seite 157 sowie Seite 242. Der Autor betont, dass einzig bei Menschen altruistisches Verhalten ohne Erwartung einer künftigen Gegenleistung belegt werden konnte. Vgl. LAUE 2010, Seite 243

685 Für eine Differenzierung zwischen grobem und subtilem Betrug vgl. TRIVERS 1971, Seite 46

686 Jüngere Erkenntnisse der Biologie schlagen überdies eine Verschiebung von den Prinzipien zufälliger Mutationen, Wettbewerb und Selektion hin zu Kooperation, Regulierung, Netzwerken, Selbstorganisation und Pfadabhängigkeit vor. Vgl. KNOTTENBAUER 2009, Seite 11 sowie Seite 14

687 Vgl. GERYBADZE 1995, Seite 14 und BORNEMANN 2012, Seite 77 sowie PICOT et al. 2005, Seite 173 und HEFTRICH 2001, Seite 35 sowie SYDOW/MÖLLERING 2009, Seite 17 und ANZENBERGER 1991, Seite 15 sowie BAUM 2011, Seite 49 sowie für Übersichten unterschiedlicher Definitionen von Kooperation SCHOLTA 2005, Seite 12 ff. und WAMSLER 2009, Seite 42 ff. sowie ETTER 2003, Seite 40 ff.

den eigenen auch die Interessen der Kooperationspartner aktiv berücksichtigt werden.[688] Die Verhaltenskoordination ist demnach von wechselseitig-intentionaler oder emergenter Begrenzung individueller Autonomie geprägt (*bounded autonomy*).[689] Dies resultiert auch daraus, dass das Versagen eines Partners aufgrund kooperationsinhärenter gegenseitiger Abhängigkeit negative Auswirkungen auf die anderen Partner hat.

2.3.2 Abgrenzung zu macht- und preisbasierter Koordination

In diesem Abschnitt wird der Mechanismus vertrauensbasierter Kooperation in einen theoretischen Zusammenhang eingeordnet, wobei unter Koordination im Allgemeinen die Abstimmung von Maßnahmen zur Erreichung von Zielen zu verstehen ist. Sie ist Voraussetzung von Arbeitsteilung und lässt sich in die drei Grundmechanismen *machtbasierte Verhaltensanweisung*, *preisbasierter Wettbewerb* und *vertrauensbasierte Kooperation* kategorisieren.[690]

Machtbasierte Verhaltensanweisung ermöglicht die Koordination von Arbeitsteilung und Aufgabenerfüllung zwischen Akteuren mittels Anordnung, bspw. durch übergeordnete Instanzen. Strukturell wird dieser Koordinationsmechanismus durch **Hierarchie** ermöglicht, die sowohl formell als auch informell sein kann. Da Hierarchien innerhalb von Organisationen stark ausgeprägt sind, dominiert machtbasierte Verhaltensanweisung insbesondere organisationsintern. Bei vollständiger Selbsterstellung einer Leistung kann im Extremfall eine intraorganisationale, praktisch rein machtbasierte Koordination ohne Einbindung von Ressourcen außerhalb der Unternehmensgrenzen vorliegen.[691] Aus Sicht der Transaktionskostentheorie eignet sich diese Form der Koordination besonders dann, wenn die durch alternative Koordinationsformen entstehenden Transaktionskosten durch Selbsterstellung einer Leistung unterboten werden können. Dies ist v. a. bei hoher Spezifität und Unsicherheit der Fall.[692] Eingeschränkte Rationalität und die erhöhte Gefahr opportunistischen Verhaltens führen dann zu einer Internalisierung von Funktionen.[693] Auch die Integration anderer Unternehmungen durch Übernahme oder Fusion (*Mergers and Acqusitions*) wandelt bis dato eher wettbewerbs- oder vertrauensbasierte Beziehungen in machbasierte, die einen höheren Grad an Kontrolle und direkter Steuerung ermöglichen.[694] Diese Koordinationsform wird oftmals auch dann gewählt, wenn eine Leistung preisbasiert nicht bezogen werden kann. Da sie gemeinhin mit re-

---

688 Kooperatives Verhalten im Sinne der hier geltenden Definition kann demnach nicht erzwungen werden.
689 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 55
690 Diese Dreigliedrigkeit wird häufig mit den Begriffen *Integrationslösung* (*make*), *Marktlösung* (*buy*) und *Kooperationslösung* (*cooperate*) bezeichnet. Vgl. GERYBADZE 1999, Seite 4 f.
691 Vgl. SCHONERT 2008, Seite 82
692 Vgl. COOMBS et al. 1996, Seite 6
693 Vgl. PYKA 2002, Seite 152 f.
694 Vgl. SCHONERT 2008, Seite 79 und Seite 82 sowie SCHÖN 2013, Seite 32 f. und Seite 67

duzierter Flexibilität und höheren Investitionen einhergeht,[695] sind derartige Beziehungen von erhöhter Stabilität bzw. Kontinuität.[696]

Ein weiterer Mechanismus zur Koordination von Arbeitsteilung und Aufgabenerfüllung ist **preisbasierter Wettbewerb**, in dem die Akteure durch das Streben nach Durchsetzung gegen ihren Konkurrenten angetrieben werden. Dieser Koordinationsmechanismus dominiert insbesondere im **Markt**, der sich durch Rivalität zwischen Anbietern und Nachfragern um günstige Transaktionsmöglichkeiten und -bedingungen auszeichnet.[697] Preisbasierter Wettbewerb tritt demnach hauptsächlich auf interorganisationaler Ebene auf, bspw. bei der Einbindung unternehmensexterner Ressourcen. Im Gegensatz zu machtbasierter Koordination in Hierarchien identifiziert die Transaktionskostentheorie preisbasierten Wettbewerb in Märkten in Fällen unspezifischer Leistungen und geringer Unsicherheit als effizient. Den Wirtschaftssubjekten stehen Zugang zu Märkten sowie Austritt aus diesen frei, sodass Marktstrukturen im Wesentlichen Ergebnis emergenter Entwicklungen und nicht bewusster Planung sind, aus der Selbstregulation ergibt sich eine *spontane Ordnung*.[698] Koordination mittels preisbasierten Wettbewerbs und die daraus resultieren Akteursbeziehungen gelten (im Idealfall) als kompetitiv und flüchtig.[699] Die gleichberechtigten Konkurrenten verhalten sich begrenzt rational sowie opportunistisch und verfolgen ihre Individualinteressen weitgehend autonom.[700] Eine gemeinsame Zieldefinition und -verfolgung der Akteure erfolgt nicht.[701]

Kooperation ermöglicht Arbeitsteilung und gemeinsame Aufgabenerfüllung unter Akteuren auf Basis von **Vertrauen**, wobei die Akteure voneinander abhängig sind und die Erreichung gemeinsamer Ziele anstreben. Kooperatives Verhalten tritt insbesondere in **Partnerschaften** (bilateral) und **Netzwerken** (multilateral) auf, die somit die wesentlichen Strukturen kooperativen Verhaltens darstellen.[702] Sie werden häufig mit der Zielsetzung vertrauensbasiert-kooperativen Verhaltens unter den Beteiligten konzipiert, sodass Kooperation überwiegend als konstituierendes Merkmal von Unternehmensnetzwerken eingestuft wird.[703] Gelingt die Entwicklung einer Vertrauenskultur unter den Akteuren, ist diese Grundlage für den Austausch reziprok altruistischer Akte auch ohne Rechtssicherheit.[704] In diesem Rahmen muss allerdings betont werden, dass die Entwicklung eines kooperativen Milieus an fehlender sozia-

---

695 Vgl. RAUTENSTRAUCH et al. 2003, Seite 8

696 Vgl. BORCHERT et al. 2004, Seite 4

697 Vgl. MÖLLERING 2010, Seite 6

698 Vgl. SYDOW/MÖLLERING 2009, Seite 21 f. Zur Sichtweise von *Wettbewerb als Entdeckungsverfahren* mit dem Ergebnis der Herausbildung einer *spontanen Ordnung* vgl. HAYEK 1968 sowie HAYEK 1972

699 Vgl. ETTER 2003, Seite 46

700 Vgl. BORCHERT et al. 2004, Seite 4 sowie ETTER 2003, Seite 46

701 Vgl. POWELL 2012, Seite 34 sowie SCHONERT 2008, Seite 80

702 Vgl. CORSTEN 2001, Seite 5

703 Vgl. DODGSON 1993, Seite 10 und DE LA MOTHE 2002, Seite 255 sowie DACHS et al. 2004, Seite 2 und HENSEL 2007, Seite 28 sowie SCHONERT 2008, Seite 109 und SEMLINGER 2010, Seite 67

704 Der Integrationsgrad von Akteuren in kooperative Netzwerke wird v. a. durch Qualität bzw. Intensität, Anzahl, Horizont, und Dynamik ihrer Verbindungen beeinflusst. Vgl. MÖLLERING 2010, Seite 16 ff.

ler Kohäsion, divergierenden Zielen und hoher Wettbewerbsintensität gänzlich scheitern kann, sodass Kooperation nicht jedem Netzwerk inhärent ist.[705] Vertrauensbasierte Kooperation verbindet die Akteure enger als preisbasierter Wettbewerb und lockerer als machtbasierte Verhaltensanweisung,[706] wobei sie grundsätzlich eher dann dominiert, wenn die Ziele mehrerer Akteure positiv korrelieren.[707] In der Literatur findet sich verbreitet die Auffassung, dass kooperative Strukturen eine zwischen Markt und Hierarchie angesiedelte, intermediäre Koordinationsstruktur wirtschaftlicher Aktivitäten darstellen, die zum Teil auch als *hybrid* bezeichnet wird.[708] Nach dieser Auffassung spannen Markt und Hierarchie ein Kontinuum der Koordination auf, das zwischen diesen Polen von einem breiten Spektrum kooperativer Koordinationsstrukturen geprägt ist.[709] Diese Dichotomie zwischen machtbasiert gesteuerter und preisbasiert spontaner Koordination verfehlt allerdings den Kern von Kooperation, der eben nicht aus der schlichten Kombination der klassischen Koordinationsformen, sondern aus dem kooperativ-synergetischen Aspekt resultiert.[710] So bilden Akteure, die innerhalb einer Wertschöpfungskette im Wettbewerb um systeminhärente Profite stehen, kooperative (Teil-) Systeme, die **synergetisch ein höheres Nutzenniveau erschließen**.[711] Speziell mit Blick auf den Innovationsprozess ignoriert die transaktionskostenorientierte Auffassung die komplexe Realität des Wissensaustauschs,[712] insbesondere den für Innovation ausschlaggebenden, ideengenerierenden Charakter kooperativer F&E.[713] Vertrauensbasierte Kooperation ist in der Konsequenz nicht als hybride, sondern als eine dritte, eigenständige Koordinationsform zu verstehen, die einen alternativen Mechanismus begründet und deren zunehmende Verbreitung nicht allein über Effizienzvorteile zu erklären ist.[714] In diesem Rahmen können Kooperationspartner dauerhaft von- und miteinander lernen, geringes Interesse an Wechseloptionen haben und gemeinsam bessere Ergebnisse als die Konkurrenz anstreben.[715] Abhängig von individueller Ausprägung besitzen kooperative Strukturen neben vertrauensbasierten auch machtbasierte und v. a. wettbewerbliche Züge.[716] So müssen sich Akteure in Ihrer kooperativen Posi-

---

705 Vgl. SCHONERT 2008, Seite 97 sowie Seite 106. Die Beziehungen in Unternehmensnetzwerken weisen somit gleichzeitig kompetitiven wie kooperativen Charakter auf. Vgl. GULATI et al. 2000, Seite 212

706 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 67

707 Vgl. HERNANDEZ/DEWICK 2011, Seite 220

708 Vgl. WILLIAMSON 1985, Seite 144 und POWELL 2012, Seite 31 sowie PYKA 2002, Seite 153 f.

709 Vgl. POWELL 2012, Seite 31 sowie WILLIAMSON 1985, Seite 83

710 Vgl. RICHARDSON 1972, Seite 895 sowie CHESNAIS 1996, Seite 25

711 Vgl. TAKEISHI 2001, Seite 404 f. Der Autor verweist in diesem Zusammenhang auf die ehemals übermäßig wettbewerbsfokussierte Perspektive der Management- und Strategietheorie.

712 Vgl. OECD 1992, Seite 78

713 Vgl. PYKA 2002, Seite 154

714 Vgl. NIOSI 1996, Seite 103 und SYDOW/MÖLLERING 2009, Seite 187 sowie SEMLINGER 2010, Seite 42 ff.

715 Vgl. MÖLLERING 2010, Seite 13

716 Vgl. RICHARDSON 1972, Seite 895 f. Dieser Aspekt wird auch anhand des Begriffs der *coopetition* deutlich, der als Verbindung aus *cooperation* und *competition* das Auftreten beider Strategien in kooperativen Netzwerken unterstreicht. Vgl. SCHMID 2010, Seite 93 ff.

tion bewähren und konkurrieren dabei ständig mit Unternehmen innerhalb und außerhalb des Netzwerks, die ihren Platz einnehmen könnten (*competing to cooperate*).[717] Zudem entsteht eine zusätzliche, übergeordnete Wettbewerbsebene zwischen interorganisational-kooperativen Wertschöpfungsverbünden, sodass faktisch *Netzwerkwettbewerb* vorliegt.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass vertrauensbasierte Kooperation neben preisbasiertem Wettbewerb und machtbasierter Verhaltensanweisung als stabile, eigenständige Koordinationsform zu verstehen ist, mittels derer beteiligte Akteure Erwartungen, Verhalten und Leistungsprozesse wesentlich aufeinander einstellen, voneinander abhängig machen und gemeinsam entwickeln.[718] Darüber hinaus darf die offensichtliche Nähe zwischen den Koordinationsmechanismen und der jeweils dominierten Struktur nicht darüber hinwegtäuschen, dass grundsätzlich jeder Mechanismus in jeder Struktur auftreten kann. Unternehmen versuchen in kooperativen Netzwerken die Vorteile marktbasierter Koordination (Effizienzdruck und Spezialisierung) mit denen hierarchischer Koordination (Vertrauen und Informationsintegration) zu vereinen.[719] Zielsetzung ist hierbei sowohl eine bessere Zielerreichung durch Kombination, als auch die Erschließung kooperativ-synergetischer Potenziale,[720] wobei z. B. der Mehrwert multilateralen Lernens (analog dem internationalen Warenaustausch) den des bilateralen Lernens übertreffen kann. Aus betriebswirtschaftlicher Perspektive spielen in diesem Rahmen die eng verflochtenen Disziplinen des Kooperationsmanagements[721] sowie des Netzwerkmanagements[722] Schlüsselrollen. Eine besonders starke Ausprägung des kooperativen Moments findet sich häufig in Joint Ventures, deren Eigentum anteilig auf die Kooperationspartner verteilt ist.[723]

---

717 Vgl. GOMES/CASSERES 1994, Seite 66 sowie HANUSCH/PYKA 2006, Seite 281

718 Vgl. MÖLLERING 2010, Seite 11 sowie SEMLINGER 2010, Seite 67

719 Vgl. BORCHERT et al. 2004, Seite 5. Für eine tiefere Analyse der Vorteile preisbasierten Wettbewerbs und machtbasierter Anweisung vgl. SCHONERT 2008, Seite 84 sowie BORCHERT et al. 2004, Seite 4 ff.

720 Vgl. SCHONERT 2008, Seite 104 und BORCHERT et al. 2004, Seite 15

721 Das Kooperationsmanagement ist eine Disziplin der Betriebswirtschaftslehre, die sich managementtheoretisch mit Kooperation befasst. Aufgrund der überbetrieblich-innovationsökonomischen Perspektive dieser Untersuchung ist das Kooperationsmanagement nur am Rande von Interesse. Für einen tieferen Einblick in das Management von Kooperation vgl. beispielhaft GERYBADZE 1999 sowie SCHUH et al. 2005.

722 Das Netzwerkmanagement erweitert den betriebswirtschaftlichen Managementansatz über die Unternehmensgrenze hinaus und integriert Zulieferer, Abnehmer und Wettbewerber inkl. ihrer Aktivitäten und Beziehungen zur fokalen Unternehmung. Vgl. SYDOW 2010a, Seite 2 sowie HENSEL 2007, Seite 88 ff. Dazu werden Methoden und Instrumente zur Netzwerkgestaltung und -steuerung aus Sicht der fokalen Unternehmung entwickelt. Vgl. SYDOW 2010b, Seite 373 ff. Aufgrund des innovationsökonomisch-analytischen Perspektive dieser Untersuchung ist das Netzwerkmanagement hier von untergeordneter Relevanz.

723 Vgl. ETTER 2003, Seite 46

2.3.3 Dimensionen von Kooperation

Ausprägungen von Kooperation unterscheiden sich, analog der auf Strukturebene korrelierenden interorganisationalen Netzwerke,[724] hinsichtlich unterschiedlicher Dimensionen, die in diesem Abschnitt kurz vorgestellt werden.[725] Eine erste Dimension von Kooperation ist deren **Zielsetzung**, wobei es im Wesentlichen auf die Beziehungen zwischen den Zielen der beteiligten Akteure ankommt. Diese müssen identisch oder komplementär, mindestens aber indifferent sein, um gemäß der Definition von Kooperation eine gemeinsame Zielerreichung zu ermöglichen. Im Falle konkurrierender Ziele geht eine erhöhte Zielerreichung eines Partners zu Lasten der Zielerreichung mindestens eines anderen, sodass in diesem Fall keine Kooperation vorliegt.[726] Das **Betätigungsfeld** der Zusammenarbeit bildet eine zweite Dimension von Kooperation, die entlang des gesamten Wertschöpfungsprozesses ansetzen kann. Dabei können u. a. Forschung, Entwicklung, Beschaffung, Produktion, Personal, Marketing und Vertrieb, aber auch Finanzierungsaspekte betroffen sein.[727] Abhängig vom Kooperationsfeld verfolgen Akteure spezifische Ziele, so z. B. die Erzielung von Skaleneffekten in Beschaffung und Produktion. Die vorliegende Untersuchung fokussiert in diesem Rahmen auf technologische Kooperation für Innovation in F&E, die überwiegend innerhalb von Innovationsnetzwerken und Partnerschaften stattfindet.[728] Eine dritte Dimension von Kooperation ist deren **auslösendes Moment**, das entweder rein privatwirtschaftlich, d. h. durch Unternehmungen, oder durch öffentliche Förderung, z. B. im Rahmen der Innovationspolitik, entstehen kann.[729] Ferner konstituiert auch die **Kooperationsrichtung** eine Dimension**,** wobei zwischen intrasektoraler Zusammenarbeit innerhalb einer Wertschöpfungskette und intersektoraler bzw. lateraler Kooperation zwischen Partnern verschiedener Wertschöpfungsketten zu unterscheiden

---

724 Vgl. zur Dimensionalität und Typisierung von Netzwerken beispielhaft KEIJZER 2007, Seite 52 ff. sowie SYDOW 2010b, Seite 380. Schön und Pyka erweitern diese Sicht mit einer Klassifikation von Innovationsnetzwerken nach ihrer Entstehung, die entweder spontan (durch Umfeldparameter oder gemeinsame Interessen) oder geplant bzw. gesteuert durch einen Akteur erfolgen kann, und nach der Phase des Industrie-/ Technologielebenszyklus in der sie sich befinden, sodass sie sechs Innovationsnetzwerktypen ableiten. Vgl. SCHÖN/PYKA 2012

725 Vgl. zur Dimensionalität und Typisierung von Kooperation übergreifend HENSEL 2007, Seite 30 ff. und MICHEL 2009, Seite 20 f., die an Stelle von Dimensionen von Formen der Zusammenarbeit sprechen.

726 Auf das Konfliktpotenzial im Falle divergierender Ziele verweisen auch TIDD et al. 2002, Seite 170.

727 Unternehmen kooperieren v. a. in F&E. Vgl. ANDERSON et al. 2002, Seite 53 sowie Seite 62 f.

728 Innovationsnetzwerke sind soziale Systeme, die auf Invention und Innovation ausgerichtet sind. Vgl. BORCHERT et al. 2004, Seite 7. Ihre Akteure sind aufgrund quantitativ wie qualitativ heterogener Vernetzung unterschiedlich in den kooperativen Lernprozess eingebunden. Vgl. PYKA/BUCHMANN 2012, Seite 25. Sie werden u. a. als Innovationssysteme modelliert, die sich durch Nähe unter den Akteuren (Proximity) räumlich-geografisch, sektoral oder technologisch abgrenzen, wobei Lernprozesse und Institutionen wesentliche Rollen spielen. Vgl. zu Innovationssystemen beispielhaft NELSON 1993 und EDQUIST 1997 sowie FREEMAN/SOETE 1997 und MALERBA 2004 sowie ASHEIM/COENEN 2005 und COOKE et al. 2007 sowie MARKARD/TRUFFER 2008 und BLÄTTEL-MINK/EBNER 2009 sowie LUNDVALL 2010

729 Vgl. DODGSON 1993, Seite 13

ist.[730] Bei Kooperationen innerhalb einer Wertschöpfungskette wird überdies zwischen vertikaler Zusammenarbeit zwischen Partnern verschiedener Wertschöpfungsstufen und horizontaler Zusammenarbeit unter Partnern derselben Stufe (Wettbewerbern) unterschieden.[731] Auch der **zeitliche Horizont** von Kooperation bildet eine Dimension, deren Ausgestaltung von der erforderlichen Zeit zum gemeinsamen Aufbau eines Wettbewerbsvorteils oder dem angestrebten Zeitraum gemeinsamer Vorteilsnutzung abhängt.[732] Grundsätzlich ist dabei zwischen befristeter und unbefristeter Zusammenarbeit zu unterscheiden. Während kurzfristige bzw. Ad-hoc-Kooperation meist nach Erreichen eines gemeinsamen Zieles endet, arbeiten Partner im Rahmen strategischer Kooperation meist unbefristet zusammen.[733] Eine weitere Dimension von Kooperation stellt der **Formalitätsgrad** dar, bei dem im Wesentlichen zwischen formeller, d. h. vertraglich fixierter, und informeller, d. h. rein werte- und normenbasierter, Zusammenarbeit zu differenzieren ist.[734] Mit steigendem Unsicherheitsgrad tendieren Unternehmen aufgrund höherer Rechtssicherheit eher zu formellen Vereinbarungen. Auch die **Symmetrie** hinsichtlich Information, Abhängigkeit und Machtverhältnissen zwischen den Partnern konstituiert eine Dimension von Kooperation.[735] Aufgrund der aus Asymmetrien resultierenden Risiken wird auf diesen Aspekt in Abschnitt 2.3.4 näher eingegangen. Eine weitere Dimension von Kooperation ist die **Anzahl beteiligter Akteure**, wobei im Falle einer Zusammenarbeit zweier eine bilaterale Partnerschaft und bei Kooperation von mehr als zweien ein multilaterales Netzwerk vorliegt. Abschließend bildet auch die **räumliche Ausdehnung** von Kooperation eine Dimension, die üblicherweise in regional, national und international kategorisiert wird.[736] Wesentlich sind dabei die Unterscheidung der Verteilung der kooperierenden Akteure einerseits und der von der Zusammenarbeit betroffenen Orte andererseits.[737] Diese Dimension eröffnet den Zugang zu zahlreichen Aspekten von Heterogenität wie z. B. Kultur und Sprache, die wiederum Kooperationsmuster beeinflussen.[738]

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Kombinatorik unterschiedlicher Ausprägungen dieser Dimensionen von Kooperation zu zahlreichen Kooperationsformen führt. Für einige

---

730 Vgl. DODGSON 1994, Seite 285 und BODE/ALIG 2011, Seite 9 und LUNDVALL/BORRÁS 2005, Seite 612 sowie PETZINNA 2007, Seite 99 ff.

731 Eine aktuelle Befragung von 141 kleinen und mittleren Unternehmen unterschiedlicher Branchen in Deutschland zeigt, dass sich ca. 90 % der Unternehmen im Innovationsprozess kooperieren. Von den Befragten arbeiten 61 % horizontal, 55 % vertikal und 43 % (universitär) bzw. 53 % (außeruniversitär) lateral mit Forschungseinrichtungen zusammen. Vgl. DLR 2013, Seite 15. Für eine empirische Untersuchung der Kooperationsrichtungen auf unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen der Automobilindustrie vgl. LANGE 2011, Seite 15 f.

732 Vgl. ETTER 2003, Seite 47

733 Vgl. BODE/ALIG 2011, Seite 10

734 Vgl. FREITAS et al. 2011, Seite 120 f. und PYKA 2011, Seite 3 sowie DODGSON 1993, Seite 12 f. und COOMBS et al. 1996, Seite 2

735 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 67 f.

736 Vgl. DODGSON 1993, Seite 13

737 Vgl. ETTER 2003, Seite 49

738 Vgl. DACHS et al. 2004, Seite 3

dieser Kombinationen existieren spezielle Fachtermini, wie bspw. *Joint Venture* oder *Lizenzabkommen*.[739]

2.3.4 Chancen technologischer Kooperation

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit Motiven für technologische Kooperation bzw. den Chancen, die Akteure mittels dieser Koordinationsform zu realisieren suchen. Kooperatives Engagement bedingt dabei auch die Akzeptanz einer Interaktionsstruktur, sodass sich Motive kooperativen Verhaltens und des Engagements in Netzwerken und Partnerschaften zumeist entsprechen.[740] Aufbauend auf der allgemeinen Definition von Kooperation aus Abschnitt 2.3.1 investieren im Rahmen technologischer Kooperation mindestens zwei selbstständige Partner ihre Ressourcen bzw. Fähigkeiten in einen kooperativen Lernprozess, mit dem Ziel einer synergetischen Erschließung neuer technologischer Möglichkeiten.[741] Von der Zusammenarbeit versprechen sie sich ein effizienteres technologisches Lernen und Innovieren, als von alternativer Koordination. Die Motive technologischer Kooperation richten sich dabei auf das Verhalten der Akteure[742] (Absatz 2.3.4.1), den Innovationsprozess[743] (Absatz 2.3.4.2) sowie die Eigenschaften technologischen Wissens und Lernens (Absatz 2.3.4.3).[744] Kernbereiche technologischer Kooperation sind demnach Forschung- und Entwicklung.[745] Eine Übersicht der im Folgenden erörterten Chancen technologischer Kooperation bietet Tab. 2-1.

---

739 Für eine Übersicht zu Kooperationsformen vgl. MOWERY et al. 1996, Seite 80 sowie TIDD et al. 2002, Seite 170 ff.

740 Wie in Abschnitt 2.3.2 dargestellt sind auch Aktivitäten in Netzwerken ohne kooperatives Element möglich, wobei es sich wie in Abschnitt 2.3.1 aufgezeigt um Betrug handeln kann. Für eine Unterscheidung anreiz- und wissensorientierter Motive des Engagements in Innovationsnetzwerken vgl. PYKA 2002, Seite 159 f.

741 Kooperationsmotive, die weder den Innovationsprozess betreffen noch technologischen Charakter aufweisen sind nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Dennoch sollen wesentliche Motive dieser Art hier genannt werden: Zugang zu Beschaffungsmärkten mit günstigeren Einkaufspreisen (Internationalisierung), Realisierung von Skalen-, Verbund- und Lerneffekten in Beschaffung und Produktion, Auslastung von Kapazitäten, Reduktion von Logistikkosten, Verbesserung von Status und Image mittels Marketing und Vertrieb, Überwindung von Handelsbarrieren (Internationalisierung), Zugang zu Absatzmärkten mit höheren Verkaufspreisen (Internationalisierung), Reduktion von Wettbewerbsintensität bzw. Steigerung eigener Wettbewerbsfähigkeit, Ausschluss von Wettbewerbern, Bindung von Partnern als Alternative oder Vorstufe zu einer Fusion, Beobachtung des Unternehmensumfeldes hinsichtlich Chancen und Risiken, erhöhte Agilität im Rahmen globaler industrieller Strukturdynamik. Vgl. NOOTEBOOM 2004, Seite 36 ff., TIDD et al. 2002, Seite 167, LANGE 2011, Seite 20 f., CONTRACTOR 1986, Seite 76, HAGEDOORN 1993, Seite 373 f., ZAHN/HÜLSMANN 2007, Seite 114 ff., MÖLLERING 2010, Seite 12, DODGSON 1994, Seite 286, COOMBS et al. 1996, Seite 2 und DODGSON 1993, Seite 33, Seite 36 und Seite 38 f. sowie KEIJZER 2007, Seite 11 und BECKER 2007, Seite 129 f.

742 Vgl. Absatz 2.2.3.1

743 Vgl. Abschnitt 2.2.1

744 Vgl. Absatz 2.2.3.2

745 An dieser Stelle soll angemerkt werden, dass die Neoklassik kein Verständnis technologischer Kooperationen mit dem Ziel gegenseitigen Lernens bietet, da Wissen hier als öffentliches Gut und die Akteure als uneingeschränkt-rational-optimierend verstanden werden.

Verhaltensbezogen	Innovationsprozessbezogen	Wissens- und lernbezogen
Reduktion von Opportunismus	Zugang zu Ressourcen	Verbesserung technologischen Lernens
Weiterentwicklung von Routinen	Reduktion der Kosten	Umgang mit der Tacitness technologischen Wissens
-	Steigerung der Geschwindigkeit	Umgang mit der Lokalität technologischen Wissens
-	Erhöhung der Flexibilität	Umgang mit der Komplexität technologischen Wissens
-	Intensivierung externer Vernetzung	Umgang mit technologischer Unsicherheit
-	Steigerung der Qualität	Verbesserung technologischer Transparenz
-	Etablierung technischer Standards	Internalisierung eigener technologischer Externalitäten

Tab. 2-1: Chancen technologischer Kooperation[746]

2.3.4.1 Verhaltensbezogene Chancen technologischer Kooperation

Entgegen Schumpeters Auffassung des Innovators als Einzelperson bzw. *Entrepreneur* oder Unternehmung bzw. Forschungs- und Entwicklungseinrichtung entstehen technische Innovationen heute zunehmend in systemintegrierten Netzwerken unter Beteiligung zahlreicher Unternehmungen.[747] Innerhalb dieses vernetzten Innovationsprozesses nehmen Koordination und Verhalten der Akteure eine Schlüsselrolle ein. Vertrauensbasierte Kooperation bietet in diesem Kontext einerseits die Chance zur Reduktion von Opportunismus, andererseits zur Weiterentwicklung von Routinen.

Reduktion von Opportunismus

Opportunistisches Verhalten ist Bestandteil der menschlichen Natur, wobei Menschen bzw. von ihnen geprägte Unternehmungen ihre Interessen auch gegen bestehende Vereinbarungen und zu Lasten anderer durchzusetzen suchen.[748] Diese Neigung zu Opportunismus kann durch gegenseitiges Vertrauen unter Partnern maßgeblich reduziert werden.[749] Eine solche Basis von Vertrauen und sozialer Kohäsion entwickelt sich zwischen Unternehmungen v. a. in kooperativen Verhältnissen, von denen sich die Partner auch in Zukunft Vorteile durch synergetische Zielerreichung erwarten. Es entsteht eine vertrauensbasierte Kooperationskultur die Unsicherheit bzgl. des Verhaltens der Partner vermindert und Machtungleichgewichte in den

[746] Eigene Darstellung
[747] Vgl. Absatz 2.2.1.3
[748] Vgl. CHESNAIS 1996, Seite 26. Vgl. auch die evolutionsbiologische Sichtweise in Abschnitt 2.3.1
[749] Vgl. MANGEMATIN 1996, Seite 137 sowie DODGSON 1996, Seite 60

Hintergrund drängt.[750] Interorganisationales Vertrauen reduziert somit soziale Komplexität, wodurch die Beziehung der Partner eine andere Qualität erhält.[751] Die besondere Rolle derartiger Beziehungen in Kooperationen wird in der relationalen Sicht der Unternehmung (*relational view*) betont, nach welcher der Erfolg einer Unternehmung von ihren externen Beziehungen abhängt.[752] Der Aufbau dieses *relationalen Kapitals* reduziert dabei die Wahrscheinlichkeit opportunistischen Verhaltens.[753] Auch die Prinzipal-Agenten-Theorie zielt auf die Vermeidung von Opportunismus, der durch Informationsasymmetrien zwischen Prinzipal und Agent ausgelöst wird. Neben dem Aufbau von Vertrauen werden hier zur Vermeidung von Misstrauen und Opportunismus Informations-, Kontroll- und Anreizsysteme vorgeschlagen, die allerdings zusätzliche Kosten (*agency costs*) verursachen.[754]

Weiterentwicklung von Routinen

Eine kooperative Zusammenarbeit zwischen heterogenen Partnern konfrontiert mit alternativen Routinen. Dies kann die Identifikation dysfunktionaler Routinen ermöglichen, blinde Flecken aufdecken und Anstoß zur Weiterentwicklung eigener Heuristik liefern.[755] Bisher als zufriedenstellend wahrgenommene Resultate werden als verbesserungsfähig identifiziert, das eigene Aspirationsniveau verschiebt sich. Dieser Effekt wirkt sich auch auf das Such- und Experimentierverhalten im Innovationsprozess aus, sodass bspw. bei Exploration und Exploitation differenzierte Verhaltensweisen eingesetzt werden. Kooperationspartner können ihre Routinen sowohl objektbezogen hinsichtlich alternativer Suchfelder und -heuristik, als auch prozessbezogen hinsichtlich ihres kooperativen Verhaltens selbst weiterentwickeln.[756]

2.3.4.2 Innovationsprozessbezogene Chancen technologischer Kooperation

Neben verhaltensbezogenen Motiven für technologische Kooperation im Innovationsprozess spielen vor dem Hintergrund von Innovation als systemintegriertem Netzwerkprozess auch prozessbezogene Chancen eine wesentliche Rolle.[757] Vertrauensbasierte Kooperation bietet in diesem Kontext die Möglichkeit verbesserten Zugangs zu Prozessinputs, reduzierten Prozesskosten und -zeiten, gesteigerter Vernetzung und Flexibilität im Prozessverlauf sowie erhöhter Qualität des Outputs.

---

750 Vgl. SCHONERT 2008, Seite 96

751 Vgl. LUHMANN 2000, Seite 27 ff. Hierbei ist zu betonen, dass es sich bei Vertrauen und Macht um soziale Mechanismen handelt, die in sozialen Handlungssituationen Komplexität reduzieren. Vgl. SCHONERT 2008, Seite 149. Beide Mechanismen ergänzen sich innerhalb von Kooperationen komplementär und bilden somit keine Gegensätze. Vgl. BACHMANN/LANE 2010, Seite 78 sowie Seite 85 ff.

752 Vgl. DYER/SINGH 1998

753 Vgl. KALE et al. 2000, Seite 218

754 Vgl. SCHONERT 2008, Seite 167

755 Vgl. TEECE/PISANO 1994, Seite 545 und zum Management von Routinen TEECE et al. 1997, Seite 509 ff.

756 Vgl. PYKA 1999, Seite 138

757 Vgl. Absatz 2.2.1.3

Zugang zu Ressourcen

Kooperationen bieten die Chance auf einen verbesserten Zugang zu Ressourcen.[758] Dies bezieht sich sowohl auf die Ressourcen des jeweiligen Partners als auch auf solche außerhalb der Kooperationsgrenzen. Aus Sicht einer einzelnen Unternehmung kann kooperatives Verhalten somit einen Zugang zu externen, strategisch wichtigen Ressourcen eröffnen.[759] Diese können entweder individuell-spezifischen Charakter zur komplementären Ergänzung eigener Ressourcen aufweisen, oder ähnlich bzw. identisch zu eigenen sein, sodass eine Bündelung bzw. ein Mengeneffekt erzielt wird.[760] Diese Perspektive entspricht der ressourcenbasierten Sicht der Unternehmung (*ressource based view*), die Wettbewerbsvorteile als Resultat (komparativ) superiorer Ressourcen interpretiert.[761] So kann bspw. ein Innovationsvorhaben gemeinsam verfolgt werden, das ein Akteur alleine, mangels Ressourcen, nicht realisieren könnte.[762] Dabei kann es sich um unterschiedliche Arten von Ressourcen und Kombinationszielen handeln. Im Fall technologischen Wissens liegt der synergetische Schwerpunkt auf der technologischen Komplementarität der Ressourcen. Dies ist häufig auch bei Kooperationen zur Internationalisierung der Fall, innerhalb derer Unternehmen sich bspw. gegenseitig Kanäle für Beschaffung und Absatz zugänglich machen. Demgegenüber liegt bei der Kombination finanziellen Kapitals die Bündelung einer homogenen Ressource mit dem Ziel der Überwindung eines Engpasses vor.[763] Kooperation kann auch Zugang zu kooperationsexternen Ressourcen wie z. B. öffentlichen Subventionen bieten, wobei die Kooperationsneigung gezielt politisch gefördert wird.[764] Abschließend soll angemerkt werden, dass Unternehmen in langfristigen Kooperationen Ressourcenvorteile aufbauen können, die beziehungsspezifisch und unteilbar sind, sodass eine Trennung unter Aufrechterhaltung der Ressourcenvorteile in diesem Fall nicht möglich ist.[765]

Reduktion der Kosten

Technologische Kooperation bietet Potenzial zur Reduktion und Verlagerung der steigenden Kosten des Innovationsprozesses.[766] Hierzu ist auch die Vermeidung bzw. Minderung finan-

[758] Vgl. ZOBOLSKI 2008, Seite 263 ff.
[759] Vgl. SCHONERT 2008, Seite 90 sowie Seite 103
[760] Im Netzwerk gebündelte Ressourcen und Kompetenzen erweitern den Handlungsspielraum. Vgl. ZAHN/HÜLSMANN 2007, Seite 115
[761] Vgl. SCHÖN 2013, Seite 71 ff.
[762] Vgl. BORCHERT et al. 2004, Seite 14
[763] Vgl. BIEBER 2010, Seite 128 ff.
[764] Vgl. DACHS et al. 2004, Seite 4 f. sowie DODGSON 1993, Seite 36 ff.
[765] Vgl. ZOBOLSKI 2008, Seite 274
[766] Vgl. COOMBS et al. 1996, Seite 2 sowie RAHMEYER 2007, Seite 173 und TIDD et al. 2002, Seite 167

zieller Risiken zu rechnen.[767] Mittels technologischer Kooperation streben Unternehmungen sowohl nach einer Verteilung des finanziellen Aufwands, als auch nach der Erschließung finanzieller Synergieeffekte, bspw. durch gemeinsame Infrastrukturen wie Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen.[768] Kooperatives Engagement in Innovationsprozessen bietet in diesem Zusammenhang auch verbesserte Chancen zur Erschließung von Verbundeffekten.[769] Dabei können mehrere Innovationsvorhaben voneinander profitieren und die Partner die gewonnenen Erkenntnisse zur Erzeugung oder Verbesserung unterschiedlicher Produkte nutzen.[770] Technologische Kooperation eröffnet Partnern überdies die Möglichkeit zur Ausweitung bzw. Intensivierung von Lernkurveneffekten bezogen auf den Innovationsprozess selbst, da im Kooperationsverbund (im Vergleich zu alleinigem Vorgehen) sowohl Anzahl und Umfang der Innovationsvorhaben ausgeweitet als auch voneinander gelernt werden kann.[771] Im Ergebnis verbessern die Partner so Ihre Fähigkeit zur Durchführung von Innovationsprozessen. Durch Spezialisierung der Partner auf ihre komparativen Vorteile im Kooperationsverbund können zudem Skalenvorteile im Innovationsprozess entstehen.[772] Dieses, vorwiegend von steigenden Kosten in F&E getriebene, Motiv erhöht die Kooperationsneigung besonders in Hochtechnologiebereichen.[773] Speziell in F&E-intensiven Sektoren zeigt sich außerdem, dass Umfang und Beständigkeit von Forschungs- und Entwicklungsausgaben mit einer erhöhten Bereitschaft zu kooperativem Engagement korrelieren.[774] Eine rein kostenzentrierte Perspektive findet sich in der Transaktionskostentheorie, die auf die Minimierung der Koordinationskosten fokussiert.[775] Bezogen auf technologische Kooperation resultieren diese aus der Spezifität technologischer Anstrengungen, technologischer Unsicherheit sowie der Frequenz kooperativer Akte.[776] Diese statische Sichtweise der Transaktionskostentheorie vernachlässigt

---

767 Vgl. CONTRACTOR 1986, Seite 76. Der Autor nennt u. a. die Reduktion von Investitionsvolumen und Fixkosten sowie eine schnellere Amortisation.

768 Vgl. SCHONERT 2008, Seite 104

769 Das Modell der Verbundeffekte bezeichnet im Allgemeinen im Produktionsumfeld den Effekt, dass die Summe der Kosten einer kombinierten bzw. gemeinsamen Herstellung mehrerer Produkte geringer ausfällt als bei unabhängiger bzw. isolierter Produktion. Die Übertragung dieses Prinzips auf Innovationsprozesse lässt neben der Kostenorientierung v. a. die technologische Argumentation in den Vordergrund rücken.

770 Vgl. LEVEQUE et al. 1996, Seite 190

771 Das Modell des Lernkurveneffektes bezieht sich im Allgemeinen auf Produktionsprozesse und wird demnach als Stückkostensenkung als Effekt steigender Ausbringungsmenge argumentiert. Da demgegenüber in Innovationsprozessen die Technologieorientierung dominiert, spielt hier die Beherrschung des Innovationsprozesses als systemintegriertes Netzwerk eine wesentliche Rolle. Beispielhaft können dazu die hochentwickelten Innovationprozesse der Automobilhersteller genannt werden, die den Unternehmungen die Entwicklung immer komplexerer Fahrzeuge in kürzerer Zeit ermöglichen.

772 Vgl. CONTRACTOR 1986, Seite 76 sowie KLEPPER 1997, Seite 149 und LEVEQUE et al. 1996, Seite 190

773 Vgl. HAGEDOORN/SCHAKENRAAD 1990a, Seite 175 sowie HAGEDOORN/SCHAKENRAAD 1990b, Seite 31 und DODGSON 1993, Seite 27

774 Vgl. DACHS et al. 2004, Seite 4

775 Vgl. COASE 1937, Seite 386 ff. sowie WILLIAMSON 1985, Seite 1 ff.

776 Vgl. HAGEDOORN/SCHAKENRAAD 1990a, Seite 172 f.

allerdings sowohl den ideenschaffenden Charakter technologischer Komplementaritäten in Kooperationen,[777] als auch den dynamischen Aspekt technologischer Kooperation im Innovationsprozess.[778]

Steigerung der Geschwindigkeit

Technologische Kooperation bietet die Chance, die Geschwindigkeit in der Innovationsphase, d. h. von der technologischen Erkenntnis (Invention) bis zur Markteinführung (Innovation), zu erhöhen.[779] Die so erzielbare Verkürzung der *time to market* ist vor dem Hintergrund der Dynamisierung technischer Entwicklung ein kritischer Erfolgsfaktor für Unternehmungen.[780] Ursachen dieses Zeitwettbewerbs sind kürzere Technologiezyklen aufgrund beschleunigten technologischen Erkenntnisgewinns,[781] sowie höhere Wettbewerbsintensität bei verkürzten Innovations- und Produktlebenszyklen.[782] Diese Dynamisierung wird ferner durch die Entwicklung neuer, integrativer Organisations- und Prozessstrukturen innerhalb eines mehr und mehr systemintegrierten Netzwerkprozesses von Innovation unterstützt.[783] Die Etablierung von Kooperationen ist eine vielversprechende Strategie, um mit dieser Entwicklung Schritt zu halten.[784] So kann eine Beschleunigung bspw. mittels komplementärer Aufgabenteilung oder kooperativen Lernens in F&E erfolgen.[785] Die erhöhte Geschwindigkeit kooperativer F&E erhöht zudem auch die Chance auf den Gewinn von Wettläufen um Patente.

Erhöhung der Flexibilität

Flexibilität bzw. Agilität befähigt zu schnellerer Reaktion auf Veränderungen. Im Innovationsprozess spielt diese organisationale Eigenschaft ebenso wie die Geschwindigkeit eine immer bedeutendere Rolle. Ursachen dafür sind die immense Komplexität,[786] Dynamik und Unsicherheit des vernetzten Innovationsprozesses in Kombination mit den Eigenschaften technologischen Wissens. In diesem Kontext ist es für Unternehmungen von existenzieller Bedeutung, sich trotz fokussierter Verfolgung vielversprechender Technologien ein Flexibilitätsniveau zu erhalten, das, abhängig von Markt- und Umfelddynamik, (technologische) Kursanpassungen ermöglicht. Diese Agilität kann mittels Kooperation erzielt werden, da ein Kooperationsverbund die flexible Rekonfigurations- bzw. Anpassungsfähigkeit des (technologi-

777 Vgl. PYKA 2002, Seite 154 und Seite 156 sowie die folgenden Absätze
778 Vgl. NOOTEBOOM 1992, Seite 281
779 Vgl. HAGEDOORN/SCHAKENRAAD 1990a, Seite 175 und HAGEDOORN/SCHAKENRAAD 1990b, Seite 31 sowie TIDD et al. 2002, Seite 167
780 Vgl. SIEBERT 2010, Seite 19. Dodgson spricht von *Speed to market*. Vgl. DODGSON 1993, Seite 29 f.
781 Vgl. HEINZ 2005, Seite 81 ff. und DACHS et al. 2004, Seite 2
782 Vgl. NOOTEBOOM 1999, Seite 48 und DACHS et al. 2004, Seite 2
783 Vgl. HEINZ 2005, Seite 81 ff.
784 Vgl. NARULA/ZANFEI 2005, Seite 335
785 Vgl. ETTER 2003, Seite 53
786 Vgl. DODGSON 1994, Seite 286

schen) Kompetenzsets durch Hinzunahme bzw. Austausch von Partnern ermöglicht.[787] Diejenigen Unternehmen, die ihre komplementären Ressourcen und Kompetenzen in den Kooperationsverbund einbringen, eröffnen sich demnach die Chance zur Partizipation an dieser Flexibilität.[788] V. a. große Unternehmen können so ihre Flexibilität auf ein Niveau steigern, das sonst eher kleinen und mittleren Unternehmen vorbehalten ist.[789] Abschließend soll erwähnt werden, dass Flexibilitätsvorteile ebenso wie Zeitvorteile v. a. aus paralleler bzw. zeitlich überlappender Wertschöpfung resultieren, die besonders im kooperativen Zusammenspiel in Netzwerken erzielt werden können.[790]

Intensivierung externer Vernetzung

Technologische Kooperation im Innovationsprozess bietet Akteuren die Möglichkeit zum Aufbau eines Netzwerks technologischer Zusammenarbeit, das wiederum die Erschließung von Verbundpotenzialen ermöglicht. Dieser Aspekt gewinnt besonders im Rahmen eines vernetzt-systemintegrierten Innovationsprozesses an Relevanz.[791] Die relationale Sicht der Unternehmung (*relational view*) betont die interorganisationalen Beziehungen von Unternehmungen zu anderen Unternehmungen und Institutionen als Quelle von Wettbewerbsvorteilen.[792] Kooperation ermöglicht bspw. engere vertikale Beziehungen, wobei u. a. gemeinsame F&E-Strategien etabliert werden, um das innovative Potenzial der Lieferanten in das Endprodukt einzubringen (*customer-supplier link*).[793] Große Unternehmungen, die sich durch ihre eigenen F&E-Labors im Allgemeinen eher kooperativ engagieren,[794] können sich mittels Kooperation Kompetenzen, Flexibilität und Geschwindigkeit spezialisierter, kleiner Unternehmungen zugänglich machen (*large-small firm link*).[795] Überdies ermöglicht Kooperation die Integration der Kompetenzen wissenschaftlicher Einrichtungen wie Universitäten und Forschungsinstituten (*firm-science link*) sowie die Zusammenarbeit mit Wettbewerbern (*competitor link*). Die genannten Verbindungen können zudem wesentliche Rollen im Rahmen von Internationalisierung sowie der Identifikation von Partnern zur Teilnahme an öffentlich geför-

---

787 Vgl. NOOTEBOOM 2004, Seite 43 und ZOBOLSKI 2008, Seite 261 sowie MANGEMATIN 1996, Seite 157

788 Vgl. ZAHN/HÜLSMANN 2007, Seite 115

789 Vgl. NARULA 2004, Seite 153 und DODGSON 1993, Seite 32. Für eine umfassende Darstellung der Vor- und Nachteile kleiner und mittlerer Unternehmungen im Innovationsprozess vgl. ROTHWELL/DODGSON 1994, Seite 311 f.

790 Vgl. SCHONERT 2008, Seite 105

791 Vgl. DODGSON 1993, Seite 25 f.

792 Vgl. DYER/SINGH 1998. Die Autoren betonten innerhalb ihres Konzeptes vier Kernparameter: (1) beziehungsspezifisches Kapital, (2) Routinen zum Austausch von Wissen, (3) Komplementäre Ressourcen und Fähigkeiten sowie (4) effektive Führung und Steuerung.

793 Vgl. DODGSON 1993, Seite 32

794 Vgl. DACHS et al. 2004, Seite 3 f.

795 Vgl. DODGSON 1993, Seite 32 f.

derten F&E-Projekten spielen.[796] Das synergetische Potenzial eines kooperativen Beziehungsnetzwerkes wird außerdem durch die Möglichkeit des Einsatzes interorganisational vernetzter Informations- und Kommunikationstechnologie erweitert, wodurch sich Effektivität und Effizienz im Verbund nochmals steigern lassen.[797]

Steigerung der Qualität

Technologische Kooperation ermöglicht die Erschließung von Qualitätsvorteilen, auch im Innovationsprozess.[798] Dieser Effekt bezieht sich sowohl auf die Prozessqualität selbst, als auch auf die erzeugte Innovation, sodass er im Qualitätswettbewerb gesättigter Märkte verstärkt an Bedeutung gewinnt. Kooperatives Verhalten bietet die Möglichkeit vertrauensbasiert engerer Zusammenarbeit spezialisierter Akteure zur Kombination qualitativ hochwertiger Teile und Leistungen zu, im Vergleich zu alternativen Koordinationsformen, hochwertigeren Produkten bei höherer Qualitätssicherheit.[799] Eine besondere Rolle spielt in diesem Kontext die intensivere Vernetzung durch Informations- und Kommunikationstechnologien, die Datenqualität und -aktualität nachweislich steigern und den Partnern somit erhöhte Transparenz innerhalb des systemintegrierten Netzwerkprozesses zur Erzeugung von Innovation gewähren.[800] Da diese unmittelbar (bzw. zum Teil in Echtzeit) zur Verfügung steht, steigert sie das Vertrauen innerhalb des Kooperationsverbunds weiter und bildet damit eine Grundlage zur gemeinsamen Verfolgung eines übergreifenden Qualitätsansatzes (*total quality management*). In fortgeschrittener Ausprägung kann dieser Qualitätspotenziale in Prozessen und Produkten über das gesamte Wertschöpfungsnetz erschließen.[801]

Etablierung technischer Standards

Kooperation eröffnet Partnern die Möglichkeit zur Beeinflussung technischer Entwicklung und Marktstruktur durch Etablierung technischer Standards.[802] Standards sind Regeln zur Lösung wiederholt auftretender Probleme und beziehen sich v. a. auf Beschaffenheit, Leistung und Kompatibilität von Erzeugnissen und Abläufen.[803] Wesentliche Funktionen technischer

---

796 Exportorientierte bzw. international aufgestellte Unternehmungen zeigen eine stärkere Kooperationsneigung in F&E, weil ihr Erfolg stark von Ihrer internationalen, technologischen Wettbewerbsfähigkeit abhängt. Vgl. KANG/SAKAI 2000, Seite 31 ff. sowie DACHS et al. 2004, Seite 3 f.

797 Vgl. DODGSON 1993, Seite, Seite 28. Die Informations- und Kommunikationstechnologie wird aus diesem Grund von Freeman als die Netzwerktechnologie schlechthin bezeichnet. Vgl. FREEMAN 1991, Seite 509.

798 Vgl. DODGSON 1993, Seite 89 und ZOBOLSKI 2008, Seite 261 sowie NOOTEBOOM 2004, Seite 177 sowie Seite 182

799 Vgl. SIEBERT 2010, Seite 19 ff.

800 Vgl. HEINZ 2005, Seite 84

801 Vgl. PICOT et al. 2001, Seite 232

802 Vgl. DODGSON 1993, Seite 30 und Seite 77 ff. sowie DODGSON 1994, Seite 286 f. und NOOTEBOOM 2004, Seite 44

803 Vgl. zu Standards und Standardisierung tiefergehend BLIND 2004 sowie SWANN 2010

Standards sind die Reduktion von Transaktionskosten durch verbesserte Wahrnehmung technischer Eigenschaften durch Käufer, die Vermeidung der Fragmentierung von Märkten, die Steigerung der Sicherheit, das Erzeugen von Kompatibilität an Systemschnittstellen und die Erzeugung von Einsparungen auf Seiten der Hersteller durch Vereinheitlichung von Produktdesign, Produktion, Handhabung und Service.[804] Standards wirken sich demnach direkt auf Kapitalintensität, Kosten, Preise, Stückzahlen, Gewinne, Wettbewerbsintensität und Markteintrittsbarrieren aus.[805] Darüber hinaus erwirken sie einen fokussierenden Effekt, bilden Leitplanken technischer Entwicklung und stellen (in schriftlicher Form) kodifiziertes Wissen dar. Freiwillige Standards werden durch die Industrie selbst (kooperativ) hervorgebracht, verpflichtende durch Autoritäten als obligatorisch vorgegeben.[806] Grundlage für eine kooperative Etablierung technischer Standards ist die durch Zusammenarbeit gebündelte Marktmacht der Akteure. Eine defensive Kooperation liegt vor, wenn die Partner v. a. den Wettbewerb untereinander zu reduzieren suchen.[807] Offensive Kooperationen zielen v. a. auf die Reduktion des Marktanteils bzw. die Steigerung der Kosten Dritter ab. Im Rahmen des Innovationsprozesses bildet die Etablierung kostenreduzierender und diffusionsfördernder technischer Standards einen wesentlichen Schwerpunkt.[808] Schaffung und Verbreitung dieser Standards weisen häufig kooperativen Charakter auf und verfolgen überdies die Zielsetzung der Reduktion von Unsicherheit durch Einführung austauschbarer bzw. kompatibler Produkte und Schnittstellen.[809] Speziell in technologisch diskontinuierlichen Phasen bietet Standardisierung die Chance proaktiver Gestaltung des künftigen Wettbewerbsrahmens, da das Aufkommen eines neuen technologischen Paradigmas bisherige Standards oftmals obsolet macht und den Abstimmungsbedarf unter den Herstellern deutlich steigert.[810] Kooperative Standardisierung fördert dabei den (technologischen) Austausch zwischen Akteuren, erzeugt gegenseitiges Verständnis und Vertrauen, reduziert im Verhältnis zu alleinigem Vorgehen den Unsicherheitsgrad, verbessert technologisches Lernen und vereinfacht die Implementierung. Auf internationaler Ebene bietet kooperative Standardisierung zudem verbesserte Möglichkeiten der Harmonisierung. Bei der Durchsetzung eines technischen Standards im Markt übernimmt ein Basisdesign die Rolle des dominanten Designs.[811] Konsequenzen sind sowohl technische Kompatibilität als auch Interdependenzen innerhalb der Industrie.[812] Kooperation ist in die-

---

804 Vgl. KINDLEBERGER 1983, Seite 378
805 Vgl. SCHMID-SCHÖNBEIN 2005, Seite 181 ff.
806 Vgl. REDDY/CORT 1989, Seite 14 und Seite 23. Die Autoren betonen am Beispiel der USA, dass ca. 80 % der technischen Standards freiwillig sind.
807 Vgl. CONTRACTOR 1986, Seite 76
808 Vgl. DODGSON 1993, Seite 30
809 Vgl. REDDY/CORT 1989, Seite 20 f.
810 Vgl. LUNDVALL 1988, Seite 355 sowie zur Relevanz einer Abstimmungsmöglichkeit ex ante in der technologischen Explorationsphase Absatz 2.3.6.2
811 Vgl. Absatz 2.2.3.4
812 Vgl. REDDY/CORT 1989, Seite 13

sem Kontext eine vielversprechende Strategie zur Durchsetzung eigener Technologien sowie resultierender Produktdesigns als technischer Standard.[813] Wird dieses Ziel erreicht, begünstigt der neue Standard die Entwicklung und Vermarktung von Produkten aus den entsprechenden Basistechnologien, woraus ein Wettbewerbsvorteil für die Urheber des Standards resultiert.[814] Bei der kooperativen Schaffung und Durchsetzung von Standards kommen meist Unterstützungssysteme zum Einsatz, so bspw. Konsortien.[815] Abschließend bleibt festzuhalten, dass kooperative Standardisierung die Überwindung pfadabhängig inferiorer Standards begünstigen kann und technologischem Fortschritt sowohl Impulse gibt, als auch eine Dynamik verleiht.

2.3.4.3 Wissens- und lernbezogene Chancen technologischer Kooperation

Neben verhaltensbezogenen und prozessbezogenen Chancen bietet technologische Kooperation v. a. lern- und wissensbezogene Potenziale. Die dabei eingenommene Perspektive kommt in der wissensbasierten Sicht der Unternehmung (*knowledge-based view*) zum Ausdruck, die in der neuen Innovationsökonomik betont wird.[816] Aspekte des Wissenserwerbs und der Schaffung neuer technologischer Möglichkeiten in einem Netzwerk von Rückkopplungen zwischen sowohl kompetitiven als auch kooperativen Akteuren stehen im Vordergrund.[817] Eine Dynamisierung dieser Perspektive bietet das Konzept **dynamischer Fähigkeiten** (*dynamic capability*), nach dem Unternehmen Wettbewerbsvorteile nicht nur aus ihrem Wissen und resultierenden Fähigkeiten erzeugen, sondern v. a. aus der Fähigkeit diese weiterzuentwickeln bzw. anzupassen.[818] Aufgrund der (technologischen) Dynamik des Umfeldes sind Unternehmen zur Aufrechterhaltung von Wettbewerbsvorteilen zu kontinuierlicher Weiterentwicklung ihrer Fähigkeiten gezwungen.[819] Technologische Kooperation ist eine vielversprechende Strategie für Aufbau und Erhaltung eben dieser Metafähigkeit der Dynamisierung organisationaler Kompetenzen, wobei die Fähigkeit zur Identifikation und Integration externen Wissens eine Schlüsselrolle einnimmt.[820] Das Konzept **unternehmensübergreifender Lerneffekte** (*cross-firm economy of learning* bzw. *external economy of cognitive scope***)** unterstreicht, dass Unternehmungen diese dynamische Effizienz mittels externer Orientierung und Partnerschaf-

---

813 Vgl. NOOTEBOOM 2004, Seite 44

814 Vgl. ZAHN/HÜLSMANN 2007, Seite 115. Der Autor führt beispielhaft die Durchsetzung des Video-Basisdesigns *Video Home System* (*VHS*) von Matsushita (bekannt als Panasonic) an, die mittels Lizenzvergabe an Wettbewerber zu einem Industriestandard wurde.

815 Vgl. NOOTEBOOM 2004, Seite 39 sowie beispielhaft SLOWAK 2012, Seite 30 ff.

816 Vgl. Absatz 2.2.3.2

817 Vgl. PYKA 1999, Seite 72

818 Vgl. TEECE/PISANO 1994, Seite 537 ff. sowie auch Absatz 2.2.3.2

819 Vgl. DACHS et al. 2004, Seite 2

820 Vgl. TRIPSAS 1997, Seite 344

ten erreichen können.[821] Ähnliche und komplementäre Wissensbausteine entwickeln sich in Interaktion, wobei c*ross-fertilization*-Effekte zwischen zuvor unverbundenen Wissensbereichen auftreten können.[822] Kooperation ermöglicht in diesem Rahmen die Überwindung der *Hürden des Lernens* mittels *Lernen durch Interaktion* (*learning by interaction*).[823] Diese dynamisch-wissensbasierte Sicht der Unternehmung als interaktiv-lernende Organisation bildet die Grundlage für die im Folgenden aufgeführten Motive technologischer Kooperation. Übergreifende Zielsetzung ist dabei die Identifikation und Erschließung technologischer Möglichkeiten durch Lernen bei effektivem wie effizientem Umgang mit den Eigenschaften von Innovation, Akteur sowie technologischem Wissen und Fortschritt.

Verbesserung technologischen Lernens

Technologische Kooperation bietet Partnern die Chance technologischen Lernens, wobei die Akteure von-, mit und übereinander lernen.[824] Diese Erschließung unternehmensexterner Wissensquellen ist wesentlicher Erfolgsfaktor des vernetzten Innovationsprozesses.[825] Das Wissen der Partner wird dabei sowohl in konkreten Produkten gemeinsam eingesetzt, als auch interorganisational transferiert und kombiniert.[826] Übergeordnete Zielsetzung ist die Erschließung technologischer Möglichkeiten für Produkte und Marktnischen.[827] Grundlage technologischer Kooperation ist die Bildung einer interorganisationalen Vertrauensbasis als Voraussetzung gegenseitigen Informations- und Wissensaustauschs. Kommt ein erster Know-how Transfer zu Stande, so unterstützt dieser die Bildung eines stabilen, kooperativen Milieus, von dessen Umfang und Qualität die Chance zur Entdeckung neuer technologischer Möglichkeiten abhängt.[828] Technologische Kooperation eröffnet den Akteuren somit ein vielversprechendes Sichtfenster auf Wissen und Kompetenzen der Partner.[829] Kooperatives technologisches Lernen spielt in Märkten und Sektoren mit stark ausgeprägten Aneignungsbedingungen

---

821 Vgl. NOOTEBOOM 1992, Seite 292 f. und NOOTEBOOM 1999, Seite 48 sowie NOOTEBOOM 2004, Seite 21. Der Autor stellt die ausschließlich interorganisational erschließbaren *cross-firm economies of learning* auf eine Ebene mit intraorganisational bzw. durch Bündelung erzielbaren *economies of scale, scope and learning*. Vgl. NOOTEBOOM 1992, Seite 292. Während erstgenannte durch Kooperation heterogener Akteure entstehen, liegt den letztgenannten eine rein kosten- und mengenbasierte Argumentation zu Grunde.

822 Vgl. NOOTEBOOM 1992, Seite 290 f. Der Autor definiert vier wesentliche Schritte im Vorfeld der Aufnahme von Wissen in den eigenen Wissensstock: (1) Erkennen relevanten Wissens (2) Generalisierung bzw. Erfassung der Bandbreite möglicher Einsatzfelder (3) Differenzierung bzgl. Anwendungsfeldern und Anpassungsbedarfen (4) Identifikation von Wechselwirkungen mit anderen Bereichen.

823 Der Autor führt als *Hürden des Lernens* folgende Aspekte an: Tacitness von Wissen, Verzögerungen im Lernprozess, Umfeld- und Verbundeigenschaften und Pfadabhängigkeit. Vgl. NOOTEBOOM 1992, Seite 292 sowie NOOTEBOOM 2000, Seite 69 ff.

824 Vgl. HAGEDOORN/SCHAKENRAAD 1990a, Seite 175 und MÖLLERING 2010, Seite 12

825 Vgl. DACHS et al. 2004, Seite 2

826 Vgl. PYKA 1999, Seite 75

827 Vgl. Absatz 2.2.3.2 und Absatz 2.2.3.5 sowie HAGEDOORN/SCHAKENRAAD 1990a, Seite 175

828 Vgl. PYKA 1999, Seite 78

829 Vgl. HAMEL et al. 1989, Seite 134. Eine aktuelle Analyse der deutschen Automobilindustrie zeigt, dass der Zugang zu Wissen das häufigste Motiv technologischer Kooperation ist. Vgl. LANGE 2011, Seite 23

bzw. geringen *Spillovern* eine Schlüsselrolle, wohingegen im gegenteiligen Fall *Spillover* eine wesentliche Quelle externen Wissens darstellen.[830] Überdies hängt die Neigung zu kooperativem technologischen Lernen maßgeblich von der F&E-Strategie einer Unternehmung ab, die sowohl Aufbau und Relevanz absorptiver Fähigkeiten,[831] als auch das Engagement in öffentlich geförderten Technologieprojekten beeinflusst.[832] Mit Bezug auf technologische Trajektorien lassen sich hinsichtlich kooperativen technologischen Lernens zwei grundsätzliche Stoßrichtungen unterscheiden. Einerseits bietet sich die Möglichkeit der Ausbeutung technologischer Möglichkeiten einer vorhandenen technologischen Trajektorie, andererseits die der Erkundung bzw. Erschließung technologischer Möglichkeiten außerhalb bisheriger technologischer Trajektorien.[833] Aufgrund der hohen Relevanz für diese Untersuchung wird darauf im Folgenden näher eingegangen.

Die limitierten technologischen Möglichkeiten einer technologischen Trajektorie werden als *intensiv* bezeichnet.[834] Ihre Ausbeutung, d. h. ihre intensive Exploitation, erfordert eine Fokussierung auf die jeweilige technologische Trajektorie, hat überwiegend inkrementellen Charakter und benötigt in ihrem Verlauf zunehmenden Aufwand. **Kooperative intensive Exploitation** bietet in diesem Zusammenhang die Chance zur Kombination und Weiterentwicklung des trajektoriespezifischen Wissens der Akteure.[835] Technologisches Lernen konzentriert sich in diesem Fall auf den verfolgten technologischen Pfad. Neben dem Effekt des *voneinander Lernens*, der auf den trajektoriebezogenen Komplementaritäten der Partner basiert, liegt der Schwerpunkt kooperativ intensiver Exploitation hier häufig auf dem *miteinander Lernen* entlang des technologischen Pfades unter der Vermeidung von Redundanzen sowie der Bündelung der Kräfte der Partner.

Extensive technologische Möglichkeiten hingegen erwachsen aus den Komplementaritäten verschiedener Technologien und erzeugen c*ross-fertilization*-Effekte.[836] Ihre Erkundung und Erschließung hat kooperativen, nichtlinearen und komplementären Charakter.[837] Sie erfordert einen experimentellen Suchprozess außerhalb bisheriger technologischer Trajektorien unter erhöhter Unsicherheit und Kombination zahlreicher Technologien, wobei resultierende Inno-

---

830 Vgl. PYKA 2002, Seite 155 f. sowie TIDD et al. 2002, Seite 181

831 Vgl. CANTNER/PYKA 1998, Seite 370

832 Vgl. DACHS et al. 2004, Seite 4

833 Vgl. NARULA/ZANFEI 2005, Seite 335

834 Vgl. COOMBS 1988, Seite 304 sowie Absatz 2.2.3.5

835 An dieser Stelle sei angemerkt, dass häufig selbst aus der schlichten Anwendung eigenen Wissens in der Kooperation, d. h. ohne die Zielsetzung kooperativen Lernens bzgl. des Wissens des Partners, ein Lerneffekt in Form einer Steigerung der Exakt- und Bewusstheit des eigenen technologischen Wissens resultiert.

836 Vgl. COOMBS 1988, Seite 304 sowie Absatz 2.2.3.5 . Hagedorn betont *cross-fertilization*-Effekte explizit als Zielsetzung Kooperativen Lernens. Vgl, HAGEDOORN 1993, Seite 372 f.

837 Vgl. KODAMA 1992, Seite 70 ff., der in diesem Zusammenhang von *technology fusion* spricht.

vationen häufig eher radikalen Charakter aufweisen.[838] **Kooperative extensive Exploration** bietet Partnern dabei die Chance, ihre in diesem Fall stärker ausgeprägten technologischen Komplementaritäten vertrauensbasiert zusammenzuführen.[839] Im Gegensatz zu kooperativ intensiver Exploitation liegt der Fokus technologischen Lernens hier demnach eher auf komplementärem gegenseitigem Lernen, wobei Wissen und Kompetenzen transferiert werden, deren alleiniger Aufbau aufwändiger wäre.[840] Zudem bezieht sich das technologische Lernen der Partner bei extensiver Exploration über die einzeltechnologischen Aspekte hinaus auch auf die *Charakteristik technologischer Kombinatorik*, sodass eine Parallele zum Konzept architektonischen Wissens entsteht.[841] Diese Kombinatorik erfordert allerdings über ein reines Zusammenbringen von Spezialisten komplementärer Fachgebiete hinaus, ein interdisziplinäres Grundverständnis und setzt somit komplementäres Lernen voraus. Die gegenseitige Erschließung des technologischen Wissens der Partner (*technology exchange*) eröffnet den Akteuren zudem Möglichkeiten technologischer Diversifikation.[842] Aufgrund der im Fall kooperativ extensiver Exploration erhöhten technologischen Heterogenität der Partner ist die Überbrückung der resultierenden **kognitiven Distanz** (*cognitive distance*) zwischen den Akteuren entscheidend.[843] Abb. 2-7 zeigt die erzielbare Lerneffizienz in Abhängigkeit von absorptiven Fähigkeiten, Innovationswert und kognitiver Distanz der Kooperationspartner.

Es wird deutlich, dass absorptive Fähigkeiten den Partnern die Möglichkeit eröffnen sich auch bei erhöhter kognitiver Distanz zu verstehen, d. h. diese zu überbrücken, und effizient voneinander zu lernen. Absorptive Fähigkeiten können mittels kooperativer Kommunikation und Interaktion in Kooperation (weiter-) entwickelt werden.[844] Interaktiv-kooperatives Lernen sowie *external economies of cognitive scope* werden so zur Grundlage der Dynamisierung organisationalen Wissens und damit wesentlicher Erfolgsfaktor langfristiger, unternehmerischer Wettbewerbsfähigkeit. Im Verlauf des gegenseitigen technologischen Lernprozesses reduzieren sich kognitive Distanz und Komplementarität, sodass die Effizienz der Kooperation steigt und das heterogenitätsabhängige, gegenseitige Lernpotenzial sinkt.[845] Kooperativ extensive

---

838 Vgl. COOMBS 1988, Seite 306. Koza und Lewin betonen, dass im Falle technologischer Exploration Lernziele gegenüber Effizienzzielen dominieren. Vgl. KOZA/LEWIN 1998, Seite 259

839 Die Zielsetzung der Absorption des technologischen Wissens des Partners dominiert im Allgemeinen gegenüber dem rein anwendungsorientierten Zugang. Vgl. HAMEL 1991, Seite 85 f.

840 Vgl. HAGEDOORN/SCHAKENRAAD 1990b, Seite 6 und Seite 31 sowie HAGEDOORN 1993, Seite 372 f. und NOOTEBOOM 1999, Seite 61 sowie NOOTEBOOM 2004, Seite 43

841 Vgl. zu architektonischer Innovation Absatz 2.2.1.2 sowie HENDERSON/CLARK 1990, Seite 9 ff.

842 Technologische Diversifikation ist die Erweiterung des eigenen Kompetenzbereichs in andere Technologien als Reaktion auf steigende Wettbewerbsintensität. Vgl. DODGSON 1993, Seite 31. Sie ermöglicht die Erschließung der Potenziale von Technologieverschmelzungen (*technological fusion*) bzw. c*ross-fertilization*-Effekten. Vgl. AOKI 1988, Seite 250

843 Vgl. NOOTEBOOM 1999, Seite 13 ff. und CANTNER/PYKA 1998, Seite 381 ff. sowie NOOTEBOOM 2004, Seite 26 f.

844 Vgl. NOOTEBOOM 2004, Seite 26 f.

845 Vgl. NOOTEBOOM 2000, Seite 76 und NOOTEBOOM 2004, Seite 42 f.

Exploration benötigt demnach kognitive Distanz inkl. deren Überbrückung, wohingegen kooperativ intensive Exploitation *kognitive Nähe* (*cognitive proximity*) erfordert.[846]

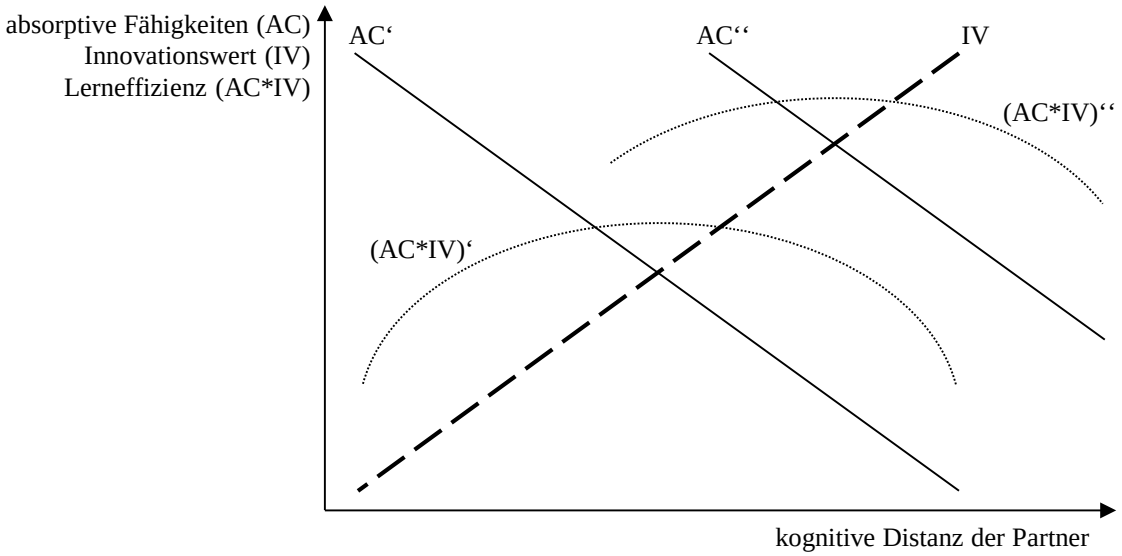


Abb. 2-7: Lerneffizienz als Resultat kognitiver Distanz und absorptiver Fähigkeiten[847]

Der Technologietransfer im Rahmen des voneinander Lernens der Partner bildet die Grundlage für einen Prozess des miteinander Lernens, der gemeinsame (kooperationsspezifische) technologische Fähigkeiten hervorbringt, die wiederum in einem komplementären Verhältnis zu den anderen Fähigkeiten der Kooperationspartner stehen.[848] Kooperativ-extensive Exploration ist demnach eine vielversprechende Strategie zur Identifikation und Erschließung extensiver technologischer Möglichkeiten. Akteure können im Kooperationsverbund sowohl alternative technologische Trajektorien und Paradigmen identifizieren, als auch die für einen Wechsel der Trajektorien-Paradigmen-Kombination erforderliche Transformation ihrer technologischen Wissensbasis bewerkstelligen. Der zweitgenannte Aspekt ist von besonderer Bedeutung, wenn der Wechselprozess die technologischen Fähigkeiten von Unternehmungen obsolet werden lässt.[849]

Umgang mit der Tacitness technologischen Wissens

Technologische Kooperation eröffnet Partnern die Möglichkeit eines verbesserten Umgangs mit der Unternehmensspezifität (*tacitness*) technologischen Wissens, wobei die Absorption nicht kodifizierbarer Anteile des technologischen Wissens des Kooperationspartners häufig

846 Vgl. NOOTEBOOM 2000, Seite 76
847 Eigene Darstellung in Anlehnung an NOOTEBOOM 1999, Seite 14 sowie NOOTEBOOM 2004, Seite 27
848 Vgl. HAGEDOORN/SCHAKENRAAD 1990a, Seite 175
849 Vgl. TEECE 1988, Seite 278

ein Kooperationsmotiv darstellt.[850] Die Zusammenarbeit kann in diesem Rahmen sowohl das Bewusstsein hinsichtlich nicht-kodifizierbaren Wissens steigern, als auch einen *kooperativen Kanal* für dessen Transfer erzeugen. Interorganisational-kooperative Beziehungen, die von gegenseitigem Vertrauen geprägt sind, bilden dabei die Grundlage zur Entstehung gemeinsamer Verfahrensweisen und Terminologien, wodurch ein effizienter Transfer von, auch nicht-kodifizierbarem, Wissen möglich wird.[851] Von besonderer Bedeutung ist dieser Aspekt bei der Zusammenarbeit mit kleinen Unternehmungen, da (technologisches) Wissen bei diesen in erhöhtem Maße *tacit* ist.[852] Der kooperative Transfer nicht-kodifizierbaren Wissens ist ein zentrales Charakteristikum kollektiv-vernetzter Innovationsprozesse.[853]

Umgang mit der Lokalität technologischen Wissens

Technologische Kooperation bietet Partnern die Möglichkeit eines effizienteren Umgangs mit der Technologiespezifität technologischen Wissens (technologische Lokalität).[854] So können Partner, die unterschiedliche Technologien verfolgen, in Fällen technologisch globalen oder schwach lokalen technologischen Fortschritts die (eingeschränkten) Transferpotenziale in vertrauensbasierter Zusammenarbeit besser identifizieren und ausschöpfen, als bei isoliertem Vorgehen. Dabei spielt Vertrauen eine zentrale Rolle, da der den technologischen Fortschritt erzielende Akteur diesen dem Partner im ersten Schritt offenlegen sowie im zweiten Schritt den Transfer bzw. die Adaption fördern sollte. Eine aktive, gegenseitige Berücksichtigung der Interessen unter den Partnern spielt hier demnach ebenfalls eine Schlüsselrolle.

Umgang mit der Komplexität technologischen Wissens

Technologische Kooperation bietet Partnern die Chance eines verbesserten Umgangs mit der Komplexität und resultierenden Fragmentierung technologischen Wissens.[855] Unternehmungen sind durch die anwachsende Komplexität technologischer Entwicklung zur Konzentration auf Kernkompetenzen gezwungen und ergänzen die erforderlichen komplementären Fähigkeiten durch Kooperation mit Partnern.[856] Dieser Trend wird durch die Reduktion betrieblicher Wertschöpfungstiefe verstärkt.[857] Kooperation impliziert dabei Arbeitsteilung und bietet folg-

---

850 Vgl. TIDD et al. 2002, Seite 181, DODGSON 2007, Seite 198, HAGEDOORN/SCHAKENRAAD 1990b, Seite 31 sowie HAGEDOORN 1993, Seite 373. Der Autor verweist in diesem Zusammenhang auch auf die Möglichkeit des Überspringens von Technologien (*technological leapfrogging*).

851 Vgl. DODGSON 1993, Seite 29 sowie NOOTEBOOM 1992, Seite 297 und DODGSON 2007, Seite 196

852 Vgl. NOOTEBOOM 1999, Seite 16 sowie NOOTEBOOM 2004, Seite 22 f.

853 Vgl. LAWSON/LORENZ 1998, Seite 312

854 Vgl. Absatz 2.2.3.2

855 Vgl. DODGSON 1993, Seite 27 f. sowie MALERBA/ORSENIGO 1993, Seite 60 und Seite 66 ff.

856 Vgl. DACHS et al. 2004, Seite 3 sowie TIDD et al. 2002, Seite 180

857 Vgl. BODE/ALIG 2011, Seite 1

lich die Chance zur Spezialisierung.[858] Dieser komplexitätsgetriebene kooperative Trend wird durch die intersektorale Natur neuer Technologien weiter verstärkt.[859] Kooperation ermöglicht dabei die Zusammenführung der, aufgrund zunehmender Arbeitsteilung verteilten, (technologischen) Kompetenzen.[860] Diese Konvergenz technologischen Wissens schafft eine Plattform zur kooperativen Erschließung extensiver technologischer Möglichkeiten (*cross-fertilization*). Für Innovation werden dabei zahlreiche wissenschaftliche Disziplinen und Fähigkeiten kombiniert.[861] Der Zugang zu unternehmensexternen Wissensquellen wird so zu einem Erfolgsfaktor industrieller F&E, auch im Umgang mit technologischer Komplexität.[862] Neben der Kombination fragmentierter technologischer Wissensbereiche ermöglicht Kooperation in diesem Zusammenhang auch die Kombination verteilter Schutzrechte (z. B. Patente), wodurch wiederum Synergien entstehen.[863] Konsequenz dieser Chancen kooperativen Umgangs mit technologischer Komplexität ist, dass die sektorale Kooperationsneigung von der Technologieintensität (Komplexität der Technologie, Geschwindigkeit von Wissensgenerierung und Nutzbarmachung (Innovationsdynamik)) des Sektors abhängt.[864] Kooperatives Verhalten tritt demnach eher in Hochtechnologiesektoren auf, da Produkte hier zahlreiche Technologien inkorporieren.[865]

Umgang mit technologischer Unsicherheit

Technologische Kooperation ermöglicht eine Verteilung technologischer Unsicherheit bzgl. technischer und ökonomischer Ergebnisse von F&E.[866] Diese Unsicherheit resultiert aus den Eigenschaften von Innovation (substanzielle Unsicherheit) und Akteur (prozessuale Unsicherheit).[867] Technologische Kooperation ist demnach eine organisationale Form des Umgangs mit Unsicherheit.[868] Die Kooperationsbereitschaft erweist sich dabei als direkt propor-

---

858 Vgl. SCHONERT 2008, Seite 90. Der Ausdruck *kooperative Spezialisierung* verdeutlicht, dass Kooperation die Produktivität steigern kann, wobei eine gegenseitige Abhängigkeit resultiert, die eine Vertrauensbasis zur Vorbedingung macht. Vgl. ALCHIAN/DEMSETZ 1972, Seite 777 sowie DYER 1996, Seite 271

859 Vgl. HAGEDOORN 1993, Seite 372 f. Aufkommen und Entwicklung einer Technologie erfolgen immer unter Rückkopplungen mit anderen Technologien. Vgl. PEREZ 2010, Seite 187 ff.

860 Vgl. RAHMEYER 2007, Seite 174

861 Vgl. DACHS et al. 2004, Seite 2

862 Vgl. PYKA 1999, Seite 75

863 Vgl. CONTRACTOR 1986, Seite 76

864 Vgl. NARULA/ZANFEI 2005, Seite 335 sowie DACHS et al. 2004, Seite 3 f.

865 Vgl. DODGSON 1993, Seite 17 f.

866 Vgl. HAGEDOORN/SCHAKENRAAD 1990a, Seite 175 und HAGEDOORN/SCHAKENRAAD 1990b, Seite 31 sowie FREEMAN 1991, Seite 502 und HAGEDOORN 1993, Seite 372 f. sowie DODGSON 1993, Seite 29 und NOOTEBOOM 1999, Seite 61 sowie NOOTEBOOM 2004, Seite 40 f. und RAHMEYER 2007, Seite 173. In der Literatur wird in diesem Zusammenhang teilweise von *technologischen Risiken* gesprochen. Da dieser Untersuchung das Konzept *technologischer Unsicherheit* zu Grunde liegt, wird hier ausschließlich dieser Begriff verwandt.

867 Vgl. Absatz 2.2.3.1. Kooperation kann überdies auch den Umgang mit wettbewerblicher Unsicherheit verbessern. Vgl. MANGEMATIN 1996, Seite 135

868 Vgl. GOEKE 2008, Seite 8 ff.

tional zum technologischen Unsicherheitsgrad, dem sich die Akteure gegenüber sehen.[869] Der zunehmend intersektorale Charakter neuer Technologien führt in Kombination mit der steigenden Komplexität und Intensität technologischer Entwicklung zu einer Verstärkung technologischer Unsicherheit und damit auch technologischer Kooperationstendenzen.[870] Speziell Phasen diskontinuierlichen technologischen Wandels sind von erhöhter Unsicherheit geprägt, da Architektur und Ausgestaltung künftiger Produkte noch unklar sind.[871] Technologische Kooperation bietet sich demnach v. a. im Rahmen technologischer Paradigmenwechsel als organisationale Koordinationstrategie an.[872] Es bleibt allerdings zu beachten, dass Kooperation zwar den Umgang mit technologischer Unsicherheit verbessern kann, umgekehrt aber auch zusätzliche Unsicherheit aus dem Kooperationsprozess selbst erzeugt.[873]

Verbesserung technologischer Transparenz

Technologische Kooperation ermöglicht eine gesteigerte Transparenz hinsichtlich technologischer Möglichkeiten, die sich aus dem technologischen Fortschritt ergeben.[874] Der Aufbau eines kooperativen Netzwerks eröffnet den in Informationswahrnehmung und -verarbeitung limitierten Akteuren die Möglichkeit des Monitorings der Evolution zahlreicher Technologien und resultierender technologischer Möglichkeiten.[875] Dies ermöglicht auch die Beobachtung der Entwicklung von als vielversprechend eingeschätzten Technologien, ohne sich in einem frühem Forschungsstadium selbst zu engagieren (*positioning, watching, waiting*), wodurch eigene Anstrengungen vorerst vermieden werden.[876] Die Möglichkeit gesteigerter technologischer Transparenz wird innerhalb des Konzepts der *cross-firm economy of learning* betont, wobei Kooperation dort eine angemessene Wahrnehmung, Interpretation und (Re-) Aktion ermöglicht, wo einzelnen Unternehmungen adäquate Perspektive, Verständnis und Erfahrung fehlen.[877] Interorganisationale Zusammenarbeit kann demnach das Paradoxon lösen, dem sich Unternehmungen in dynamisch-turbulentem (technologischen) Umfeld zwischen der Fokussierung auf Kernkompetenzen einerseits und eingeschränkter Kognition technologischer Mög-

869 Vgl. PYKA 1999, Seite 184 ff. sowie Seite 235
870 Vgl. HAGEDOORN/SCHAKENRAAD 1990a, Seite 175
871 Vgl. HENDERSON/CLARK 1990, Seite 14 sowie Vgl. GEELS 2005, Seite 48
872 Vgl. COOMBS et al. 1996, Seite 2
873 Vgl. BURETH et al. 1999, Seite 209 f.
874 Vgl. HAGEDOORN 1993, Seite 372 ff. sowie Seite 384 f.
875 Vgl. HAGEDOORN/SCHAKENRAAD 1990a, Seite 175 sowie HAGEDOORN/SCHAKENRAAD 1990b, Seite 31
876 Vgl. DODGSON 1993, Seite 33. Der Autor verweist auf den besonders positiven Effekt dieser Strategie in Fällen von *dead-end technologies*.
877 Vgl. NOOTEBOOM 1992, Seite 292

lichkeiten andererseits gegenüber stehen.[878] Eine Verbesserung technologischer Transparenz erfordert demnach eine Reduktion unternehmerischer Autonomie.[879]

Internalisierung eigener technologischer Externalitäten

Technologische Kooperation ermöglicht Partnern die Internalisierung ihrer positiven technologischen Externalitäten im Kooperationsverbund, bspw. indem untereinander im Gegenzug eine Gegenleistung geboten wird.[880] Kooperation kann somit eine Erweiterung des Bereichs privater Aneignung ermöglichen.[881] Ein Vorteil kann neben der gegenseitigen Kompensation unter den Partnern auch darin liegen, dass technologische Externalitäten innerhalb des Kooperationsverbunds verbleiben und die Bedingungen für Aneignung und Kommerzialisierung durch Vermeidung von Wettbewerb verbessert werden. Im Vergleich zu einem kompetitiven Verhältnis können die Partner so die Verbreitung neuen technologischen Wissens verlangsamen und temporär ihre Aneignungsmöglichkeiten verbessern, wobei sich die Systemgrenze von der Unternehmensebene auf die des Kooperationsverbunds verschiebt. In diesem Kontext wird jedoch besonders deutlich, dass die Förderung kooperativer F&E und die Wettbewerbspolitik konfligieren können.[882]

2.3.5 Risiken technologischer Kooperation

Unternehmen sehen sich bei der Erschließung der Potenziale kooperativer Koordination mit zahlreichen Herausforderungen konfrontiert.[883] Kooperationen scheitern bspw., weil die Ziele der kooperierenden Unternehmen nicht kompatibel sind, die Partner nicht über die erforderlichen Ressourcen verfügen, den Koordinationsaufwand (Kosten) unterschätzen oder sich opportunistisch verhalten.[884] Mit der erfolgreichen Nutzung der Chancen bei gleichzeitig gelungenem Umgang mit den Risiken befasst sich die betriebswirtschaftliche Literatur der Kooperationsmanagements, die u. a. die besondere Rolle von Erfolgsfaktoren wie Kooperationskompetenz[885] und Kooperationserfahrung[886] betont. Dieser Abschnitt fasst wesentliche Risiken technologischer Kooperation zusammen und gruppiert sie analog der vormals dargestell-

878 Vgl. NOOTEBOOM 1992, Seite 292
879 Vgl. NOOTEBOOM 1992, Seite 292
880 An dieser Stelle ist zu betonen, dass die Absorption fremder technologischer Externalitäten (technologisches Lernen) von der Internalisierung eigener technologischer Externalitäten zu unterscheiden ist.
881 Vgl. MANGEMATIN 1996, Seite 135
882 In diesem Rahmen sind die wohlfahrtsökonomisch negativen Auswirkungen (durch Kooperation) verlangsamter Diffusion zu berücksichtigen. Die Kooperation unter Wettbewerbern mit dem Ziel verbesserter Aneignung bzw. Reduktion von Wettbewerb wird gemeinhin als *Kartell* bezeichnet.
883 Vgl. DODGSON 1994, Seite 288 f.
884 Vgl. ZAHN/HÜLSMANN 2007, Seite 116
885 Vgl. ZOBOLSKI 2008, Seite 297 ff. und 313 ff. sowie TAKEISHI 2001, Seite 419
886 Vgl. HOÁNG et al. 2003, Seite 9 ff. sowie MÜLLER/HERSTATT 2003, Seite 2 ff. und BUCHMANN/PYKA 2013, Seite 20

ten Chancen hinsichtlich ihres Bezugs auf das Verhalten der Akteure (Absatz 2.3.5.1), den Innovationsprozess (Absatz 2.3.5.2) oder die Eigenschaften technologischen Wissens und Lernens (Absatz 2.3.5.3). Eine Übersicht der erörterten, über die Verfehlung der in Abschnitt 2.3.4 vorgestellten Chancen hinausgehenden, Risiken bietet Tab. 2-2.

Verhaltensbezogen	Innovationsprozessbezogen	Wissens- und lernbezogen
Opportunismus und Betrug	Verfehlung der Amortisation	Auftreten nicht-intendierter technologischer Spillover
Inkompatibilität von Routinen	-	Abhängigkeit und Lock-In

Tab. 2-2: Risiken technologischer Kooperation[887]

2.3.5.1 Verhaltensbezogene Risiken technologischer Kooperation

Opportunismus und Betrug

In (technologischen) Kooperationen besteht die Gefahr opportunistischen Verhaltens unter Ausnutzung der engen, kooperativen Beziehung bzw. des entgegengebrachten Vertrauens. Der individuelle Vorteil aus opportunistischem Verhalten gegenüber einem Kooperationspartner kann dabei aufgrund der vertieften Kenntnis des Partners (im Vergleich zu Wettbewerbern) erhöht sein. Die Reduktion von Opportunismus ist zwar, wie in Absatz 2.3.4.1 dargestellt, ein wesentliches Kooperationsmotiv, ein verminderter Unsicherheitsgrad bleibt jedoch stets erhalten. Dieser hängt aus der Perspektive der Transaktionskostentheorie von Unsicherheit und Spezifität einer Transaktion,[888] aus Sicht der Prinzipal-Agenten-Theorie von Informationsasymmetrien zwischen den Partnern ab. Die latente Opportunismusgefahr ist (neben technologischer Unsicherheit) eine zusätzliche, kooperationsinhärente Quelle von Unsicherheit.[889] Opportunismus kann in Anlehnung an die biologisch-evolutorische Perspektive in *offensichtlichen* und *subtilen Betrug* kategorisiert werden.[890] Während ersterer direkt als Opportunismus identifiziert wird, liegt bei letzterem häufig eine schwer festzustellende, verminderte Leistungsbereitschaft eines Partners vor, die bspw. aus asymmetrischem Einsatz von Macht resultieren kann. Die Reduktion der Gefahr opportunistischen Verhaltens durch Aufbau eines Vertrauensverhältnisses ist ein langfristiger Prozess,[891] wohingegen für die Zerrüttung desselben bereits eine Situation ausreichen kann.

---

887 Eigene Darstellung
888 Vgl. BORCHERT et al. 2004, Seite 11 sowie Abschnitt 2.3.2
889 Vgl. BURETH et al. 1999, Seite 209 f.
890 Vgl. Abschnitt 2.3.1 sowie TRIVERS 1971, Seite 46
891 Vgl. SCHONERT 2008, Seite 95

Inkompatibilität von Routinen

Heterogene bzw. inkompatible Routinen können dazu führen, dass Ziele technologischer Kooperation verfehlt werden. Dies kann sich auf das Zielobjekt der Zusammenarbeit beziehen oder den Kooperationsprozess selbst betreffen. Dabei ist grundsätzlich davon auszugehen, dass die Routinen zwischen Partnern desselben technologischen Regimes eher ähnlich bzw. kompatibel sind als in Fällen, in denen die Partner unterschiedlichen technologischen Regimen angehören.[892] Heterogene Routinen beinhalten neben unterschiedlichem Verhalten auch verschiedene Arten der Wahrnehmung bzw. des Denkens und sind demnach Ursache kognitiver Distanz.[893] Sie können folglich Widerstände auf Akteursebene auslösen.[894] Routinebasierte Heterogenität kann Ursache des Scheiterns technologischer Kooperation sein, wenn Sender-, Empfänger- und Kooperationskompetenz der Partner nicht ausreichen, um die kognitive Distanz zu überbrücken und ein *Lernen durch Interaktion* (*learning by interaction*) zu ermöglichen.[895] Aufgrund höherer kognitiver Distanz, fehlender partnerbezogener Kooperationserfahrung sowie geringen gegenseitigen Vertrauens scheitern Kooperationen häufig bereits in der Startphase.[896]

2.3.5.2 Innovationsprozessbezogene Risiken technologischer Kooperation

Forschungs- und Entwicklungskooperationen können grundsätzlich, u. a. aufgrund von (technologischer) Unsicherheit, die in Absatz 2.3.4.2 dargestellten, prozessbezogenen Ziele verfehlen. Da die Erschließung kooperativer Potenziale allerdings zusätzlichen Aufwand bzw. Kosten verursacht, besteht darüber hinaus die Möglichkeit **ausbleibender Amortisation** durch den erzielten Nutzen. Kooperationskosten entstehen durch Anbahnung, Vereinbarung, Steuerung, Kontrolle, Anpassung und Abwicklung der kooperativen Tätigkeiten.[897] Dabei ist zu beachten, dass zusätzlicher (Management-) Aufwand maßgeblich aus partnerbezogener Unsicherheit und erhöhter Koordinationskomplexität resultiert.[898] In diesem Zusammenhang getätigte Investitionen sind häufig kooperations- bzw. beziehungsspezifisch und müssen im Falle eines Scheiterns bzw. Aufbrechens der Kooperation als *sunk costs* abgeschrieben werden.[899]

---

892 Hierzu ist allerdings anzumerken, dass es sich mit dem gegenseitigen Lernpotenzial bzw. dem kooperativ erzielbaren Innovationswert umgekehrt verhält. Vgl. Absatz 2.3.4.3

893 Vgl. NOOTEBOOM 2000, Seite 73

894 Vgl. KEIJZER 2007, Seite 11

895 Vgl. Absatz 2.2.3.2. Zur Überbrückung der kognitiven Distanz der Akteure muss diese nicht reduziert werden, was bereits vorab zu einer Angleichung führen würde. Vgl. NOOTEBOOM 2000, Seite 73 f.

896 Eine aktuelle Studie verdeutlicht überdies, dass kooperationsunerfahrene Unternehmen routinegeleitet häufig sogar dort Nachteile wähnen, wo eigentlich kooperative Vorteile liegen. Vgl. DLR 2013, Seite 16

897 Vgl. ETTER 2003, Seite 56 sowie SCHONERT 2008, Seite 91. Die Analyse der Transaktionskostentheorie fokussiert diese den kooperativen Potenzialen gegenüberstehenden Kosten.

898 Vgl. DODGSON 1992, Seite 227

899 Vgl. ZAHN/HÜLSMANN 2007, Seite 116. Die Kooperationsspezifität von Investitionen verstärkt Pfadabhängigkeit, Irreversibilität und *lock-in*-Effekte von Kooperationen.

Weitere Kosten entstehen aufgrund fehlenden Vertrauens, wenn Akteure zum Schutz gegen opportunistisches Verhalten ihrer Partner (bzw. zur Erhaltung grundlegender Autonomie) in redundante Ressourcen und Funktionen investieren.[900] Opportunitätskosten entstehen zudem durch den Verzicht auf die Möglichkeit der exklusiven Kommerzialisierung des Innovationserfolgs sowie durch nicht intendierte Externalitäten im Kooperationsverbund. Der den Kosten kooperativer Koordination entgegenstehende Mehrwert kann entweder in direkten Kosteneinsparungen oder neuen Kommerzialisierungsmöglichkeiten bestehen und muss zur Amortisation die Kooperationskosten übersteigen. Speziell im Fall extensiv kooperativer Exploration ist eine diesbezüglich Abschätzung aufgrund des hohen Grades an Unsicherheit vorab kaum möglich.

2.3.5.3 Wissens und lernbezogene Risiken technologischer Kooperation

Auftreten nicht-intendierter technologischer Spillover

Technologische Kooperationen erfordern oftmals die bewusste Aufgabe von Wissensvorsprüngen mittels intentionaler *Spillover*.[901] In der Zusammenarbeit treten allerdings auch nicht-intendierte *Spillover* auf, wodurch die Wettbewerbsposition des Senders ungewollt geschwächt wird.[902] Häufigkeit und Umfang dieser technologischen Externalitäten, und damit die Aneignungsbedingungen, können von Unternehmen teilweise durch Maßnahmen zum Schutz technologischen Wissens beeinflusst werden.[903] Innerhalb von Kooperationen hängen Wahrscheinlichkeit und Auswirkungen von *Spillovern* von der Anzahl der Kooperationspartner, der Anzahl der Verbindungen zwischen den Partnern, der Kodifizierbarkeit des Wissens, der technologischen Veränderungsdynamik sowie der relationalen Position der Partner in der Wertschöpfungskette ab.[904] Die Auswirkungen hingegen hängen von der sektoralen Organisation und der Wettbewerbsintensität ab. Mit steigender Anzahl von Wettbewerbern sowie zunehmender Intensität des Wettbewerbs nimmt die Tragweite technologischer Externalitäten zu, sodass die Kooperationsbereitschaft aufgrund erhöhter Unsicherheit sinkt.[905] Eine stark erhöhte Wahrscheinlichkeit technologischer Externalitäten besteht bei horizontalen Kooperationen, innerhalb derer eine Art *Lern-Wettlauf* (*race to learn*) eintreten kann.[906] Da-

---

900 Vgl. SCHONERT 2008, Seite 110. Dies verdeutlicht einmal mehr, dass interorganisationales Vertrauen Komplexität und damit Kosten reduziert. Vgl. LUHMANN 2000, Seite 27 ff.

901 Vgl. BORCHERT et al. 2004, Seite 16

902 Technologische *Spillover* werden zum Teil fälschlicherweise als Know-how-Verlust bezeichnet, obwohl das Wissen beim Sender nicht verloren geht. Vgl. Abschnitt 2.2.2 sowie Absatz 2.2.3.2

903 Vgl. DACHS et al. 2004, Seite 4. Diese Maßnahmen können formell (Patente, Marken etc.) oder informell (Produktkomplexität, Geheimhaltung etc.) sein. Ihre Wirksamkeit in F&E erhöht die Kooperationsneigung.

904 Vgl. NOOTEBOOM 1999, Seite 50 f.

905 Vgl. VON HIPPEL 1987, Seite 301 sowie DACHS et al. 2004, Seite 3

906 Vgl. HAMEL et al. 1989, betrachten diesen Effekt unter dem Titel “Collaborate with your competitors – and win“ und gehen besonders auf Defensivstrategien der Akteure ein.

bei nutzen Partner ihre absorptiven Fähigkeiten mit dem Ziel asymmetrischen Erlernens des Wissens der Partner, wobei versucht wird eigenes Wissens zurückzuhalten und opportunistische Verhaltenstendenzen auftreten.[907] Dieses Verhalten beschädigt allerdings (sobald es offensichtlich wird) die Vertrauensbasis zwischen den Partnern, schwächt damit das kooperative Milieu und ist im Sinne der hier geltenden Definition keine Kooperation. Abschließend bleibt festzuhalten, dass die kooperationsinhärente Gefahr nicht-intendierter *Spillover* aus Unternehmenssicht ein zentrales Argument gegen kooperative Koordination darstellt.[908]

Gegenseitige Abhängigkeit und kooperationsspezifischer *lock-in*

Technologische Kooperation erzeugt eine wechselseitige Abhängigkeit der Partner sowie *lock-in*-Effekte. Die Abhängigkeit unter den Partnern resultiert im Wesentlichen aus der Arbeitsteilung bzw. Spezialisierung der Akteure, die im Gegenzug jedoch Grundlage des gemeinsamen Erfolgs ist.[909] Die in Kooperationen häufig konsensbasierte Entscheidungsfindung schränkt die Autonomie der Partner zusätzlich ein,[910] sodass der Partnerwahl eine besondere Bedeutung zukommt.[911] Die Symmetrie der Machtverhältnisse spielt dabei eine besondere Rolle, um asymmetrische Abhängigkeiten zu vermeiden, die opportunistisches Verhalten begünstigen. Aus der Kooperations- bzw. Partnerspezifität von Investitionen resultiert ein im Zeitverlauf zunehmender *lock-in*-Effekt der Partner.[912] Darüber hinaus ergibt sich auch ein *lock-in* aus den partnerspezifischen Komplementaritäten sowie der Koevolution der Partner, wobei der kooperativ-kumulative Lernprozess und die gemeinsame Routineentwicklung pfadabhängigen sowie irreversiblen Charakter aufweisen. Bei Aufbrechen der Kooperation vor Erreichung des gemeinsamen Ziels könnten die Partner den eingeschlagenen technologischen Lernpfad folglich alleine nur eingeschränkt weiterverfolgen. Dies führt zu einem kooperationsspezifischen Charakter des bisherigen technologischen Lernprozesses. Ein schlichtes Ersetzen von Partnern ist demnach nicht unmöglich, da alternativen Partnern die im kooperativen Pfadverlauf bereits erlangten Erfahrungen und Erkenntnisse sowie die interorganisationale Vernetzung und Vertrauensbasis fehlen. Abschließend bleibt anzumerken, dass neben dem vorgestellten kooperationsspezifischen *lock-in* auch ein *lock-out* auftreten kann, der die bei Ausschluss aus einem kooperativen Verbund resultierenden Wettbewerbsnachteile beschreibt.[913]

---

907 Vgl. HAMEL 1991, Seite 85 sowie GULATI et al. 2000, Seite 211

908 Dies beeinflusst auch die Bereitschaft zur Teilnahme an öffentlich geförderten, kooperativen Forschungs- und Entwicklungsprojekten, deren Ergebnisse im Allgemeinen offengelegt werden müssen.

909 Vgl. SCHONERT 2008, Seite 91

910 Vgl. SCHONERT 2008, Seite 91

911 Vgl. BROCKHOFF 1991, Seite 365 ff.

912 Vgl. Absatz 2.3.5.2

913 Vgl. GULATI et al. 2000, Seite 210 f.

2.3.6 Koordinationsdynamik im Rahmen technischen Wandels

Unternehmen wählen den Mechanismus der Maßnahmenkoordination zur Erreichung von Zielen in Abhängigkeit von zahlreichen Parametern inkl. individueller Wahrnehmung.[914] Mit Blick auf die Koordination technischer Innovation stellt sich in diesem Rahmen die Herausforderung der Selektion von Koordinationsmechanismen in Abhängigkeit von deren Eignung zum erfolgreichen Umgang mit den Herausforderungen technologischen Fortschritts. Hierauf aufbauend beleuchtet dieser Abschnitt die grundsätzliche Eignung der Koordinationsmechanismen zur Stimulation von Innovation (Absatz 2.3.6.1) und verknüpft diese mit den aus dem Technologielebenszyklus abgeleiteten Anforderungen zur Stimulation technischer Innovation (Absatz 2.3.6.2). Aus dieser Kombination wird ein Zyklus der Koordinationseignung zur Stimulation technischer Innovation abgeleitet (Absatz 2.3.6.3).

2.3.6.1 Eignung der Koordinationsmechanismen zur Stimulation von Innovation

Koordinationsmechanismen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Eignung zur Stimulation technischer Innovation besonders in Abhängigkeit von Inhalts-, Intensitäts- und Prozessdimension von Innovation.[915] Grundsätzliche Voraussetzungen zur Erzeugung von Innovation sind der Zugang zu relevanten Informationen bzw. Wissen, das Erzeugen der erforderlichen Informationsdichte sowie das Erreichen der benötigten Investitionsbereitschaft und Anpassungsfähigkeit. Darüber hinaus spielen auch Abstimmungszeitpunkt, Anreizstruktur und industrieller Strukturcharakter wesentliche Rollen.

	Vertrauensbasierte Kooperation	Preisbasierter Wettbewerb	Machtbasierte Verhaltensanweisung
Informationsdichte	mittel	gering	hoch
Informationszugang	hoch	mittel	gering
Investitionsbereitschaft	mittel	gering	hoch
Anpassungsfähigkeit	mittel	gering	gering
Abstimmungszeitpunkt	ex-ante und ex-post	ex-post	ex-ante
Strukturcharakter	dynamisch und statisch	dynamisch	statisch
Anreizstruktur/ -intensität	mittel	hoch	gering

Tab. 2-3: Eigenschaften der Koordinationsmechanismen zur Stimulation von Innovation[916]

[914] Wesentliche Aspekte sind dabei bspw. die aktuelle Situation bzw. Position inkl. Rahmenbedingungen sowie angestrebte Ziele und die verfolgte Strategie. Vgl. zu den Alternativen preisbasierten Wettbewerbs, machtbasierter Verhaltensanweisung sowie vertrauensbasierter Kooperation Abschnitt 2.3.2.

[915] Vgl. zur Mehrdimensionalität von Innovation Abschnitt 2.3.2

[916] Eigene Darstellung

Im Folgenden werden die Koordinationsmechanismen mit Bezug auf diese Kriterien analysiert. Eine komparative Übersicht der Ausprägung der Parameter innerhalb der Koordinationsmechanismen bietet Tab. 2-3, wohingegen Abb. 2-9 den abgeleiteten Zyklus der Koordinationseignung zur Stimulation technischer Innovation veranschaulicht.

Preisbasierter Wettbewerb

Preisbasierter Wettbewerb weist grundsätzlich eine dynamische Strukturierung unter Funktionsspezialisierung der Akteure auf.[917] Die Abstimmung der fragmentierten Einzelentscheidungen erfolgt ex post.[918] Die Informationsdichte, d. h. die einem einzelnen Akteur zur Verfügung stehende Menge an Informationen, ist gering, da das verfügbare Wissen stark fragmentiert und auf zahlreiche Akteure verteilt ist. Zudem erzeugt der durch den Wettbewerbscharakter verminderte Informationsaustausch zwischen Akteuren verstärkte Unsicherheit bei erhöhter Gefahr opportunistischen Verhaltens, was letztlich zur Verfehlung der für (technologisch) komplexe Zusammenarbeit nötigen Informationsdichte führen kann und somit innovationshemmend wirkt.[919] Ein uneingeschränkter Informationsaustausch zwischen den Akteuren ist in preisbasiertem Wettbewerb zwar grundsätzlich möglich, jedoch nur in sehr begrenztem Maße (vornehmlich über Preise und Mengen) vorgesehen.[920] Der demnach eingeschränkte Informationszugang erscheint zur Stimulation von (v. a. tiefgreifend-radikalen) Innovationen ungeeignet, sodass teilweise von *Informationsinseln* die Rede ist.[921] Mit Blick auf die Investitionsbereitschaft ist zu beachten, dass preisbasierter Wettbewerb bei spezifischen Investitionserfordernissen ein Ringen um die Verteilung von Risiken und Kosten unter den Akteuren erzeugt.[922] Dieser Wettbewerbseffekt verstärkt in Kombination mit eingeschränktem Informationsaustausch und der kompetitiven Anreizstruktur die Tendenz zu opportunistischem Verhalten.[923] Neben der Investitionsbereitschaft zeigt sich in preisbasiertem Wettbewerb auch die Anpassungsfähigkeit der Akteure aufgrund der Spezifität bzw. Entwertungsgefahr von Investitionen als reduziert (pfadabhängiger *lock-in*).[924] Innovationsbezogen eignet sich preisbasierter Wettbewerb demnach eher zur Stimulation inkrementeller Verbesserungs- und Anpassungsinnovationen bei technologisch kontinuierlicher Entwicklung, da hier Effizienzdruck und dynamische Strukturierung die Verbesserung antreiben.[925]

---

917 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 46 sowie SIEBERT 2010, Seite 11
918 Vgl. RICHARDSON 1972, Seite 891 sowie SEMLINGER 2010, Seite 46. Der Autor betont, dass die Einzelentscheidungen häufig auf Basis fehlender, unvollständiger oder falscher Informationen getroffen werden.
919 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 46 und Seite 48
920 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 47. Der Autor spricht auch von *Informationsverkürzung*.
921 Vgl. SIEBERT 2010, Seite 11
922 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 45
923 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 46
924 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 48
925 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 46

Machtbasierte Verhaltensanweisung

Machtbasierte Verhaltensanweisung zeichnet sich durch eine statische Strukturierung sowie eine Abstimmung ex ante aus.[926] Im Gegensatz zu preisbasiertem Wettbewerb bestehen einerseits Defizite in der Anreizstruktur,[927] andererseits jedoch eine erhöhte Informationsdichte.[928] Demgegenüber ergibt sich allerdings ein Defizit hinsichtlich des Zugangs zu Informationen bei Akteuren außerhalb des Machtbereichs, da diese innerhalb eine unkontrollierte Weitergabe ihrer Informationen befürchten.[929] Dies wiegt besonders schwer, wenn diskontinuierliche technologische Entwicklung bisherige Kommunikationskanäle unbrauchbar macht und stattdessen neue Partner und Kommunikationsformen nötig sind.[930] Die hierarchische Integration eines Akteurs kann demnach sogar zu dessen Ausschluss aus seinen bisherigen Kommunikationszusammenhängen führen.[931] Die machtbasiert starken Bindungen verwehren Akteuren in diesem Zusammenhang die Chance zur Erschließung der Stärke schwacher Bindungen,[932] die einen schnelleren und einfacheren Informationsaustausch mit bisher unverbundenen Partnern ermöglichen. Da bei machtbasierter Verhaltensanweisung der in preisbasiertem Wettbewerb vorherrschende Verteilungskampf um Kosten und Risiken weitgehend entfällt, ergibt sich eine erhöhte Investitionsbereitschaft bei Innovationsvorhaben mit spezifischen Investitionserfordernissen.[933] Abschließend ist anzumerken, dass die Spezifität von Investitionen auch bei machtbasierter Koordination zu reduzierter Anpassungsfähigkeit führt, wobei sich dieser Effekt hier durch das Fehlen der wettbewerblichen Anreizstruktur zusätzlich verstärkt.[934] Machtbasierte Verhaltensanweisung eignet sich demnach grundsätzlich, ebenso wie preisbasierter Wettbewerb, eher zur Stimulation von Exploitation.[935] Sie zeichnet sich allerdings aufgrund höherer Investitionsbereitschaft und der Abstimmungsmöglichkeit ex ante durch einen komparativen Vorteil bei der Stimulation von diskontinuierlichen Innovationen aus, die Investitionen in neue Qualifikationen und Ausrüstungen erfordern und veränderte oder neue Bedarfe mit angepassten oder neuen Produkten befriedigen.[936]

926 Vgl. SIEBERT 2010, Seite 11 sowie SEMLINGER 2010, Seite 46 sowie Seite 47 f.
927 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 47
928 Vgl. SIEBERT 2010, Seite 11
929 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 47 f.
930 Vgl. LUNDVALL 1988, Seite 357 und SEMLINGER 2010, Seite 47 f.
931 Vgl. LUNDVALL 1988, Seite 355 und SEMLINGER 2010, Seite 47
932 Vgl. GRANOVETTER 1973, Seite 1360 ff. sowie NOOTEBOOM 2004, Seite 145
933 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 45
934 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 48
935 Vgl. ROWLEY et al. 2000, Seite 384
936 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 45 f.

Vertrauensbasierte Kooperation

Für preisbasierten Wettbewerb und machbasierte Verhaltensanweisung ist demnach festzuhalten, dass Informationsdichte und -zugang komplementäre Funktionsdefizite zur Stimulation technischer Innovation darstellen. Während sich die Spezifität von Investitionen lediglich in preisbasiertem Wettbewerb negativ auf die Investitionsbereitschaft auswirkt, führt eben diese Spezifität nach der Investitionsentscheidung bei beiden Koordinationsmechanismen zu reduzierter Anpassungsfähigkeit. Dies lässt speziell preisbasierten Wettbewerb, aber auch machtbasierte Anweisung bei hohem Unsicherheitsgrad zur Stimulation von Innovation eher ungeeignet erscheinen.[937] Die zunehmende (technologische) Spezialisierung heterogener Akteure erzwingt überdies deren Zusammenarbeit zur Kombination spezialisiert-komplementärer Fähigkeiten und Kompetenzen für (technische) Innovation.[938] Diese ist in preisbasiertem Wettbewerb zwar möglich, bedingt allerdings aufgrund zunehmender Spezifität der Innovationsaktivitäten eine Abstimmung ex ante, die wiederum eine machtbasierte Steuerung nahelegt.[939] Sowohl machtbasierte Verhaltensanweisung als auch preisbasierter Wettbewerb weisen demnach ein Eignungsdefizit zur Stimulation technologisch diskontinuierlicher Innovation unter hoher Unsicherheit und spezifischen Investitionserfordernissen auf. Einen Ausweg aus diesem Dilemma kann Koordination mittels vertrauensbasierter Kooperation bieten. Dabei besteht, zusätzlich zur wettbewerbsbasierten Abstimmung ex post, die Möglichkeit vertrauensbasierter Abstimmung komplementär-spezialisierter Partner bereits ex ante, wobei eine wechselseitige Begrenzung der Autonomie (*bounded autonomy*) erfolgt.[940] Kooperation erweist sich in diesem Rahmen, anders als unternehmensinterne F&E-Verbünde, als dynamisch und statisch zugleich, da sie einerseits vom Wettbewerbsmechanismus angetrieben wird und andererseits vertrauens- und machtbasiert Beziehungen mit statisch-stabilem Charakter ausprägt.[941] Zudem kann die komplementäre Funktionsschwäche preisbasierten Wettbewerbs und machbasierter Anweisung durch Kombination der Vorzüge starker und schwacher Bindungen überwunden werden und damit sowohl der für komplex-technologische Zusammenarbeit erforderliche Informationszugang als auch die benötigte Informationsdichte erzielt werden.[942] Kooperativ verdichtetes Wissen ist somit dichter als in preisbasiertem Wettbewerb, aber loser als innerhalb machtbasierter Strukturen.[943] Die wettbewerbsinduzierte Schwäche mangelnder Investitionsbereitschaft kann im Kooperationsverbund durch Abstimmung ex ante vertrauensba-

937 Vgl. PYKA 2002, Seite 155
938 Vgl. RICHARDSON 1972, Seite 892
939 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 49. Der Autor weist überdies darauf hin, dass dieses Argument keines Opportunismus bedarf, diesen aber nicht ausschließt.
940 Vgl. RICHARDSON 1972, Seite 891 f. sowie Abschnitt 2.3.1
941 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 58
942 Vgl. DYER/NOBEOKA 2000, Seite 365 und SEMLINGER 2010, Seite 58 sowie SIEBERT 1991, Seite 301
943 Vgl. IMAI/BABA 1991, Seite 389

siert reduziert bzw. überwunden werden. Das Defizit verminderter Anpassungsfähigkeit aufgrund der Spezifität von Investitionen bleibt auch bei vertrauensbasierter Kooperation erhalten, jedoch erzeugt die im Vergleich zu Hierarchien bessere Rekonfigurations- und Erweiterungsfähigkeit kooperativer Verbünde auch hier Flexibilitätsvorteile.[944] Abschließend ist zu konstatieren, dass sich kooperative Koordination, sofern der Aufbau einer gemeinsamen Vertrauensbasis und daraus die Entwicklung einer Zusammenarbeit gelingt, situationsbedingt als superior erweisen kann.[945]

2.3.6.2 Koordinationseignung im Technologielebenszyklus

Aufbauend auf der statischen Sicht des innovativen Potenzials der Koordinationsmechanismen erfolgt nun eine Dynamisierung der Perspektive.

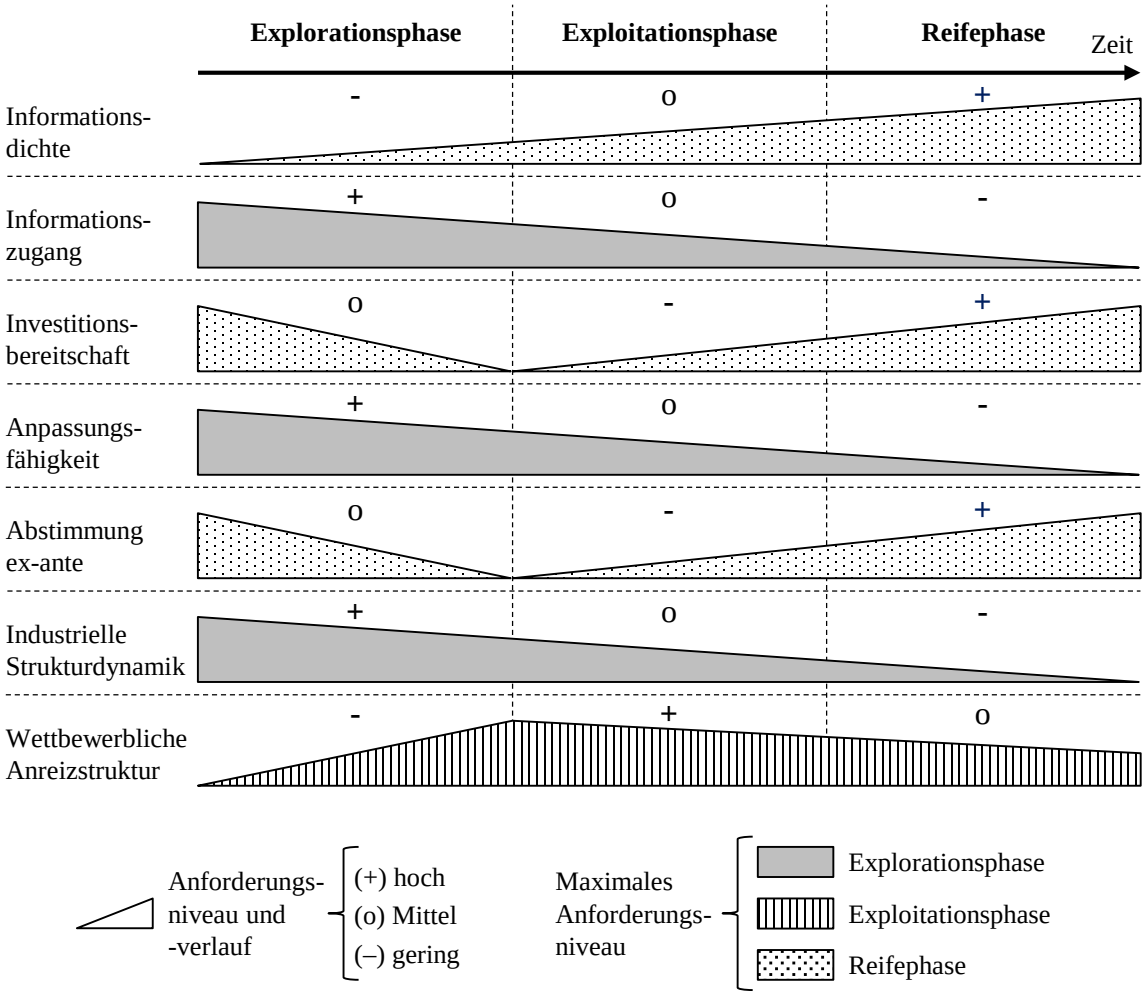


Abb. 2-8: Anforderungszyklus zur Stimulation technischer Innovation[946]

944 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 58
945 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 51
946 Eigene Darstellung

Dabei ergibt sich aus der Verkettung von Eigenschaften und Innovationsmustern des Technologielebenszyklus mit der Eignung der Koordinationsmechanismen zur Stimulation von Innovation ein Zyklus der Koordinationseignung zur Stimulation technischer Innovation. Dieser wird im Folgenden entlang des Phasenmodells des Technologielebenszyklus erörtert.[947] Dazu wird jeweils die Phasencharakteristik kurz aufgegriffen, Anforderungen und Erfolgsfaktoren an Koordinationsmechanismen abgeleitet und letztlich, mittels der bereits dargestellten Eigenschaften der Koordinationsmechanismen zur Stimulation technischer Innovation, deren Eignung für diese Phase komparativ bewertet. Eine Darstellung der phasenspezifischen Anforderungen zur Stimulation technischer Innovation bietet Abb. 2-8, deren Kombination mit den innovationsbezogenen Stimulationseigenschaften der Koordinationsmechanismen (Tab. 2-3) zum Eignungszyklus der Koordinationsmechanismen zur Stimulation technischer Innovation führt (Abb. 2-9).

Kooperative Exploration

Die Explorationsphase zeichnet sich durch technologische Diskontinuität bei immenser markt- und technologiebezogener Unsicherheit aus.[948] Der in dieser fluiden Phase auftretende Innovationsmodus lässt sich als präparadigmatisch-experimentelle Suche bzw. technologisch extensive Exploration beschreiben, wobei *cross-fertilization*-Effekten erhebliche Bedeutung zukommt. Kernerfolgsfaktor dieses Lernprozesses ist demnach der **Zugang zu externen Informationen (+)** bzw. die Erschließung und Rekombination externen Wissens mittels neuer Verbindungen.[949] Dabei ist die technologische Wissensbasis unklar, überwiegend unkodifiziert und tacit,[950] sodass der standardbezogene Schwerpunkt auf der Entwicklung von Terminologie und Symbolik (language creation) liegt.[951] Neben dem Informationszugang spielen die **Anpassungsfähigkeit (+)** der Akteure und die **Dynamik industrieller Strukturierung (+)** Schlüsselrollen, da experimentelles Vorgehen Fehlentscheidungen und Scheitern einschließt und somit Flexibilität voraussetzt. In diesem Rahmen erzwingen sowohl der Explorationsprozess selbst, als auch die durch ihn erlangten (technologischen) Erkenntnisse eine Rekonfiguration des betroffenen Sektors. Die Kombination unverbundener Wissensfelder durch Zusammenarbeit heterogener, spezialisierter Akteure erfordert überdies eine Abstimmungsmöglichkeit **ex ante (o)**. **Investitionsbereitschaft (o)** und **Informationsdichte (o)** sind eben-

947 Vgl. für eine grundsätzliche Darstellung des Technologielebenszyklus sowie korrelierender Innovationsdynamik Absatz 2.2.3.6
948 Für eine detaillierte Beschreibung der Explorationsphase vgl. Absatz 2.2.3.6
949 Vgl. TEECE 1988, Seite 276 f. sowie KASH et al. 2002, Seite 184. Die Autoren bezeichnen dieses Muster als *transformational*.
950 Vgl. PYKA 2000, Seite 29
951 Vgl. REDDY/CORT 1989, Seite 18

falls wesentlich, spielen allerdings aufgrund des eher konzeptionellen Charakters des technologisch extensiven Suchprozesses im Verhältnis zur Reifephase eine geringere Rolle.[952]
Aus der Verknüpfung von Phasencharakter, Innovationsmodus und abgeleiteten Anforderungen an einen Koordinationsmechanismus zur Stimulation diskontinuierlicher Innovation in der Explorationsphase, wird die konzeptionelle Überlegenheit **vertrauensbasierter Kooperation** in dieser Phase deutlich.[953] Sie ermöglicht durch Erschließung des explorativen Potenzials schwacher Bindungen einen besseren Informationszugang.[954] Auf diese Weise erzeugt sie die Möglichkeit zur Integration diversen, komplexen und komplementären Wissens in den diskontinuierlichen *Trial-and-Error*-Suchprozess, wobei eine Koevolution von Technologie und Kooperationsverbund erfolgt.[955] Die Schutzebene technologischen Wissens verschiebt sich von der Unternehmens- auf die Netzwerkebene,[956] sodass ein kollektiv-kooperativer Innovationsprozess auf höherem Niveau entsteht.[957] Dieser ermöglicht sowohl die Schließung von Wissenslücken[958] als auch die Erschließung von *Cross-Firm-Economies of Learning.*[959] Neben verbessertem Informationszugang bieten Kooperationen eine erhöhte Anpassungs- bzw. Rekonfigurationsfähigkeit sowie eine kombiniert statische und dynamische industrielle Strukturierung. Sie erzeugen demnach eine verbesserte Ausgangssituation zur Dynamisierung von Fähigkeiten und Routinen.[960] Diese erhöhte Adaptionsfähigkeit auf Unternehmens- und Netzwerkebene ist speziell in der Explorationsphase vielversprechend.[961] Weiterhin eröffnet Kooperation die Chance zur Ergänzung wettbewerbsbasierter Abstimmung ex post durch einen vertrauensbasierten Mechanismus ex ante.[962] So kann, bspw. durch Vor-Abstimmung zu technologischer Standardisierung, gleichsam eine kooperative Definition des späteren Wett-

---

952 Hier soll angemerkt werden, dass die Informationsdichte auch in der Explorationsphase wesentlich zur Erzeugung von Innovation ist, innerhalb des experimentellen Suchprozesses allerdings, im Unterschied zur Reifephase, vorwiegend durch externes Lernen erzielt wird.

953 Vgl. LEVEQUE et al. 1996, Seite 190 ff., die betonen, dass die Anzahl (komplementäritätsbasierter) explorativ-kooperativer Vereinbarungen die Anzahl exploitativ-kooperativer Vereinbarungen deutlich übersteigt.

954 Vgl. ROWLEY et al. 2000, Seite 384

955 Vgl. NOOTEBOOM 2004, Seite 156 und KASH et al. 2002, Seite 168. Die Autoren bezeichnen dieses explorative Innovationsmuster als *transformational* zur Erzeugung von *first-of-a-kind technologies*.

956 Vgl. DYER/NOBEOKA 2000, Seite 358

957 Vgl. DODGSON 1996, Seite 67. Das Einnehmen dieser überbetrieblichen Ebene im Innovationsprozesses ist erforderlich, da aufgrund von zunehmender Komplexität in wissensbasierten Volkswirtschaften kein Unternehmen allein in der Lage ist alle relevanten technologischen Entwicklungen zu verfolgen, geschweige denn sie selbst zu gestalten. Vgl. PYKA/BUCHMANN 2012, Seite 23

958 Der diskontinuierliche Charakter der Explorationsphase offenbart Lücken in der Wissensbasis der Unternehmungen, die kooperativ geschlossen werden können. Vgl. PYKA 2002, Seite 157 sowie GOEKE 2008, Seite 123 ff., der in diesem Zusammenhang den Begriff *gap-closing*-Allianzen verwendet.

959 Vgl. zum Konzept der c*ross-firm economies of learning* Absatz 2.3.4.3

960 Vgl. zum Konzept dynamischer Fähigkeiten (*dynamic capability*) Absatz 2.2.3.2

961 Vgl. CAINARCA et al. 1992, Seite 49 f. Die besondere Eignung von Kooperation in explorativen Phasen neuer Technologien bestätigt auch Schön, der die Vorzüge dieses Vorgehens bzgl. einer möglichen späteren Fusion oder Übernahme (bei reduzierter Unsicherheit) betont. Vgl. SCHÖN 2013, Seite 127

962 Vgl. CAINARCA et al. 1992, Seite 48

bewerbsfeldes sowie intraindustrieller Abhängigkeitsverhältnisse erfolgen.[963] Auf Grundlage der Vertrauenskultur unter den Partnern erhöhen sich innerhalb des Verbunds zudem Investitionsbereitschaft und Informationsdichte. Aufgrund der besonderen Eignung von Kooperation für technologische Exploration liegen in der Explorationsphase gesteigerte Kooperationsneigung und erhöhtes Kooperationsniveau vor.[964]

Machtbasierte Verhaltensanweisung hingegen erscheint, trotz höherer Bereitschaft zur Verfolgung investitionsintensiver Innovationsvorhaben und besserer Möglichkeit zur Abstimmung ex ante, zur Stimulation technologisch diskontinuierlicher Innovation komparativ als weniger geeignet, da eingeschränkter Informationszugang und geringere Anpassungsfähigkeit diese Vorzüge in dieser Phase überkompensieren. Die genannten Vorteile machtbasierter Verhaltensanweisung verschaffen dieser allerdings in der Explorationsphase im Verhältnis zu preisbasiertem Wettbewerb eine höhere Eignung zur Stimulation diskontinuierlicher Innovation.[965] Die erhöhte Informationsdichte bei machtbasierter Steuerung ist zu diesem Zeitpunkt von untergeordneter Relevanz, da der extensiv-diskontinuierliche Suchprozess die Kombination heterogener Wissensfelder fordert, Hierarchien Wissen jedoch überwiegend technologisch lokal kumulieren. Statische Strukturierung und Anreizstruktur reduzieren zudem (Re-) Aktionsfreudigkeit und -fähigkeit.

Kaum geeignet zur Stimulation technologisch diskontinuierlicher Innovation erscheint abschließend **preisbasierter Wettbewerb**, der einen eingeschränkten Informationszugang sowie geringe Anpassungsfähigkeit, Informationsdichte und Investitionsbereitschaft aufweist. Zudem fehlt hier unter erhöhter Opportunismusneigung die Möglichkeit einer Abstimmung ex ante. Diese Defizite können in der Explorationsphase (noch) nicht durch hocheffiziente Anreizstruktur und dynamische Strukturierung kompensiert werden.

Wettbewerbsgetriebene Exploitation

Die Durchsetzung einer technologischen Paradigma-Trajektorie-Kombination markiert den Übergang zur Exploitationsphase, die einen technologisch kontinuierlichen Charakter bei reduzierter, aber dennoch hoher, Unsicherheit aufweist. Der nun auftretende Innovationsmodus lässt sich als technologisch intensive Exploitation der neuen Trajektorie beschreiben. Dabei handelt es sich gleichsam um einen fokussierten Wettlauf um die Erschließung sich abzeich-

963 Vgl. REDDY/CORT 1989, Seite 18. Die Autoren betonen zudem, dass sich ein Verständnis der Standardisierungsmechanismen nur in Verkettung mit der Kooperationsdynamik erschließt, die technologischer Evolution zu Grunde liegt. Abernathy und Utterback stellen überdies fest, dass sich Koordination und Organisation abhängig vom Standardisierungsgrad verändern. Vgl. ABERNATHY/UTTERBACK 1978, Seite 45

964 Vgl. PORTER 1980, Seite 231 und REDDY/CORT 1989, Seite 18 sowie CAINARCA et al. 1992, Seite 49 ff. und Seite 60 sowie DODGSON 1994, Seite 286. Zur besonderen Eignung kooperativer Koordination externen Lernens im Umfeld hoher technologischer und industrieller Dynamik und Unsicherheit sowie zur Überwindung von Beharrungskräften (*not invented here*-Syndrom) vgl. auch SCHÖN 2013, Seite 130

965 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 45 f.

nender, umfangreicher, intensiver technologischer Opportunitäten in einem pfadgeleiteten und -spezifischen Such- und Lernprozess. Hieraus ergibt sich eine massive Verschiebung des Anforderungsprofils an einen Koordinationsmechanismus, der nun zur Stimulation kontinuierlich-inkrementeller, technischer Innovation geeignet sein muss. Unter diesen veränderten Rahmenbedingungen spielt die **Anreizstruktur (+)** die Schlüsselrolle, um eine schnelle und weitreichende Erschließung der technologischen Möglichkeiten der selektierten Trajektorie zu stimulieren.[966] Da sich das technologische Suchfeld demnach auf die Trajektorie einengt, reduzieren sich mit dem Unsicherheitsgrad auch die Bedeutung von **Informationszugang (o)**, **Anpassungsfähigkeit (o)** sowie **industrieller Strukturdynamik (o)** auf ein komparativ mittleres Niveau. **Investitionsbereitschaft (-)** und Möglichkeit zur Abstimmung **ex ante (-)** weisen unter diesen Rahmenbedingungen eine im Phasenvergleich geringe Relevanz auf. Abschließend ist festzuhalten, dass der zunehmende Trajektoriefokus die Bedeutung von **Informationsdichte (o)** im Verhältnis zur Explorationsphase auf ein mittleres Niveau steigert.

Aus dieser im Vergleich zur Explorationsphase deutlichen Verschiebung von Phasencharakter, Innovationsmodus und abgeleitetem Anforderungsprofil an einen Koordinationsmechanismus zur Stimulation kontinuierlicher Innovation, resultiert die besondere Eignung **preisbasierten Wettbewerbs** für die Exploitationsphase. Dessen unter diesen Rahmenbedingungen hocheffiziente Anreizstruktur und dynamische Strukturierung treiben nun einen trajektoriegeleitet-exploitativen Innovationswettlauf um die Erschließung (noch) umfangreicher, intensiver technologischer Opportunitäten an.[967] In diesem Umfeld reduzierter Unsicherheit animiert die Chance auf höhere Gewinne zur Verbesserung bestehender Produkte und zur Senkung von Kosten im Hinblick auf die bekannten Bedürfnisse der Nachfrager.[968] Die wetteifernden Akteure streben nach höheren Erträgen, der Informationsaustausch konzentriert sich auf Preise und Mengen.[969] Diese Vorteile in Anreizstruktur und Strukturierung überkompensieren, unter reduzierter Unsicherheit und umfangreichen technologischen Möglichkeiten, die in preisbasiertem Wettbewerb geringe Informationsdichte und Investitionsbereitschaft der Akteure sowie die fehlende Abstimmungsmöglichkeit ex ante, obwohl diese Parameter von wachsender Bedeutung sind. Der unter preisbasiertem Wettbewerb eingeschränkte Informationszugang sowie die geringe Anpassungsfähigkeit der Akteure wirken sich in dieser Phase, aufgrund des intensiven Charakters der Innovationsanstrengungen, nur bedingt aus und sind überdies innerhalb des Technologielebenszyklus von schwindender Relevanz.

Machtbasierte Verhaltensanweisung hingegen erscheint in der Exploitationsphase als bedingt geeignet, da ihr im Verhältnis zu preisbasiertem Wettbewerb die Vorzüge von Anreiz-

---

966 Vgl. KASH et al. 2002, Seite 173
967 Vgl. WILLIAMSON 1985, Seite 132, der von *high-powered incentives* des Wettbewerbs spricht.
968 Vgl. SEMLINGER 2010, Seite 45
969 Vgl. HAYEK 1945, Seite 525

struktur und dynamischer Strukturierung fehlen. Auch wenn diese Defizite in dieser Phase (noch) nicht durch höhere Informationsdichte und Investitionsbereitschaft sowie die Abstimmung ex ante kompensiert werden, heben sie die Eignung machtbasierter Verhaltensanweisung zur Stimulation technologisch kontinuierlicher Innovation dennoch komparativ auf ein mittleres Niveau. Ebenso wie preisbasierter Wettbewerb weist machtbasierte Verhaltensanweisung sowohl einen eingeschränkten Informationszugang als auch reduzierte Anpassungsfähigkeit auf, was jedoch aufgrund der Trajektoriespezifität der Explorationsphase von nachrangiger Bedeutung ist. Die Neigung der Akteure zu technologischer Kooperation sinkt im Verlauf der Exploitationsphase stetig.[970]

Vertrauensbasierte Kooperation eignet sich in dieser Phase komparativ wenig zur Stimulation von Innovation.[971] Begründung dafür ist auch hier, dass ihre wesentlichen Vorzüge hinsichtlich Informationszugang, Anpassungsfähigkeit und der Möglichkeit zur Abstimmung ex ante in der Exploitationsphase von ihren komparativen Nachteilen in Anreizintensität und industrieller Strukturierung überkompensiert werden. Die unter vertrauensbasierter Kooperation, verglichen mit preisbasiertem Wettbewerb, erhöhte Informationsdichte und Investitionsbereitschaft sind in dieser Phase von zunehmender Relevanz und heben das Eignungsniveau vertrauensbasierter Kooperation für die Exploitationsphase an. Aufgrund komparativ schwächerer Ausprägung dieser Parameter im Vergleich zu machtbasierter Verhaltensanweisung, ist die Eignung jedoch geringer und verbleibt auf mittlerem bis geringem Niveau. Die eingeschränkte Eignung vertrauensbasierter Kooperation zur Stimulation exploitativer Innovation lässt sich im Kern darauf zurückführen, dass die Durchsetzung eines technologischen Paradigmas die Unsicherheit und damit auch die Kooperationsneigung reduziert.[972] Es ist folglich auch empirisch zu beobachten, dass sich technologische Kooperation und gemeinsame Patentierung im Verlauf des Technologielebenszyklus reduzieren.[973]

Anweisungsgesteuerte Reife

Die abschließende **Reifephase** ist ebenfalls gekennzeichnet durch einen technologisch kontinuierlichen Phasencharakter**,** wobei nun ein geringer Grad technologischer, wie marktbezogener Unsicherheit vorherrscht. Die Industrie ist nun maßgeblich geprägt durch die umfangreiche Basis kumulierten Wissens und dessen Spezifität, das immense Investitionsvolumen und dessen Spezifität sowie ausdifferenziert-spezifische Routinen und die Verbindungen zwischen

970 Vgl. CAINARCA et al. 1992, Seite 51 sowie PYKA 2000, Seite 29

971 Vgl. LEVEQUE et al. 1996, Seite 191. Die Autoren konstatieren in diesem Zusammenhang eine im Vergleich zur Exploration geringe Anzahl exploitativ-kooperativer Vereinbarungen, die an Stelle technologischer Komplementaritäten auf Komplementaritäten im Produktprogramm der Partner basiert.

972 Vgl. DODGSON 1994, Seite 286 f. sowie PYKA 2000, Seite 34

973 Vgl. NESTA/MANGEMATIN 2002. Die Autoren betonen dieses Muster im speziellen für die Zusammenarbeit zwischen öffentlichen und privaten Organisationen.

der reduzierten Anzahl an Akteuren. Der Innovationsmodus dieser spezifischen Phase lässt sich als hochspezialisiert-kapitalintensive sowie technologisch intensive und systemische Exploitation sich erschöpfender technologischer Möglichkeiten der dominanten Trajektorie unter starkem Kosten- und Effizienzfokus beschreiben. Haupterfolgsfaktoren dieses Such- und Lernprozesses bei abnehmenden Renditen technischer Innovation sind **Informationsdichte (+)**, **Investitionsbereitschaft (+)** sowie die **Abstimmung ex ante (+)**. Die hohe Relevanz der Informationsdichte wird allein daran deutlich, dass das im Trajektorieverlauf bereits erschlossene Wissen als Grundlage zur Erschließung verbleibender technologischer Möglichkeiten erforderlich ist. Die auf eine technologische Invention folgende Kommerzialisierung ist in der Reifephase häufig derart spezifisch, weitreichend und kapitalintensiv, dass sowohl eine Abstimmungsmöglichkeit ex ante, als auch eine sehr hohe Investitionsbereitschaft erforderlich sind. Von eingeschränkter Relevanz sind in dieser spezialisiert-systemischen Phase folglich der **Informationszugang (-)** bei bisher unverbundenen externen Akteuren,[974] die **Anpassungsfähigkeit (-)** der Akteure sowie die **Dynamik industrieller Strukturierung (-)**. Abschließend bleibt anzumerken, dass die **Anreizstruktur (o)** in der Exploitationsphase eine veränderte, nun dominierend kostenbezogene Rolle spielt.

Aus der integrierten Sichtweise des Charakters der Reifephase, ihres Innovationsmodus und der daraus folgenden Anforderungen an einen Koordinationsmechanismus zur Stimulation von Innovation, resultiert die phasenbezogen hohe Eignung **machbasierter Verhaltensanweisung**.[975] Sie kombiniert die nun erforderliche (trajektoriespezifische) Informationsdichte und Investitionsbereitschaft in Kombination mit einer konsequenten Abstimmung ex ante und bildet so einen komparativ überlegenen Mechanismus machtbasiert-anweisungsgesteuerter Ausbeutung sich erschöpfender, technologisch intensiver Möglichkeiten. Wissensbezogene und finanzielle Engpässe spielen dabei innerhalb großer Machtverbünde kaum eine Rolle, sodass sie die verbleibenden technologischen Möglichkeiten und Skaleneffekte weitgehend durch machtbasierte Verhaltensanweisung erschlossen werden.[976] Defizite hinsichtlich Informationszugang, Anpassungsfähigkeit und Anreizstruktur treten in diesem Kontext ebenso wie die insgesamt statische Strukturierung in den Hintergrund. Starke, machtbasierte Bindungen und Routinen gewinnen in der Reifephase enorm an Bedeutung.[977] Neben dem komparativen Vorteil machtbasierter Steuerung gegenüber preisbasiertem Wettbewerb bei der Stimulation von radikalen Innovationen in der Explorationsphase, ergibt sich somit ein Eignungsvor-

---

974 Die technologische Basis nun differenziert und überwiegend kodifiziert. Vgl. PYKA 2000, Seite 29

975 Vgl. CAINARCA et al. 1992, Seite 51 f. Die Autoren betonen die hohe Relevanz direkter Kontrolle zur Stimulation technischer Innovation bereits am Übergang von der Exploitations- zur Reifephase. Intensiver Wettbewerb in einem Umfeld sich erschöpfender technologischer Opportunitäten und abnehmender Innovationsrenditen führt dabei verstärkt zu Internalisierung und Konsolidierung.

976 Vgl. PYKA 2000, Seite 29

977 Vgl. ABERNATHY/UTTERBACK 1978, Seite 46 sowie DYER/NOBEOKA 2000, Seite 364 f.

sprung auch in der Reifephase, in der hoher Aufwand zur Erzeugung inkrementeller Innovationen aus sich erschöpfenden technologischen Möglichkeiten nötig ist.[978]

Preisbasierter Wettbewerb hingegen erweist sich zur Stimulation technischer Innovation in der Reifephase als bedingt geeignet, obwohl der sich intensivierende Kostenwettbewerb vordergründig die Anreizstruktur und dynamische Strukturierung als überlegen erscheinen lassen. Im Umfeld der sich erschöpfenden technologischen Trajektorie überwiegen jedoch die Vorzüge machtbasierter Verhaltensanweisung hinsichtlich Informationsdichte, Investitionsbereitschaft sowie der Abstimmung ex ante. Der bedingt bessere Informationszugang unter preisbasiertem Wettbewerb wirkt sich in der Reifephase kaum aus. Keinen Einfluss hat hingegen die bei beiden Koordinationsformen reduzierte Anpassungsfähigkeit. Der kostenfokussierte Wettbewerbscharakter der Reifephase verschafft preisbasiertem Wettbewerb bzw. seiner hocheffizienten Anreizstruktur allerdings einen Eignungsvorteil gegenüber vertrauensbasierter Kooperation.

Vertrauensbasierte Kooperation letztlich lässt in der Reifephase komparativ eine geringe Eignung zur Stimulation technischer Innovation erkennen. Dies ergibt sich einerseits, weil sich die nun dominanten Unternehmungen durch weitgehend ähnliche bzw. kongruente Wissensstrukturen auszeichnen, sodass untereinander praktisch kein Raum zur Erzeugung intensiven technologischen Fortschritts aus Komplementaritäten bleibt.[979] Andererseits ergeben sich aufgrund von technologischer Spezifität und Kumulativität, vor dem Hintergrund des mittlerweile reifen technologischen Paradigmas, auch aus einer Zusammenarbeit mit Akteuren außerhalb des technologischen Regimes kaum Potenziale zur Erschließung technologisch intensiver Opportunitäten.[980] In der Folge laufen die wesentlichen Vorzüge vertrauensbasierter Kooperation in Gestalt von verbessertem Informationszugang, erhöhter Anpassungsfähigkeit und teildynamischer Strukturierung in der Reifephase überwiegend ins Leere. Die technologische Wissensbasis ist ausdifferenziert und überwiegend kodifiziert, die technologische Kooperationsneigung der Akteure stark reduziert.[981] Komparative Eignungsvorteile zu preisbasiertem Wettbewerb hinsichtlich Informationsdichte und Investitionsbereitschaft sowie der Abstimmungsmöglichkeit ex ante werden in einem Umfeld intensiven Kostenwettbewerbs durch Nachteile in der Anreizstruktur überkompensiert.

---

978 Vgl. KLEPPER 1997, Seite 167 f.

979 Vgl. PYKA 2000, Seite 29 sowie DYER/NOBEOKA 2000, Seite 365

980 Vgl. zum Begriff technologischer Regimes Absatz 2.2.3.4

981 Die Bereitschaft der Akteure zu technologischer Kooperation sinkt demnach im Verlauf des Industrie- bzw. Technologielebenszyklus proportional zum Unsicherheitsgrad. Vgl. CAINARCA et al. 1992, Seite 51 und DODGSON 1994, Seite 186 f. sowie PYKA 2000, Seite 29 und Seite 34. An dieser Stelle ist allerdings zu betonen, dass nicht-technologische (vorwiegend intrasektoraler) Kooperation in der Reifephase zur Reduktion von Kosten (vorwiegend durch Skaleneffekte) sowie zur Erlangung von Zugang zu Märkten geeignet ist und somit ansteigt. In der Reifephase ist demnach eine Steigerung der Kooperationseignung und -neigung zu beobachten, die allerdings vorwiegend nicht-technologisch motiviert ist. Vgl. PORTER 1980, Seite 238 ff. sowie REDDY/CORT 1989, Seite 18 und CAINARCA et al. 1992, Seite 52

2.3.6.3 Zyklus der Koordinationseignung zur Stimulation technischer Innovation

Die Dynamik der Anforderungen zur Stimulation der phasenspezifischen Innovationsmodi im Rahmen des Technologielebenszyklus (Abb. 2-8) resultiert, in Kombination mit der Eignung der Koordinationsmechanismen zur Stimulation von Innovation (Tab. 2-3), in einem Koordinationszyklus, der jeden der drei Mechanismen in einer Phase als konzeptionell überlegen identifiziert.

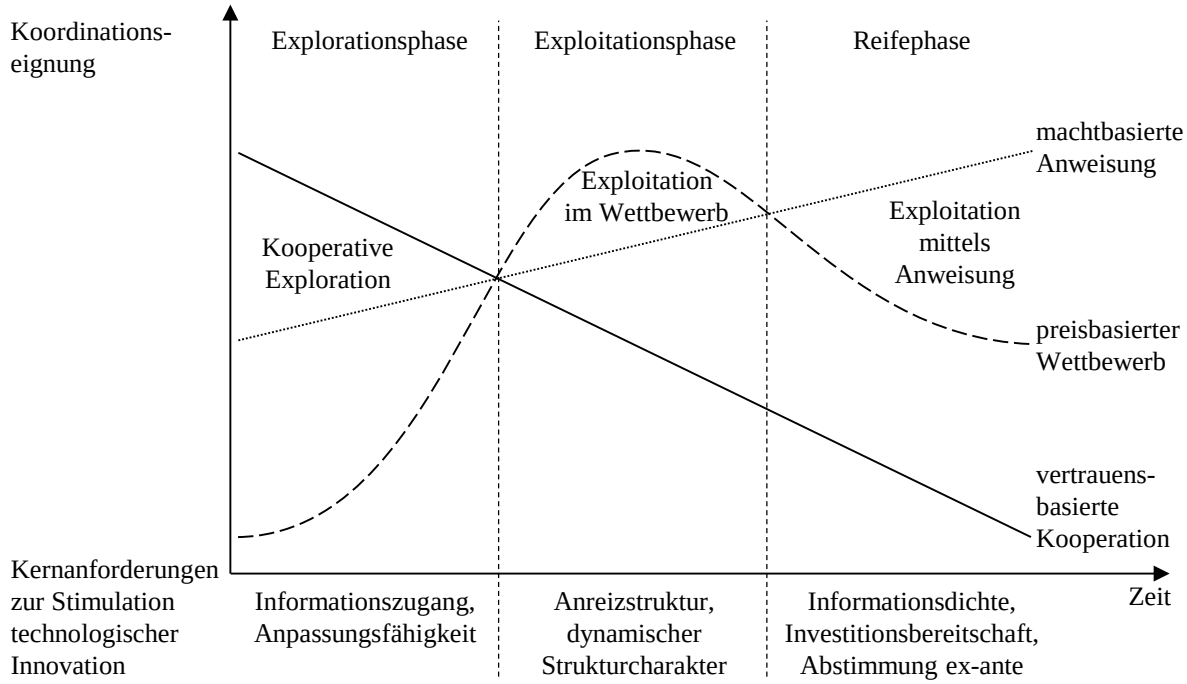


Abb. 2-9: Zyklus der Koordinationseignung zur Stimulation technischer Innovation[982]

Es ergibt sich der in Abb. 2-9 dargestellte Zyklus der Koordinationseignung zur Stimulation technischer Innovation, dessen Dreiphasigkeit aus **kooperativer Exploration** (gemeinsam entdecken), **wettbewerbsgetriebener Exploitation** (im Wettstreit erschließen) und **anweisungsgesteuerter Exploitation** (abgestimmt-systemisch erschließen) der Koordination technologischen Fortschritts einen Rhythmus verleiht.[983]

Auf Basis dieses Grundverständnisses erscheint es für Unternehmungen vielversprechend ihren Koordinationsmechanismus abhängig von Zielsetzung bzw. phasenspezifischem Innovati-

[982] Eigene Darstellung

[983] Diese Koordinationsdynamik äußert sich auch auf struktureller Ebene, sodass netzwerkmetrisch in der explorativen Phase aufgrund des Eintritts neuer Akteure eine abnehmende Dichte (*density*) und in den exploitativ Phasen aufgrund von Austritten und industrieller Konsolidierung eine zunehmende Dichte industrieller Netzwerke festzustellen ist. Bei den Zentralitätsmaßen (*degree*, *closeness* und *betweenness*) ist im Verlauf des Technologielebenszyklus entsprechend eine Zunahme zu beobachten. Vgl. PYKA 2011, Seite 17 ff.

onsmodus anzupassen.[984] In der **technologischen Explorationsphase** erweist sich vertrauensbasierte Kooperation zur Stimulation technischer Innovation bzw. der Entstehung eines neuen technologischen Paradigmas unter hoher Unsicherheit als überlegen. Technologische Exploration ist somit insbesondere die Stärke vertrauensbasiert-kooperativer Netzwerke mit schwachen Bindungen.[985] Zur Stimulation der Erschließung umfangreicher, technologisch intensiver Möglichkeiten im Rahmen der **technologischen Exploitationsphase** hingegen, ist preisbasiertem Wettbewerb komparativ das höchste Potenzial zu attestieren. In der abschließenden **technologischen Reifephase** entfaltet machtbasierte Verhaltensanweisung ihren Vorteil zur Stimulation technologisch intensiver Innovation als Prozess systemischer Ausbeutung sich erschöpfender technologischer Opportunitäten, bei geringem Unsicherheitsgrad und immenser Kapitalintensität.

2.3.7 Kooperation bei technologischem Paradigmenwechsel

Aufbauend auf dem im vorherigen Abschnitt dargestellten, zyklischen Verlauf der Koordinationseignung zur Stimulation von Innovation im Verlauf technologischer Entwicklung, fokussiert dieser Abschnitt auf die Rolle vertrauensbasierter Kooperation in Phasen technologischen Paradigmenwechsels. **Auslöser der Diskontinuität** ist entweder ein technologischer Durchbruch abseits des aktuellen Paradigmas oder die Erschöpfung seiner der technologischen Möglichkeiten.[986] Im ersten Fall eröffnet sich unerwartet und phasenunabhängig ein aus aktueller Perspektive extensives Feld technologischer Opportunitäten, dem das vorhandene Paradigma hinsichtlich der Befriedigung des Anforderungssets der Nachfrage nicht folgen kann. Im zweiten Fall hingegen erzwingt entweder die Erschöpfung der technologischen Möglichkeiten des aktuellen Paradigmas in seiner Reifephase und/oder eine Veränderung des Anforderungssets der Nachfrage,[987] der die aktuelle technische Lösung wiederum nicht oder nur unzureichend genügen kann, eine extensive Suche nach technologischen Alternativen.[988] Die Auffassung von Produktleistung wird dabei neu definiert und die Unternehmen müssen sich auf ein neues Set von Anforderungen, Werten und Problemstellungen konzentrieren.[989]

---

984 Vgl. RICHARDSON 1972, Seite 892. Der Autor unterscheidet im Besonderen zwischen der Koordination von Exploration und Exploitation.

985 Vgl. DYER/NOBEOKA 2000, Seite 365

986 Vgl. Absatz 2.2.3.5

987 Negative Auswirkungen der Übernutzung des aktuellen Paradigmas sind in diesem Kontext als Treiber einer Veränderung des Anforderungssets der Nachfrage zu interpretieren.

988 Der sich im ersten Fall unvermittelt einstellende technologische Durchbruch, der den Grundstein einer neuen Paradigma-Trajektorie-Kombination bildet, muss im zweiten in einem experimentell-explorativen Such- und Lernprozess erst erarbeitet werden. Da das zweite Szenario somit das umfassendere darstellt und darüber hinaus dem Schwerpunkt dieser Untersuchung entspricht, wird im weiteren Verlauf hierauf fokussiert.

989 Vgl. CHRISTENSEN/ROSENBLOOM 1995, Seite 253. Die Autoren verweisen in diesem Zusammenhang auf die der technologischen Trajektorie (technologische Angebotsseite hinsichtlich des Leistungsniveaus) gegenüberstehende Trajektorie des Anforderungssets Nachfrage (nachgefragtes Leistungsniveau). Vgl. CHRISTENSEN/ROSENBLOOM 1995, Seite 255

Als zentrales Merkmal diskontinuierlicher Phasen technologischen Paradigmenwechsels ergibt sich demnach die **Koevolution** der Reifephase der aktuellen Technologie bzw. ihres Paradigmas mit der Explorationsphase der Alternativen. Das **bisher dominante Paradigma** sowie sein technologisches Regime befinden sich in der Reifephase, die einen kontinuierlich-spezifisch-systemisch-kapitalintensiven Charakter und einen exploitativen Innovationsmodus zur Erschließung sich erschöpfender, technologisch intensiver Opportunitäten aufweist. Die Koordination des paradigmenspezifischen Lernprozesses erfolgt überwiegend innerhalb der Unternehmungen (des Oligopols) durch machtbasierte Verhaltensanweisung, da dieser Mechanismus zur Stimulation des Innovationsmodus dieser Phase komparativ überlegen ist.[990] In diesem Umfeld starken Kostenwettbewerbs, geringer Unsicherheit, hohen Reife- und Standardisierungsgrads sowie starker intraindustrieller Interdependenz tritt technische Innovation in den Hintergrund. Die geringe und weiter sinkende Rate inkrementeller Neuerungen erzeugt abnehmende Innovationsrenditen auf Basis einer überwiegend ausdifferenzierten und kodifizierten technologischen Wissensbasis, wobei Informationsdichte, Investitionsbereitschaft und eine konsequente Abstimmung ex ante Schlüsselrollen spielen. Die **emergenten technologischen Alternativen** hingegen befinden sich zeitgleich in der Explorationsphase, ihre noch volatilen technologischen Regimes bei reduzierten Markteintrittsbarrieren in der Entstehungsphase, die einen diskontinuierlich-fluiden Charakter sowie einen extensiv-explorativen Innovationsmodus zur Identifikation und Erschließung neuer Felder umfangreicher technologischer Opportunitäten aufweisen. Der präparadigmatisch-experimentelle Such- und Lernprozess erfordert die flexible Einbeziehung externer Wissensquellen, sodass vertrauensbasierte Kooperation koordinativ überlegen ist.[991] Unter diesen Rahmenbedingungen technologieübergreifenden Innovationswettbewerbs, gleichsam hoher Unsicherheit und Produktdiversität sowie geringer technologischer Reife, Standardisierung und industrieller Interdependenz liegt der explorative Schwerpunkt auf radikalen Produktinnovationen zur neuartigen Befriedigung eines veränderten oder neuen Anforderungssets der Nachfrage. Die hohe Rate tiefgreifender Produktinnovationen erwächst aus einer unscharfen und überwiegend unkodifizierten, technologischen Wissensbasis, sodass Informationszugang, absorptive Fähigkeiten und Anpassungsfähigkeit zentrale Erfolgsfaktoren darstellen.

---

990 Vgl. zur Koordination mittels machtbasierter Verhaltensanweisung grundlegend Abschnitt 2.3.2, zur Phasenlogik von Technologie- und Industrielebenszyklus grundlegend Absatz 2.2.3.6, zur Eignung machtbasierter Verhaltensanweisung zur Stimulation von Innovation im Allgemeinen Absatz 2.3.6.1 sowie zur konzeptionell-komparativen Überlegenheit von machbasierter Verhaltensanweisung bei der Stimulation von Exploitation in der technologischen Reifephase Absatz 2.3.6.2.

991 Vgl. zur Koordination mittels vertrauensbasierter Kooperation grundlegend Abschnitt 2.3.2, zur Phasenlogik von Technologie- und Industrielebenszyklus grundlegend Absatz 2.2.3.6, zur Eignung vertrauensbasierter Kooperation zur Stimulation von Innovation im Allgemeinen Absatz 2.3.6.1 sowie zur konzeptionellen Überlegenheit vertrauensbasierter Kooperation bei der Stimulation von Exploration Absatz 2.3.6.2.

Die Dynamik dieser Koevolution setzt das aktuelle technologische Paradigma und damit das **dominante technologisches Regime** aus ökonomischen, sozialen und/oder ökologischen Gründen unter Druck. Die zunehmende **Bedrohung durch technologische Alternativen** motiviert die Akteure in dieser Phase zu verstärkter, intensiver Exploitation mit Schwerpunkt auf das dynamische Werte- und Anforderungsset der Nachfrage.[992] Die resultierende Aufwertung des aktuellen Paradigmas verzögert den Transformationsprozess und verschafft den Akteuren somit unter Wahrung ihrer dominanten Position Zeit für Anpassungs- und Explorationsprozesse. Bezogen auf das aktuelle Paradigma ergibt sich demnach neben technologischer Exploitation auch eine strukturelle Exploitationsebene, im Rahmen derer die Akteure die Vorzüge ihrer dominanten Position ausbeuten. Neben dieser Strategie routinierter Exploitation der reifen Technologie zur temporären Stabilisierung des Paradigmas, engagieren sich die Akteure jedoch auch explorativ mit dem Ziel der Erhaltung ihrer dominanten Position auch in einem technologischen Folgezyklus. Sie befinden sich dabei allerdings in dem Dilemma, dass eben die Beherrschung des Innovationsmodus paradigmenspezifischer Exploitation, die sie innerhalb des bisherigen Zyklus zur Einnahme ihrer dominanten Position befähigt hat, sie nun routine- und strukturbezogen in eine inferiore Ausgangssituation hinsichtlich technologieübergreifender Exploration bringt.[993] Die für ihre bisherige Selektion ursächlichen, technologisch intensiven Fähigkeiten (*core capabilities*) erzeugen einen **Gegenpol technologisch extensiver Rigidität** (*core rigidities*), der diskontinuierliches Lernen und Innovation hemmt.[994] Es besteht gleichsam ein *Erfolgsparadoxon* bzw. eine *kompetenzbezogene Pathologie* oder *Kompetenzfalle* als Konsequenz historisch eingeschränkten Verhaltens, dessen Tragweite bis zur Paralyse gehen kann.[995] Die geringe oder gar fehlende Ausprägung explorativer Fähigkeiten führt überdies, in Kombination mit den Defiziten machtbasierter Verhaltensanweisung in Hierarchien zur Stimulation von Exploration, zu Nachteilen gegenüber den Herausforderern, die in der Explorationsphase in den Markt eintreten.[996] Vertreter bestehender technologischer Regimes tendieren folglich routinebasiert bevorzugt dazu, Technologien hervorzubringen, die Kundenbedürfnisse auf eine zu ihrem bisherigen (technologischen) System kompatible Art und Weise befriedigen.[997] Ihr Explorationsbereich ist folglich eingeengt und begünstigt die Erzeugung von zu neuen Wertesystemen in- oder lediglich teilkompatiblen Neuerungen. So ergeben sich, auch weil radikale Innovation ehemals erfolgskritisches, technologisches Wis-

---

992 Dieser Effekt wurde auch bei der Bedrohung von Segelschiffen durch Dampfschiffe nachgewiesen (*sailing ship effect)*. Vgl. GEELS 2005, Seite 272 sowie GRANSTRAND 2010, Seite 226

993 Vgl. zu den verhaltensökonomischen Grundlagen Absatz 2.2.3.1

994 Vgl. LEONARD-BARTON 1992, Seite 111 ff.

995 Vgl. TUSHMAN et al. 1997, Seite 4 f.

996 Vgl. CHRISTENSEN/ROSENBLOOM 1995, Seite 235

997 Vgl. BETSCHINGER 2010, Seite 25 ff. und CHRISTENSEN/ROSENBLOOM 1995, Seite 255 f. Die Autoren betonen, dass die Akteure des etablierten Paradigmas Schwierigkeiten haben ihre Ressourcen auf Innovationen zu konzentrieren, die nicht die wohlbekannten Bedürfnisse ihrer vorhandenen Kunden adressieren.

sens entwertet, häufig Anpassungsprobleme.[998] Diese äußern sich auch in Form von Veränderungs- bzw. Wechselwiderständen,[999] die sich u. a. in Form von *not invented here*-Verhalten oder interner Lagerbildung unter den Arbeitnehmern ausprägen.[1000] Zentrale Herausforderung dieser Akteursgruppe ist somit die **Simultanität von paradigmenspezifisch-intensiver Exploitation und präparadigmatisch-extensiver Exploration**.

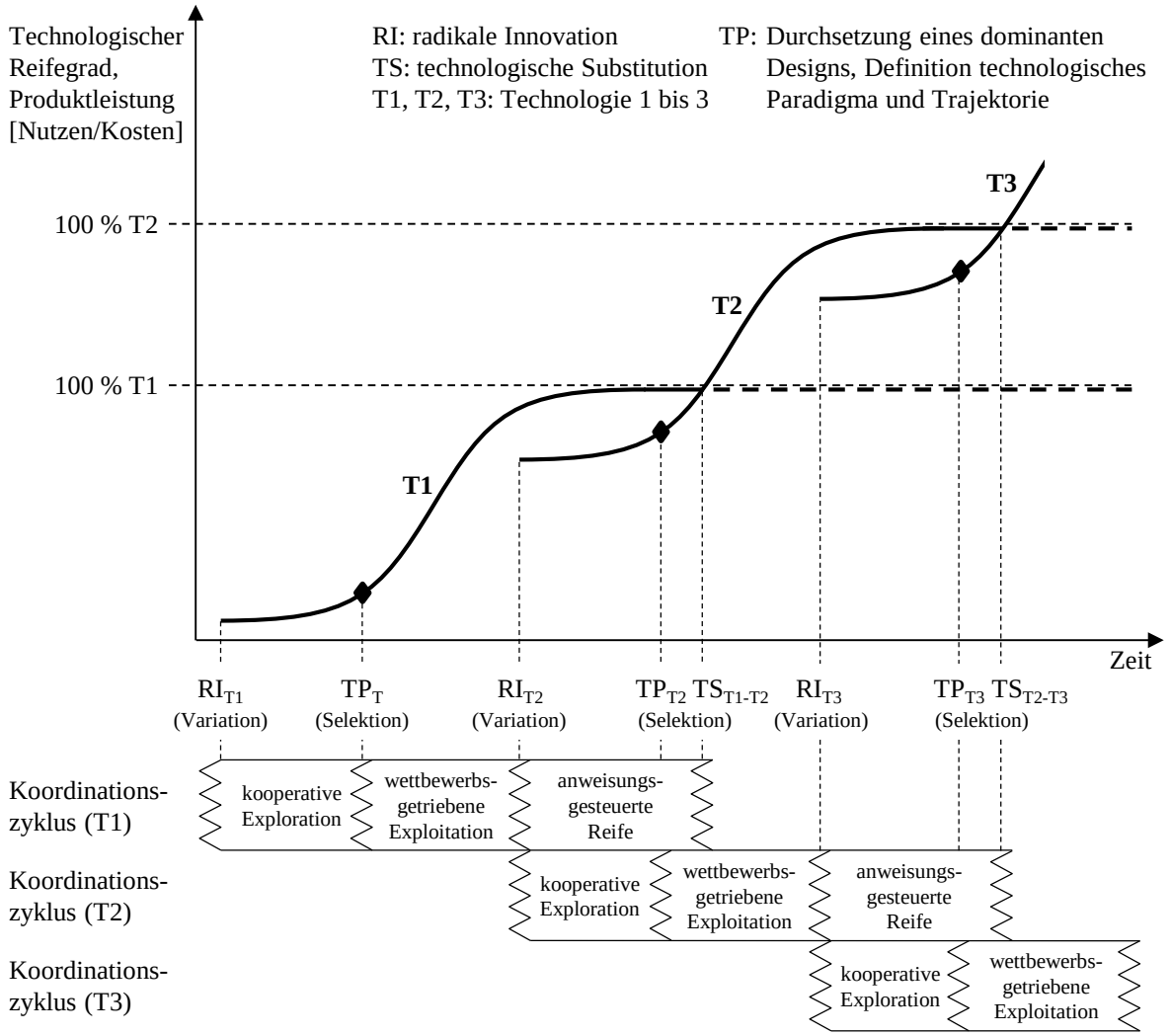


Abb. 2-10: Simultan-heterogene Koordination von Innovation bei Paradigmenwechsel[1001]

998 Vgl. DOSI/NELSON 2009, Seite 51 sowie zur Kompetenzauswirkung von Innovation Absatz 2.2.1.2

999 Vgl. zu Widerständen im technologischen Such- und Wechselprozess übergreifend Abschnitt 2.2.3 sowie im Speziellen Absatz 2.2.3.1 und Absatz 2.2.3.5

1000 Die Verhaltensneigung einzelner Agenten (Arbeitnehmer) verhält sich gegenläufig zur der auf Unternehmensebene. Während technologische Exploitation innerhalb einer Unternehmung bzw. eines technologischen Regimes die Kooperationsneigung durch gemeinsame Ziele steigert, führen gegenläufige Ziele zwischen den Vertretern alter und neuer Technologie in der Explorationsphase zu reduzierter Kooperationsneigung bzw. Wettbewerb. Vgl. HERNANDEZ/DEWICK 2011, Seite 220

1001 Eigene Darstellung

Unternehmungen, welche die Kombination dieser Innovationsmodi beherrschen, prägen Verlauf und Übergänge von Technologiezyklen durch Innovationsströme auf beiden Ebenen und werden als *beidhändig* (*ambidextrous*) bezeichnet.[1002]Diese Dualität erfordert allerdings eine intraorganisationale Heterogenität. Paradigmenspezifisch-intensive Exploitation mittels inkrementeller Innovation bedarf eher strukturierter Rollen und Verantwortlichkeiten, zentralisierter Prozesse, effizienzorientierter Kulturen, hochtechnisierter Arbeitsprozesse und umfangreicher Produktions- und Absatzfähigkeiten.[1003] Zur Ausprägung dieser Voraussetzungen sowie der zur Stimulation dieses Innovationsmodus wesentlichen Informationsdichte, Investitionsbereitschaft und Abstimmungsmöglichkeit ex ante, eignet sich auf Basis langjährig ausgeprägter, spezifischer Wissensbasis, Aspirationsniveaus, Routinen und Strukturen eher eine unternehmensinterne Koordination mittels machtbasierter Verhaltensanweisung. Die in technologisch diskontinuierlichen Phasen simultan erforderliche, präparadigmatisch-extensive Exploration mittels radikaler Innovation hingegen erfordert eher kleine Einheiten mit flexiblen und dezentralen Strukturen und Prozessen, experimentellen Kulturen sowie stark unternehmerischen und technologischen Kompetenzen.[1004] Die Möglichkeit zur Schaffung dieser Rahmenbedingungen sowie die Eröffnung von Wissenszugängen, die Verbesserung von Anpassungsfähigkeit und die Eröffnung einer Abstimmungsmöglichkeit ex ante macht vertrauensbasierte Kooperation zu einem superioren Koordinationsmechanismus technologischer Exploration.[1005]

Die **Herausforderer** hingegen treten unter verminderten Markteintrittsbarrieren in die technologische Explorationsphase ein und konzentrieren Ihre Anstrengungen auf den Explorationsmodus, wobei sie sich sowohl untereinander als auch mit den Vertretern des aktuellen technologischen Paradigmas im Wettbewerb befinden. Ziel ihrer Anstrengungen ist die Durchsetzung einer neuen Paradigma-Trajektorie-Kombination, in deren Zyklusverlauf sie ebenfalls die Einnahme einer dominanten Position anstreben. Dabei befinden sie sich gegenüber den etablierten Herstellern in vorteilhafter Ausganssituation, da sie häufig keine Vorprägung nach industrieller Reifecharakteristik aufweisen, die sie routinebezogen und strukturell in der Exploration hemmt. Dieser Zusammenhang kann als **Vorteil der Herausforderer** (*attacker's advantage*) bezeichnet werden,[1006] die sich folglich, unter konsequenter Orientierung an neuen Leistungscharakteristika innerhalb des neuen Werte- und Anforderungssets, auf technologische Exploration fokussieren. Relevante technologische Vorkenntnisse verbessern dabei zusätzlich ihre Ausgangssituation und damit ihre Chancen sich zu dominanten Vertre-

[1002] Vgl. TUSHMAN et al. 1997, Seite 5 ff. sowie PROFF 2012, Seite 259 ff.
[1003] Vgl. TUSHMAN et al. 1997, Seite 14
[1004] Vgl. TUSHMAN et al. 1997, Seite 14
[1005] Diese These stützt auch Dolata, der dies anhand der Historie der Pharmaindustrie begründet. Vgl. DOLATA 2008a, Seite 48 sowie DOLATA 2011, Seite 269
[1006] Vgl. CHRISTENSEN/ROSENBLOOM 1995, Seite 233 ff.

tern des aufkommenden Paradigmas zu entwickeln.[1007] Die häufig kleinen und mittleren Unternehmungen besitzen zudem, u. a. aufgrund von geringerem internem Leistungsspektrum und schlankeren Strukturen, eine grundsätzlich erhöhte externe Orientierung und Anpassungsfähigkeit. Ihre geringere Unternehmensgröße reduziert überdies die Bedenken potenzieller Partner vor unkontrollierter Wissensdiffusion, wodurch Vertrauens- und Kooperationsbildung erleichtert wird.[1008] Es ist somit festzuhalten, dass in Phasen technologischen Paradigmenwechsels die Herausforderer sowohl hinsichtlich des Explorationsmodus als auch bzgl. dessen vertrauensbasiert-kooperativer Koordination superiore Voraussetzungen mitbringen. Kooperation ist für sie sowohl aus technologischen als auch aus nicht-technologischen Gründen vielversprechend, da für die oftmals kleinen und mittleren Unternehmungen Finanzierungsengpässe, speziell unter sehr hohem Unsicherheitsgrad, eine wesentliche Rolle spielen. Aufbauend auf ihren superioren Voraussetzungen werden die Herausforderer und ihre kooperativen Verbünde so zu den Triebfedern der Erneuerungsdynamik von Industrien.[1009]

Es lässt sich somit **resümieren**, dass sich in diskontinuierlichen Phasen technologischer Entwicklung ein Selektionswettbewerb sowohl auf Technologie- als auch auf Akteursebene abspielt. Innerhalb dieses Transformationsprozesses hängt das Verhalten einzelner Akteure von Dynamik und Struktur der Technologie sowie von individueller Historie, Ausganssituation und Zielsetzung ab.[1010] Zudem befinden sich die in den Markt eintretenden Herausforderer oftmals in einer technologisch und koordinativ vorteilhaften Ausgangssituation. Koordination mittels vertrauensbasierter Kooperation kann in diesem Kontext ihr volles Potenzial entfalten und stellt phasenbezogen seinen superioren Koordinationsmechanismus zur Stimulation des erforderlichen Explorations- bzw. Innovationsmodus dar. Technologische Kooperation bietet dabei verhaltensbezogene, innovationsprozessbezogene und technologiebezogene Potenziale überlegener Koordination. Sie eröffnet **verhaltensbezogen** sowohl die Möglichkeit zur Reduktion von Unsicherheit bzw. Opportunismus unter den Partnern, als auch zur Weiterentwicklung organisationaler Aspirationsniveaus und Routinen.[1011] Diese Aspekte sozialer Kohäsion und der Dynamisierung von Fähigkeiten und Routinen spielen innerhalb des extensiv-experimentellen Innovationsmodus mit stark externer Orientierung und zahlreichen (neuen) Partnern eine Schlüsselrolle, v. a. um verkrustete Strukturen aufzubrechen und die Voraussetzungen für extensives Lernen zu schaffen.[1012] Zur Stimulation bzw. Bewältigung des explorativen Innovationsmodus eröffnet sich ferner ein **innovationsprozessbezogenes** Feld koopera-

[1007] Vgl. KLEPPER/SIMONS 2000, Seite 997 ff., die dies anhand von Radio- und TV-Industrie aufzeigen sowie KLEPPER 2002, Seite 662
[1008] Vgl. Absatz 2.3.6.1
[1009] Vgl. DOSI/NELSON 2009, Seite 51
[1010] Vgl. SUAREZ 2004, Seite 279
[1011] Vgl. Absatz 2.3.4.1
[1012] Vgl. DODGSON 1993, Seite X

tiver Vorzüge hinsichtlich externer Vernetzung, Standardisierung, Prozessbeschleunigung, Flexibilisierung, Qualitätssteigerung, Ressourcenzugang, Kostenreduktion sowie prozessualer Lern- und Verbundeffekte.[1013] Im Kontext eines Verständnisses des Innovationsprozesses als systemintegrierter Netzwerkprozess bietet vertrauensbasierte Zusammenarbeit somit eine verbesserte Grundlage eines kollektiven Such-, Experimentier- und Lernprozesses bei umfangreichem Informationszugang und verbesserter Anpassungsfähigkeit auf Akteurs- und Netzwerkebene sowie vertrauensbasierter Abstimmung ex ante. Der Umgang mit den Eigenschaften technologischen Wissens und die Dynamisierung von Wissensbasis und Fähigkeiten mittels interaktiven von- und miteinander Lernens bildet einen **wissensbezogenen** Bereich kooperativer Vorzüge. Vertrauensbasierte Zusammenarbeit eröffnet hier die Möglichkeit eines verbesserten Umgangs mit eingeschränkter Kodifizierbarkeit, Technologiespezifität und Komplexität technologischen Wissens sowie technologischer Unsicherheit unter erhöhter Transparenz und der Möglichkeit zur Internalisierung technologischer Externalitäten.[1014] Im Rahmen der Explorationsphase spielen kooperativ-extensive Identifikation, Verarbeitung und Integration relevanten Wissens[1015] sowie der Umgang mit technologischer Unsicherheit[1016] Schlüsselrollen. Vertrauensbasierte Zusammenarbeit ermöglicht hier die Überwindung kognitiver Distanz in Lernprozessen bei unscharfer und weitgehend unkodifizierter bzw. unkodifizierbarer Wissensbasis (*tacit learning*).[1017] Zudem erlaubt Kooperation die Ausschöpfung des Potenzials technologisch lokalen Lernens sowie die Kombination innovationsfördernder Heterogenität und synergetischer Konvergenz zur Bewältigung technologischer Komplexität im Rahmen der Koevolution technologischer Komplexität und Opportunitäten.[1018]

[1013] Vgl. Absatz 2.3.4.2
[1014] Vgl. Absatz 2.3.4.3
[1015] Vgl. ABERNATHY/UTTERBACK 1978, Seite 45 f.
[1016] Vgl. PYKA 2000, Seite 29
[1017] Vgl. DYER/NOBEOKA 2000, Seite 348 sowie Seite 351 und KASH et al. 2002, Seite 177
[1018] Vgl. KASH et al. 2002, Seite 165 sowie Seite 184

3 Technologischer Paradigmenwechsel im Antrieb des Automobils

Basierend auf dem bereits dargelegten theoretischen Rahmen widmet sich dieses Kapitel dem Anwendungsfeld dieser Untersuchung. Da die historische Entwicklung des Automobils und insbesondere seiner Antriebstechnik die Grundlage aktueller und zukünftiger Entwicklung in diesem Bereich bildet, wird sie in Teilkapitel 3.1 erörtert. Darauf aufbauend werden in Teilkapitel 3.2 die Ursachen schwindender Nachhaltigkeit des aktuellen technologischen Antriebsparadigmas analysiert und der resultierende Innovationsdruck auf einen Paradigmenwechsel herausgearbeitet. Teilkapitel 3.3 beschäftigt sich konsistenzorientiert mit den Perspektiven alternativer technologischer Paradigmen, wobei der mit erneuerbare Energien versorgte elektrische Antrieb nachhaltigkeitsbezogen als aktuell vielversprechender Gegenentwurf und somit als anzustrebendes Paradigma identifiziert wird. Eine detaillierte Analyse des konventionellen und elektrischen Antriebs hinsichtlich technologischem Reife- und Kostenstatus verdeutlicht dabei die Charakteristik des bevorstehenden Paradigmenwechsels über eine temporäre Phase der Hybridisierung. Eine Zusammenfassung des Kapitels erfolgt letztlich in Teilkapitel 3.4, wobei der graduellen Rekonfiguration auf technologischer und industrieller Ebene besondere Aufmerksamkeit zukommt.

3.1 Historie des Automobils und seiner Antriebstechnik

Ein Leben ohne Bewegung ist für den Menschen undenkbar, Bewegungslosigkeit wird gar mit Tod gleichgesetzt.[1019] Das Streben nach Bewegungsfreiheit und Unabhängigkeit ist im Wesen des Menschen so tief verwurzelt, dass er schon immer Möglichkeiten gesucht und genutzt hat, seine Mobilität zu steigern. [1020] Ein erster Schritt dabei war die Domestizierung von Tieren, die dem Menschen bereits vor Jahrtausenden das Reiten erlaubte. Eine Erweiterung der Möglichkeiten brachte die der Erfindung des Rades, das an Wägen angebracht und mit Zugtieren zu **Fuhrwerken** kombiniert wurde. Dabei ist es wesentlich zu bemerken, dass in dieser Kombination zwei Grundfunktionen entkoppelt wurden. Während der Wagen bzw. das Rad das geladene Gewicht trugen, übernahmen die Tiere die Antriebsfunktion. Als jedoch im 19. Jahrhundert die Urbanisierung den Mobilitätsbedarf und das Hygienebedürfnis der Menschen steigen ließ, wurde die Nutzung von Pferden aufgrund der Exkremente, die die Tiere in den Straßen hinterließen, zunehmend negativ wahrgenommen.[1021] Somit war dem technologisch ausgereiften, pferdebasierten Antrieb in diesem Kontext ein Mangel an technologischen Möglichkeiten zu bescheinigen. Über dieses Dilemma hinaus intensivierte sich das Bedürfnis nach höherer Geschwindigkeit und Reichweite bei verbessertem Komfort. Daher konnte das

[1019] Vgl. GRUDEN 2008, Seite 7
[1020] Vgl. GRUDEN 2008, Seite 329
[1021] Vgl. GEELS 2005, Seite 150 f. und Seite 155

auf Pferden basierende technologische Mobilitätsparadigma Ende des 19. Jahrhunderts der Dynamik des Anforderungssets der Nachfrage nicht mehr folgen. Das (städtische) Mobilitäts- und Transportregime öffnete sich bzw. wurde fluider und alternative Techniken konkurrierten um die Gunst von Investoren und Kunden.[1022] Verschobene Präferenzen der Nachfrage bereiteten die Plattform dafür, dass sich, speziell in Städten der USA, **elektrische Straßenbahnen** und **Fahrräder** verbreiteten.[1023]

In eben diese Dynamik drängten die technologisch unreifen und bisher lediglich in Marktnischen vorhandenen **Automobile**, die aus einer Kombination von Kraftmaschinen und Wägen entstanden.[1024] Da bereits damals Dampf-, Verbrennungskraft- und elektrische Maschinen bekannt waren, ergab sich ein Wettbewerb dreier Basisdesigns im Antrieb bzw. ihrer technologischen Regimes.[1025] So bauten Cugnot (1769) und Trevithick (1803) durch Kombination von Wägen und Dampfmaschinen erste Automobile.[1026] Frühe, durch elektrische Maschinen angetriebene, Automobile wurden bspw. durch Davenport (1834), Anderson (1839), Davidson (1842) und Trouve (1881) erstellt.[1027] Trotz bereits früherer Versuche mit Verbrennungskraftmaschinen gilt das mit einem Hubkolbenmotor angetriebene Automobil von Carl Benz, welches er im Jahr 1886 der Öffentlichkeit vorstellte, als erstes Automobil mit Verbrennungsmotor.[1028] Der **Wettbewerb dieser Basisdesigns** prägte die technologische Explorations- bzw. industrielle Entstehungsphase des Automobils und seiner Industrie. Dabei vollzog sich eine Koevolution zwischen den Antriebsdesigns, ihren technologischen Regimes und der sozio-kulturellen Ebene der Nachfrage. Bereits in den frühen 1890er Jahren waren die konzeptionellen technischen Probleme der drei Antriebsdesigns weitgehend gelöst und die technische Machbarkeit nachgewiesen.[1029] Mit Blick auf ökonomische, soziale und ökologische Selektionsparameter erschienen zu dieser Zeit alle drei als vielversprechend, da sie, im Vergleich zu Pferdefuhrwerken, die zentralen Anforderungen gesteigerter Mobilität und Hygiene

---

[1022] Vgl. GEELS 2005, Seite 156

[1023] Für eine auf den städtischen Personenverkehr der USA bezogene Darstellung der sozio-technischen Transformation des dominanten Verkehrsmittels von Pferdefuhrwerken zu elektrischen Straßenbahnen und anschließend zu Automobilen vgl. GEELS 2005, Seite 144 f. und Seite 156 ff.

[1024] Der Begriff Automobil ist eine Verbindung des griechischen Wortes für *selbst* (*auto*) und des lateinischen Begriffes für *beweglich* (*mobilis*) und bezeichnet Vehikel, die zur Fortbewegung weder auf die Kraft von Menschen, noch von Tieren angewiesen sind. Im Rahmen dieser Untersuchung bezieht sich der Begriff Automobil auf Personenkraftwägen, d. h. auf mehrspurige Fahrzeuge, die durch Kraftmaschinen angetrieben werden und überwiegend zur Personenbeförderung bestimmt sind. Für eine umfassende Darstellung der Historie der Automobilindustrie vgl. BOCH 2001.

[1025] An dieser Stelle ist hervorzuheben, dass die Kombinatorik aus Wagen und Kraftmaschine nicht direkt zu einer Neukonzeption bewährter Wagen- bzw. Fahrzeugarchitektur führte. Erste Automobile entstanden also durch einen *Conversion-Design-Ansatz* aus Wägen. Vgl. Absatz 2.2.1.2

[1026] Dampfmaschinengetriebe Busse wurden in London bereits in den 1830er Jahren kommerziell eingesetzt. Vgl. GEELS 2005, Seite 153

[1027] Vgl. NAUNIN 2007, Seite 1 und GEELS 2005, Seite 153 sowie HETTICH 2010, Seite 100

[1028] Vgl. GRUDEN 2008, Seite 8 f. sowie NAUNIN 2007, Seite 1

[1029] Vgl. GEELS 2005, Seite 163

erfüllten. Zwar hatte jedes Antriebsdesign spezifische Vor- und Nachteile, dennoch war in dieser Phase noch völlig unsicher, welches sich langfristig durchsetzen würde.[1030] Der offene Wettbewerb der Basisdesigns wird beispielhaft daran deutlich, dass im Jahr 1900 in den USA 1.681 Dampfautomobile (40 %), 1.575 Elektrofahrzeuge (38 %) sowie 929 (22 %) Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor verkauft wurden.[1031] Die antriebsspezifischen Eigenschaften der Fahrzeuge führten in dieser Zeit dazu, dass elektrisch angetriebene Fahrzeuge für Kurzstrecken v. a. in Städten und verbrennungsmotorgetriebene Automobile für längere Strecken und höhere Geschwindigkeiten außerhalb von Städten eingesetzt wurden, wobei diese Nischen weitgehend getrennt koexistierten.[1032] Zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts waren Automobile nach wie vor in Handarbeit gefertigte, kundenindividuelle Luxusgüter.[1033] Umgerechnet auf das heutige Kaufkraftniveau kostete ein Automobil zu dieser Zeit nahezu 100.000 €.[1034] In den Jahren nach 1900 intensivierte sich der technologische Wettbewerb, wobei Benutzerfreundlichkeit, Geschwindigkeit, Reichweite, Wartungsfreiheit, Sicherheit und Lebensdauer entscheidende Zielparameter bildeten, denen allerdings bis dahin keines der Designs gerecht werden konnte. **Dampfbetriebene** Automobile waren sehr schwer (oft mehrere Tonnen) und hatten, trotz guter Fahrwerte, die entscheidenden Schwächen, dass vor jeder Fahrt ein Aufheizen erforderlich war, sich im Betrieb starker Rauch entwickelte und die Gefahr einer Kesselexplosion bestand. Wesentliche Nachteile **elektrisch** angetriebener Automobile dagegen waren Preis und Gewicht der Batterien, die nur geringe Reichweiten ermöglichten und lange Ladezeiten benötigten. **Verbrennungsmotoren** erforderten komplizierte Schalt- und Getriebetechnik, waren besonders laut, verunreinigten die Luft am stärksten und mussten per Kurbel manuell gestartet werden.[1035] Dieser noch immer nicht marktgerechte technologische Reifestatus der Basisdesigns stimulierte den Explorationswettbewerb weiter, wobei alle Konzepte Verbesserungen erfuhren. Der Wettbewerb der Basisdesigns verschob sich zu Beginn des 20. Jahrhunderts jedoch zu Gunsten der Verbrennungskraftmaschinen, sodass im Jahr 1905 in den USA 18.699 Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor (86 %) und lediglich 1.568 Dampfautomobile (7 %) sowie 1.425 Elektrofahrzeuge (7 %) verkauft wurden.[1036] Dieser Vorsprung im Marktanteil gegenüber den Alternativen signalisierte bereits die sich abzeichnende Durchsetzung eines dominanten Designs.[1037] In den Folgejahren etablierte sich der mit fossilem Kraftstoff betriebene Verbrennungsmotor als **technologisches Paradigma**

[1030] Vgl. CLARK 1985, Seite 243 und DOSI/NELSON 2009, Seite 39
[1031] Vgl. DCTI 2010, Seite 17 sowie GEELS 2005, Seite 169
[1032] Vgl. GEELS 2005, Seite 166 sowie HETTICH 2010, Seite 99 f.
[1033] Vgl. SCHONERT 2008, Seite 35
[1034] Vgl. HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 7
[1035] Gasbetriebene Verbrennungsmotoren hingegen erforderten Drucktechnik im Fahrzeug und an Tankstellen, sodass in diesem Fall aufwändige Infrastruktur erforderlich war.
[1036] Vgl. GEELS 2005, Seite 169
[1037] Vgl. SUAREZ 2004, Seite 281

automobilen Antriebs, wobei dampfmaschinenbasierte und elektrische Antriebe fortan nur noch in Nischen eingesetzt wurden. Diese Selektion lässt sich anhand der Dimensionen der Nachhaltigkeit in Verbindung mit dem damaligen Werte- und Anforderungsset der Nachfrage nachvollziehen. Aus **ökonomischer Sicht** ist anzuführen, dass Flüssigtreibstoffe, bei geringem Preis und hoher Verfügbarkeit, eine einfache Handhabung ermöglichten, sodass sich schnell ein Versorgungsnetz bildete. Zudem ermöglichte ihre hohe Energiedichte große Reichweiten und das Funktionsprinzip des Verbrennungsmotors hohe Leistung. Mit Blick auf die **soziale Dimension** ist festzuhalten, dass die Erfindung des elektrischen Anlassers im Jahr 1911, der das Kurbeln ersetzte, einen weiteren entscheidenden Impuls zur Durchsetzung des Verbrennungsmotors lieferte. Hygienebezogene Vorteile bzgl. des Entfalls von Tierexkrementen und -pflege in den Städten waren allen Basisdesigns gemein. **Ökologische Aspekte** spielten innerhalb des damaligen Werte- und Anforderungssets eine untergeordnete Rolle, wodurch sich mit dem Verbrennungsmotor das Design mit der höchsten Schadstoff- und Lärmemission durchsetzen konnte. Eine Übersicht der erörterten technologischen Transformation von Pferdefuhrwerken zu verbrennungsmotorbasierten Automobilen bietet Abb. 3-1.

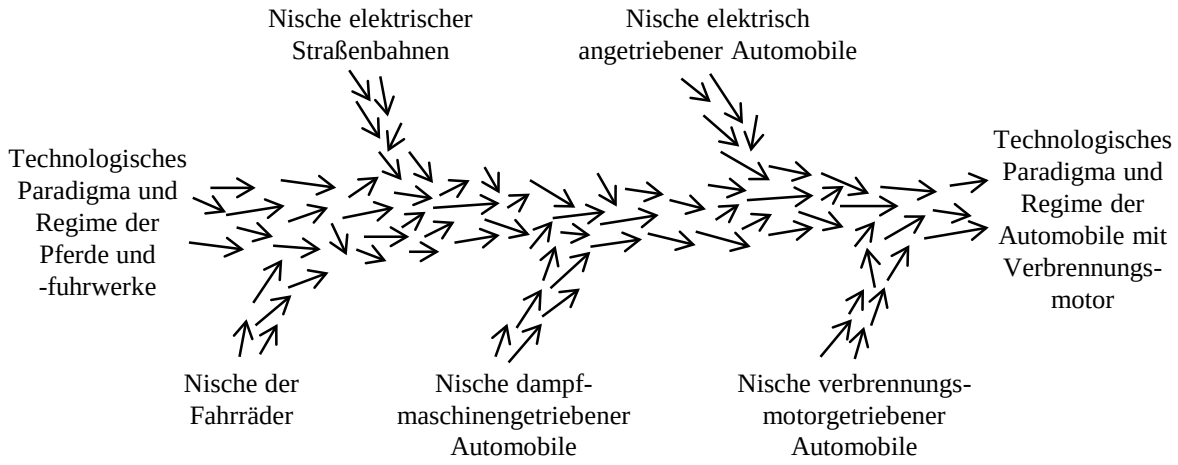


Abb. 3-1: Technologische Transformation von Pferdefuhrwerken zu Automobilen[1038]

Die Etablierung des technologischen Paradigmas markiert den Übergang zur **technologischen Exploitations- bzw. industriellen Wachstumsphase**. Der Fokus der nun intensiven Innovationsanstrengungen verschob sich von der architektonischen Ebene des Antriebsdesigns auf die Ebene seiner Module und die des Herstellprozesses.[1039] Dies wird besonders anhand der im Jahre 1913 durch Henry Ford eingeführten **Massenproduktion** deutlich.[1040] Entgegen der

[1038] Eigene Darstellung in Anlehnung an GEELS 2005, Seite 188 sowie Seite 265
[1039] Vgl. CLARK 1985, Seite 246 sowie zu architektonischer und modularer Innovation Absatz 2.2.1.2.
[1040] Vgl. REICHHUBER 2010, Seite 32 ff. sowie HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 6 ff. Die Autoren bezeichnen die Veränderungen durch die Massenproduktion als *erste Revolution in der Automobilindustrie*.

bisherigen, unsicheren Explorationscharakteristik bildete das dominante Design nun eine fundierte Grundlage für Standardisierung in Produkt und Herstellprozess bei steigender Kapitalintensität.[1041] So bot Ford mit dem *Model T* zeitweise nur ein Modell mit einem Chassis an, dass lediglich in einer Farbe (schwarz) erhältlich war.[1042] Zentrale Zielsetzung war die Steigerung des Absatzes. In Ermangelung geeigneter Lieferanten vollzog sich in dieser Phase eine starke vertikale Integration, wobei die wenigen vorhandenen Lieferanten strikte Anweisungen ausführten, ohne einen technologischen Beitrag zu leisteten. Die Nutzungsintensität des Produktionsfaktors Arbeit verstärkte sich unter intensivierter Technisierung und Zerlegung von Arbeitsumfängen (*Taylorismus*), das Produktionssystem erschloss umfangreiche Skalen- und Lerneffekte.[1043] So wurden bei Ford bereits ein Jahr nach Einführung der Fließbandfertigung über 100.000 Fahrzeuge produziert und wenige Jahre später liefen mehrere Millionen Einheiten vom Band.[1044] Im Gegenzug reduzierte sich der Verkaufspreis des *Model T* von 850 USD im Jahr 1908 schrittweise auf 360 USD im Jahr 1916,[1045] was einem heutigen Preis von ca. 3.600 USD entspricht, während elektrisch angetriebene Fahrzeuge im Vergleich bei etwa 1.750 USD (heute ca. 17.500 USD) lagen.[1046] In den Folgejahren kamen inkrementelle wie radikale Innovationen zur Verbesserung von Automobil und Antrieb sowohl von innerhalb als auch von außerhalb der noch jungen Automobilindustrie.[1047] Auch die Fahrzeugarchitektur wurde weiterentwickelt und wich zunehmend von den ursprünglichen Wägen ab, sodass architekturbezogen eine Transformation von *Conversion-* zu *Purpose-Design* attestiert werden kann. Da die Nachfrage nach wie vor das Angebot überstieg (Verkäufermarkt), wurden weiterhin überwiegend ähnliche Produkte in zumeist wenigen Varianten für den anonymen Markt hergestellt. Allerdings ließ die zunehmende Erschließung intensiver technologischer Möglichkeiten die Kompliziertheit des Automobils massiv ansteigen, wobei Antriebsleistung, Komfort und Sicherheit gesteigert und der Kraftstoffverbrauch reduziert werden konnten. In den Jahren 1973 und 1979 wirkten die Ölkrisen als exogene Schocks, welche die Exploration elektrischer Antriebe vorübergehend stimulierten. Es kam allerdings zu keiner Durchsetzung gegen das konventionelle Antriebsparadigma und dessen Regime.[1048] Als Anfang der 1980er

---

[1041] Trotz der hohen Investitionen in die Massenproduktion des verbrennungsmotorbasierten *Model T* baute Ford noch im Jahr 1913 eine elektrisch angetriebene Version. Vgl. HOHAGE 2012, Seite 22. Dies kann als Indiz für verbleibende Unsicherheit bzgl. des aufkommenden Paradigmas bzw. begleitende explorative Anstrengungen interpretiert werden.

[1042] Vgl. GEELS 2005, Seite 171. In der Literatur wird dieses Modell verbreitet als Beispiel eines dominanten Designs angeführt. Vgl. ABERNATHY/UTTERBACK 1978, Seite 44 sowie GEELS 2005, Seite 148

[1043] Vgl. SCHONERT 2008, Seite 37

[1044] Vgl. HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 6 ff.

[1045] Die Zwischenschritte verliefen über 950 USD (1909), 780 USD (1910), 690 USD (1911, Anstieg investitionsbedingt), 600 USD (1912), 550 USD (1913), 490 USD (1914) und 440 USD (1915). Vgl. GEELS 2005, Seite 170 und HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 7

[1046] Vgl. SLOWAK 2012, Seite 11

[1047] Vgl. GEELS 2005, Seite 185 f.

[1048] Vgl. MÖSER 2011, Seite 31 ff. sowie zu den Ölkrisen Abb. 3-4

Jahre das globale Angebot an Automobilen die Nachfrage überstieg, kippte die Marktcharakteristik zu einem Käufermarkt.[1049] In der Folge entstanden globale Überkapazitäten der Produktion, die bis heute erhalten blieben.[1050]

In diesem Zeitraum vollzog sich auf technologischer und industrieller Ebene der Übergang zur **Reifephase**. Unter verfestigter Industriestruktur, kapitalintensiver Produktion, hohen Markteintrittsbarrieren und weitgehend absehbaren Potenzialen (geringer Unsicherheitsgrad) konzentrierte sich der standardgeleitete Wettbewerb auf Kosten und Qualität. Die bereits weitgehend ausdifferenzierte Wissensbasis bildete die Grundlage für effizienzorientierte Inkrementalisierung weiterer (technologischer) Entwicklung von Produkt und Prozess. In diesem Wettbewerbsumfeld war die in der japanischen Automobilindustrie entstandene, und dort bereits seit den 1970er Jahren etablierte, **Lean- bzw. Kaizen- Philosophie** so erfolgreich, dass sie sich in den 1990er Jahren weltweit verbreitete.[1051] Sie fordert eine konsequente Effizienzorientierung zur Vermeidung von Verschwendung bzw. Optimierung des Ressourceneinsatzes inkl. des Anspruchs kontinuierlicher Verbesserung in allen Bereichen von Unternehmung und Wertschöpfungskette unter Einbezug aller Mitarbeiter.[1052] Aus der Lean-Kultur ergab sich demnach gegenüber Fords eher statischem Modell stufenweiser Weiterentwicklung von Produkt und Produktion ein übergreifender, dynamisch-inkrementeller Verbesserungsanspruch. Diese Philosophie verbietet die Einstufung eines bereits erreichten Zustands als vorübergehend optimal.[1053] Die *Pull*-Produktion (*Kanban*) nach Kundenbestellung (*build to order*) kehrte Fords *Push*-Prinzip um und ermöglichte gleichzeitig die Reduktion von Beständen sowie die Verbesserung der Lieferfähigkeit (*just in time* und *just in sequence*). Die Einführung von Plattform- und Modulstrategien erschloss produktübergreifende Standardisierungspotenziale. Präventive Qualitätssysteme und prozessdurchdringende Kontrollen ermöglichten das Abstellen von Fehlerursachen an Stelle nachsorgender Maßnahmen, wodurch die Qualität gesteigert und Kosten reduziert werden konnten. Es entstanden, ganz im Gegensatz zur einstigen Philosophie Henry Fords, sehr viele Fahrzeugsegmente und die Modellpaletten der Hersteller verbreiterten sich massiv.[1054] In diesem Umfeld reifer Industrie und Technologie verfügten die mittlerweile internationalisierten Lieferanten in den von ihnen dominierten Leistungsspektren oftmals über einen technologischen Vorsprung gegenüber den Automobilher-

---

[1049] Vgl. SCHONERT 2008, Seite 39

[1050] Im Jahr 2011 wurden bei globaler Produktionskapazität von ca. 85 Mio. Fahrzeugen ca. 65 Mio. Fahrzeuge hergestellt. Vgl. BECKER 2007, Seite 23 sowie Seite 89 ff.

[1051] Die *Lean*- bzw. *Kaizen-Philosophie* geht auf Toyota Motors bzw. E. Toyoda und Taiichi Ohno zurück. Der Begriff *Kaizen* setzt sich aus den japanischen Wörtern *Kai* und *Zen* zusammen, wobei *Kai Veränderung* und *Zen zum Besseren* bedeutet.

[1052] Vgl. REICHHUBER 2010, Seite 38 und HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 14. Die Umsetzung der *Lean-Philosophie* in der Wertschöpfungskette steht in Japan in Zusammenhang mit den engen, auch kapitalseitigen, Verflechtungen von Unternehmen in *Keiretsu*. Vgl. HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 20

[1053] Vgl. HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 21 f.

[1054] Vgl. BECKER 2007, Seite 29 sowie Seite 75 ff.

stellern. Dadurch waren die Lieferanten zu umfangreicherer Verantwortungsübernahme, weitreichenderen Wertschöpfungsanteilen und maßgeblichen technologischen Entwicklungsbeiträgen fähig.[1055] Im Gegenzug reduzierte sich der Wertschöpfungsanteil der Automobilhersteller, die sich auf die Rolle des Systemintegrators konzentrierten und Leistungsumfänge bis zur Entwicklung und Produktion ganzer Fahrzeuge an Lieferanten vergaben.

So stieg die **globale Fahrzeugproduktion,** wie in Abb. 3-2 ersichtlich, im Zeitraum von 1900 bis 2012 auf 84 Millionen Einheiten p. a., wobei der **globale Fahrzeugbestand** auf über 1,1 Mrd. anwuchs.[1056] Die Anzahl der Automobile stieg dabei in den letzten 50 Jahren mindestens viermal so schnell wie die Anzahl der Menschen.[1057]

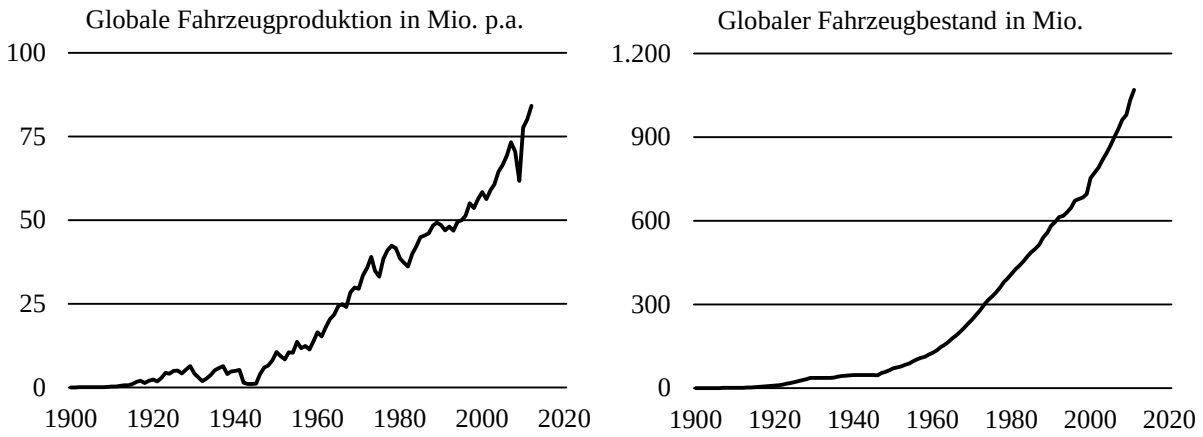


Abb. 3-2: Fahrzeugproduktion und -bestand weltweit von 1900 bis 2012[1058]

In über 100 Jahren führte die koevolutorische Entwicklungsdynamik zwischen Technologie und Industrie einerseits durch Erschließung umfangreicher technologischer Möglichkeiten zu hoher technologischer Reife im Antrieb, andererseits auf industrieller Ebene zur Ausprägung der Charakteristika eines reifen Sektors mit oligopolistischer Herstellerstruktur.[1059] Obwohl das Automobil in dieser Zeit technisch deutlich weiterentwickelt wurde, blieb das technologische Paradigma seines Antriebs erhalten. Nach wie vor wandeln Hubkolbenmotoren die chemische Bindungsenergie von (fossilen) Energieträgern in thermodynamischen Kreisprozessen in Bewegungsenergie um, die über Kurbelwelle und Getriebe auf die Antriebsachse übertra-

[1055] Vgl. SCHONERT 2008, Seite 41 sowie Seite 47
[1056] Vgl. KROOS 2012, Seite 43
[1057] Vgl. HELMERS 2010, Seite 565
[1058] Eigene Darstellung auf Basis von OCIA 2014 und WARD'S 2012. Die Angaben beziehen sich auf Pkw, Lkw und Busse. Fehlende Werte des globalen Fahrzeugbestandes wurden in den Jahren 1900 bis 1929 proportional zur Produktionsrate interpoliert sowie in den Jahren 1930 bis 1934 nach der Weltwirtschaftskrise und in den Jahren 1941 bis 1945 während des zweiten Weltkrieges als konstant angenommen.
[1059] Für eine historische Darstellung der Konzentration der Automobilhersteller Vgl. KLEPPER 2002, Seite 652 und BECKER 2007, Seite 77 sowie Seite 139 ff. und BECKER 2010, Seite 15 ff. sowie WALLENTOWITZ et al. 2009, Seite 25

gen wird. Somit ist die technologische Entwicklung des automobilen Antriebs in den letzten 100 Jahren als Phase paradigmenspezifisch-intensiver Exploitation zu beschreiben. Dabei ist Automobilität für viele Menschen, v. a. in den Industrienationen, zu einer Selbstverständlichkeit geworden. Mobilität ist jedoch nicht nur ein Grundbedürfnis des Menschen, sondern auch eine wirtschaftliche Notwendigkeit für arbeitsteilige Volkswirtschaften und damit sowohl Ursache als auch Auswirkung des Gedeihens moderner Gesellschaften.[1060] Rückblickend auf die ursprüngliche Zielsetzung gesteigerter Mobilität und verbesserter Hygiene in Städten bleibt festzustellen, dass diese Ziele zwar erreicht, jedoch zahlreiche neue Herausforderungen aufgeworfen wurden.

3.2 Innovationsdruck durch schwindende Nachhaltigkeit des aktuellen Paradigmas

3.2.1 Ursachen schwindender Nachhaltigkeit des aktuellen Paradigmas

Aufbauend auf der dargestellten Historie des Automobils untersuchen die folgenden Absätze die Ursachen schwindender Nachhaltigkeit des Hubkolben-Verbrennungsmotors als automobiles Antriebsparadigma. Wesentliche Triebfedern finden sich in den übergreifenden Entwicklungsparametern Industrialisierung und Bevölkerungswachstum, in ökologischen, ökonomischen und sozialen Übernutzungs- bzw. Destabilisierungseffekten und letztlich in den sich erschöpfenden, technologisch intensiven Möglichkeiten. Auf diese Aspekte, die sich wechselseitig beeinflussen und zu schwindender Nachhaltigkeit des aktuellen Paradigmas automobiler Antriebstechnik führen, wird im Folgenden näher eingegangen.[1061]

3.2.1.1 Industrialisierung und Bevölkerungswachstum

Die makroökonomischen Faktoren der Industrialisierung und des Bevölkerungswachstums führen zu einer massiv ansteigenden Nutzung von Ressourcen und Energie und stehen in engem Zusammenhang mit dem Mobilitätsbedarf. Sie wirken sich einerseits auf den Konsum von Naturkapital aus und bewirken andererseits die Übernutzung von Schadstoffsenken.
Seit Beginn der **Industrialisierung** im 18. Jahrhundert ist sowohl der Wohlstand als auch der Ressourcen- und Energiebedarf massiv gestiegen, wobei dieser Trend aufgrund immer energieintensiverer Produkte und Herstellungsverfahren bis heute kein Ende findet.[1062] Die Energiedichte der genutzten Energieträger hat in diesem Verlauf von Holz über Kohle, Erdgas und Erdöl bis hin zu Kernenergieträgern massiv zugenommen. Zudem hat sich die menschliche

[1060] Menschen wechseln bspw. häufiger ihre Arbeitsstätte und nehmen längere Wege zur Arbeit auf sich als früher. Vgl. HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 57

[1061] Da die Beurteilung von Nachhaltigkeit stets nur auf Basis des aktuellen Status von Werten, Wissens und Weltanschauungen erfolgen kann, handelt es sich um ein dynamisches Konzept. Vgl. zur Nachhaltigkeitssystematik dieser Untersuchung Teilkapitel 2.1.

[1062] Vgl. GERL 2002, Seite 14

Gesellschaft von einer weitgehend umweltschonenden Agrarökonomie zu einer das Ökosystem überbelastenden Industriegesellschaft entwickelt. Die globale Verteilung von Wohlstand und Entwicklungsstand zeigt sich allerdings als äußerst heterogen. Während sich in den Volkswirtschaften der Triade-Märkte bereits ein weitgehender Wandel zu Dienstleistungsgesellschaften vollzogen hat, befinden sich Schwellenländer, wie z. B. die BRIC-Staaten,[1063] in der Industrialisierungsphase und Entwicklungsländer verharren überwiegend in einem Status der Agrarökonomie. So nutzen weltweit ca. 15 % der Menschen ungefähr 80 % des Energieangebots, wobei sich die weitere Steigerung des globalen Energieverbrauchs abzeichnet.[1064] V. a. die Wachstumsorientierung der Schwellenländer, die den Wohlstand der industrialisierten Welt anstreben, lässt den Bedarf an Ressourcen und Energie massiv zunehmen. Mobilitätsbezogen bleibt festzuhalten, dass Industrialisierung und Globalisierung Transportaufkommen und Bewegungsradius von Menschen und Gütern deutlich steigern.

Ein weiterer Einflussfaktor des Bedarfs an Naturkapital ist das globale **Bevölkerungswachstum**. Während sich die Weltbevölkerung im Jahr 1830 noch auf etwa 1 Milliarde Menschen belief, erfolgte in den nächsten hundert Jahren bis 1930 eine Verdoppelung auf 2 Milliarden sowie bis 1975 eine weitere auf vier Milliarden Menschen, wobei bereits 2025 von 8 Milliarden auszugehen ist.[1065] Obwohl die Wachstumsrate der Weltbevölkerung bereits seit 1970 sinkt, wird die Zahl der Menschen auf der Erde auch in Zukunft steigen.[1066] Dabei führt das Bevölkerungswachstum einerseits direkt, durch die größere Anzahl von Menschen, zu höherem Ressourcen- und Energieverbrauch und andererseits, in Kombination mit der Industrialisierung, zu steigenden Verbrauchswerten pro Kopf.

Die **Auswirkungen** von Industrialisierung und Bevölkerungswachstum zeigen sich in einem systemischen Zusammenhang ökologischer, sozialer und ökonomischer Dimension. Positiv ist anzuführen, dass die Industrialisierung zu gesteigertem Wohlstand geführt hat, wobei das Bevölkerungswachstum sowohl das verfügbare Humankapital als auch die Nachfrage steigen lässt. Im Gegenzug resultieren aus der global inhomogenen Verteilung von Industrialisierungsgrad, Wohlstand, Rohstoffen sowie Bevölkerungsdichte und -wachstum Verteilungskonflikte und soziale Spannungen.[1067] Die Einnahme einer **Kapitalstockperspektive** fokussiert in diesem Kontext überwiegend auf das Problem des Verbrauchs bzw. der exzessiven kapitalstockübergreifenden Substitution von Naturkapital wie z. B. sauberer Luft, Trinkwasser und Boden. Da dem steigenden Bedarf an natürlichen Ressourcen und Energie jedoch ein begrenzter Vorrat entgegensteht, resultiert eine zunehmende Verknappung von, insbesondere nicht-

[1063] Das Akronym BRIC steht für Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika.
[1064] Vgl. GRUDEN 2008, Seite 3 sowie Seite 238
[1065] Vgl. WEIMANN 1995, Seite 6 ff.
[1066] Vgl. WEIMANN 1995, Seite 8
[1067] Vgl. EICHELSEDER/KLELL 2008, Seite 5 f.

regenerativem, Naturkapital.[1068] Trotz der Tatsache, dass immer wieder neue Vorkommen fossiler Energieträger entdeckt werden, ist dennoch nicht bestreitbar, dass die Gesamtmenge endlich ist und in unbestimmter Zeit erschöpft sein wird. Dass die häufig diskutierte Frage nach der Reichweite nicht-regenerativer Energieträger jedoch am erforderlichen Kern der Diskussion vorbeigeht, wird im Folgenden anhand der Konsequenzen ihrer Nutzung deutlich.[1069] Grundlage dieser **Auswirkungsperspektive**, die der Sichtweise des ökologischen Fußabdrucks entspricht, ist die Erkenntnis, dass die (exzessive) Nutzung natürlichen Kapitals zur Schädigung der Umwelt bzw. Überbelastung ihrer Schadstoffsenken führt.[1070] Negative Einwirkungen auf das Ökosystem entstehen dabei bereits in der Phase des **Abbaus** natürlicher Rohstoffe, was bei der Gewinnung Seltener Erden, dem Kohletagebau oder der Erdölförderung überdeutlich wird. Es entstehen ökologisch wie auch sozial negative Wirkungen, wie z. B. eine Schädigung von Pflanzen- und Tierwelt, Grundwasserabsenkungen bzw. -verunreinigungen sowie Umsiedlungen.[1071] Aber auch der **Einsatz** von Naturkapital erzeugt Schadwirkungen, von denen, für den weiteren Verlauf dieser Untersuchung, insbesondere die Auswirkungen der Nutzung der Energie aus fossilen Energieträgern relevant sind. So entstehen bei realen (unvollständigen) Verbrennungsvorgängen von Kohlenwasserstoffen neben Kohlenstoffdioxid auch eine Reihe weiterer Schadstoffe wie Feinstäube, Kohlenmonoxid, Stickoxide, gasförmige Kohlenwasserstoffe und Schwefelverbindungen.[1072] Dies ist von besonderer Relevanz, da aktuell ca. 80 % des globalen Energiebedarfs durch fossile Energieträger gedeckt wird.[1073] Auf globaler Ebene verursacht dieses Nutzungsverhalten eine steigende Konzentration von Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre. Diese Anreicherung verstärkt den **Treibhauseffekt**, der eine Erwärmung der Atmosphäre bedingt.[1074] Der anthropogene Betrag zu dieser Dynamik führt bereits seit Jahrzehnten zu einer überproportionalen Zunahme der

---

[1068] Vgl. BAßELER et al. 2006, Seite 884 sowie GERL 2002, Seite 14

[1069] Vgl. GERL 2002, Seite 16

[1070] Vgl. FOURNIER et al. 2012, Seite 406

[1071] Beispielhaft sind auch die von Ölbohrinseln ausgehenden Gefahren zu nennen, die u. a. anhand des Untergangs der BP-Ölförderplattform *Deepwater Horizon* im Jahr 2010 deutlich wurden.

[1072] Bei den in der Literatur häufig angeführten vollständigen bzw. idealen Verbrennungsvorgängen von Kohlenwasserstoffen mit reinem Sauerstoff entstehen lediglich Kohlenstoffdioxid und Wasser. Die Verbrennung von 1 kg Benzin oder Diesel erzeugt etwa 3,2 kg Kohlenstoffdioxid bei einer Wärmefreisetzung von ca. 43 MJ (11,9 kWh). Vgl. EICHELSEDER/KLELL 2008, Seite 6

[1073] Vgl. EICHELSEDER/KLELL 2008, Seite 8

[1074] Der Treibhauseffekt basiert auf der Eigenschaft von Treibhausgasen für kurzwellige elektromagnetische Strahlung durchlässiger zu sein als für langwellige. So kann kurzwellige Sonnenstrahlung in die Atmosphäre eindringen, die von der Erdoberfläche reflektierte, langwelligere Strahlung die Atmosphäre allerdings nicht mehr verlassen. Vgl. WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 4. Der natürliche Treibhauseffekt, der für eine durchschnittliche Temperatur von ca. 15 °C an Stelle von -18 °C an der Erdoberfläche sorgt, wird zu etwa 60 % durch Wasser und zu ca. 40 % durch Kohlenstoffdioxid verursacht, wobei diese Stoffe in natürliche Kreisläufe bzw. das ökologische Gleichgewicht eingebunden sind. Vgl. EICHELSEDER/KLELL 2008, Seite 6. Die anthropogene Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre beeinflusst demnach das thermische Gleichgewicht der Erde und ist als rapide zu bezeichnen, da sie sich für eine evolutorische Anpassung heutiger Lebensformen zu schnell vollzieht.

globalen Temperatur, die in direktem Zusammenhang mit dem hohen Ausstoß von Kohlenstoffdioxid und weiterer Schadstoffe steht.[1075] Prognosen gehen bis zum Jahr 2100 zusätzlich von einem mittleren Zuwachs im Bereich von 2 bis6 °C aus.[1076] (Prognostizierte) Auswirkungen sind insbesondere die Verschiebung von Vegetationszonen, Wetterextreme, Desertifikation, Abschmelzen von Gletschern, Anstieg des Meeresspiegels, Gefährdung von Nahrungsmittel- und Wasserversorgung sowie das Aussterben von Tier- und Pflanzenarten.[1077] Ein zweites globales Problem ist der durch Stickoxide und Fluorchlorkohlenwasserstoffe hervorgerufene **Abbau der Ozonschicht**, die die Erdoberfläche vor ultravioletter Strahlung schützt. Diese wirkt für die meisten Organismen schädlich, da sie Hautkrebs verursacht und das Erbgut schädigt.[1078] Neben diesen globalen Effekten mit überwiegend externem Wirkungscharakter ergeben sich auch regionale Schadwirkungen, wie z. B. die **Versäuerung von Böden und Grundwasser**, die durch Stick- und Schwefeloxide aus der Verbrennung fossiler Energieträger hervorgerufen wird.[1079] Ein weiteres **regionales** Problem ist die durch Stickoxide oder Kohlenwasserstoffe in Verbindung mit Sonnenstrahlung hervorgerufene **Bildung von bodennahmen Ozon**, das wiederum die Bildung von, für den Menschen schädlichen, Aerosolen und freien Radikalen begünstigt (Sommersmog).[1080] Die lokal wirkende Emission krebserregender Stoffe, wie bspw. **Rußpartikel und Benzole,** wird bereits in vielen Anwendungsbereichen durch Katalysator- und Filtersysteme gemindert.[1081] Lokalen und regionalen Schadwirkungen kommt aktuell, in Kombination mit dem globalen Trend zu Urbanisierung in Ballungsräumen, eine besondere Rolle zu.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Mensch durch Verbrennung fossiler Energieträger globale, regionale und lokale Schadwirkungen verursacht. Da er damit die Existenzgrundlage künftiger Generationen bedroht, ist dieses Verhaltensmuster als nicht nachhaltig einzustufen. Zudem wich der ehemalige Glaube, dass die in den industrialisierten Ländern auftretenden Umweltprobleme jeweils vor Ort technisch gelöst werden können der Erkenntnis, dass technisch-nachsorgender Umweltschutz in erforderlichem Ausmaß weder volkswirtschaftlich finanzierbar noch umsetzbar ist.[1082] Unter Fortbestand der bisherigen Wachstumsorientierung führen Bevölkerungswachstum und Produktionsanstieg unweigerlich zum Zusammenbruch des globalen Ökosystems.[1083] Um jedoch bestehende Entwicklungsmuster aufzubrechen, ist global die handlungsleitende Erkenntnis notwendig, dass der Nutzung von Naturkapital durch

[1075] Vgl. HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 41 ff.
[1076] Vgl. EICHELSEDER/KLELL 2008, Seite 6
[1077] Vgl. GERL 2002, Seite 18
[1078] Vgl. GERL 2002, Seite 18
[1079] Vgl. KAHLENBORN/KRÄMER 1999, Seite 90 f.
[1080] Vgl. GERL 2002, Seite 18
[1081] Vgl. GERL 2002, Seite 18
[1082] Vgl. STEPHAN/AHLHEIM 1996, Seite 2
[1083] Vgl. WEIMANN 1995, Seite 25

die natürliche Regenerationsfähigkeit der Ökosysteme Grenzen gesetzt sind.[1084] Eine nachhaltige Versorgung mit Rohstoffen und Energie erfordert demnach, neben der Erschließung eines breiten Spektrums alternativer Quellen sowohl ein Umdenken in Wachstumsorientierung und Konsum, als auch eine massive Steigerung von (technischer) Effektivität und Effizienz.[1085]

3.2.1.2 Ökologische Destabilisierung

Wirtschaftliche Entwicklung und Wohlstandszuwachs stehen insbesondere in arbeitsteiligen Volkswirtschaften in engem Zusammenhang mit der steigenden Nachfrage nach Automobilität. Das globale Wachstum der Produktion pro Kopf verstärkt zudem die Umweltbelastung und erzeugt eine stärkere Arbeitsteilung, die wiederum mehr Mobilität erfordert.[1086] Von den ca. 1,1 Milliarden Kraftfahrzeugen des globalen Bestandes basieren heute über 99 % auf dem Antriebsprinzip der Verbrennung von Benzin oder Diesel und damit von raffiniertem Erdöl.[1087] Der exzessive Einsatz von Hubkolben-Verbrennungsmotoren ruft allerdings negative Wirkungen, sogenannte Übernutzungseffekte, hervor. Auf ökologischer Seite resultieren diese, neben der **Erschöpfung fossiler Energieträger**, v. a. aus den von Verbrennungsmotoren ausgestoßenen **Schadstoffen** (u. a. Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Stickoxide und Schwefeldioxid), die in erheblichem Ausmaß zu den in Absatz 3.2.1.1 dargestellten globalen, regionalen und lokalen Schadwirkungen beitragen.[1088] So liegt der anthropogen verursachte Anteil der globalen Kohlensoffdioxidemissionen bei ca. 4 %, wovon wiederum etwa 19 % durch den Verkehr bzw. ca. 13 % durch den Straßenverkehr verursacht werden.[1089] Dieser Anteil ist jedoch speziell in industrialisierten Regionen erhöht. So entstehen in der europäischen Union 26 % des gesamten Ausstoßes an Kohlenstoffdioxid durch Fahrzeuge, wovon Automobile wiederum ca. die Hälfte ausmachen.[1090] Mit Blick auf Deutschland fällt auf, dass der Straßenverkehr für etwa 15 % der Kohlendioxidemissionen ursächlich ist, wobei weltweit aufgrund steigender Fahrzeugzahlen in den nächsten 30 Jahren ein Zuwachs um 50 % unausweichlich scheint.[1091] Zudem verursacht der Straßenverkehr weltweit über die Hälfte aller Emissionen von Kohlenstoffmonoxid und Stickoxid sowie knapp 50 % der Kohlenwasserstoffemissionen.[1092] Lokale und regionale Schadwirkungen durch Smog, Feinstaub oder bodennahes Ozon

---

[1084] Vgl. GRUDEN 2008, Seite 5
[1085] Vgl. EICHELSEDER/KLELL 2008, Seite 1
[1086] Vgl. BAßELER et al. 2006, Seite 884
[1087] Vgl. BECKER 2007, Seite 131 sowie zu Fahrzeugproduktions- und -bestandszahlen Abb. 3-2
[1088] Vgl. WEIMANN 1995, Seite 5 und GRUDEN 2008, Seite 266 sowie weiterführend zu ökologisch negativen Auswirkungen von Automobilität im Allgemeinen GRUDEN 2008, Seite 329 ff. sowie im Speziellen bezogen auf Otto- und Dieselmotor Seite 125 ff. bzw. Seite 175 ff.
[1089] Vgl. WALLENTOWITZ et al. 2009, Seite 11 und GRUDEN 2008, Seite VII sowie WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 5
[1090] Vgl. BECKER 2010, Seite 41 sowie FOURNIER et al. 2012, Seite 408
[1091] Vgl. GERL 2002, Seite 19
[1092] Vgl. GERL 2002, Seite 18

treten aufgrund der erhöhten Konzentration v. a. in Ballungsräumen in teilinternalisierter Form auf.[1093] Auf globaler Ebene tragen die Emissionen des konventionellen Antriebs als externe Effekte sowohl zur Klimaerwärmung als auch zum Abbau der schützenden Ozonschicht bei. Die Extrapolation dieser Zusammenhänge führt unter Berücksichtigung der globalen Gesamtdynamik aus Wachstumsorientierung, Industrialisierung und Bevölkerungswachstum zu einer Perspektive zunehmender Automobilität und sich ausweitender ökologischer Übernutzungseffekte. Prognosen gehen von einem weltweiten Anstieg des Fahrzeugbestandes von aktuell 1,1 Mrd. auf etwa 2,9 Mrd. bis 2050 aus.[1094] Zusätzlich zur Fahrzeuganzahl steigt allerdings auch die Nutzungsintensität, d. h. die zurückgelegte Strecke pro Person, was Abb. 3-3 am Beispiel Deutschlands veranschaulicht.[1095]

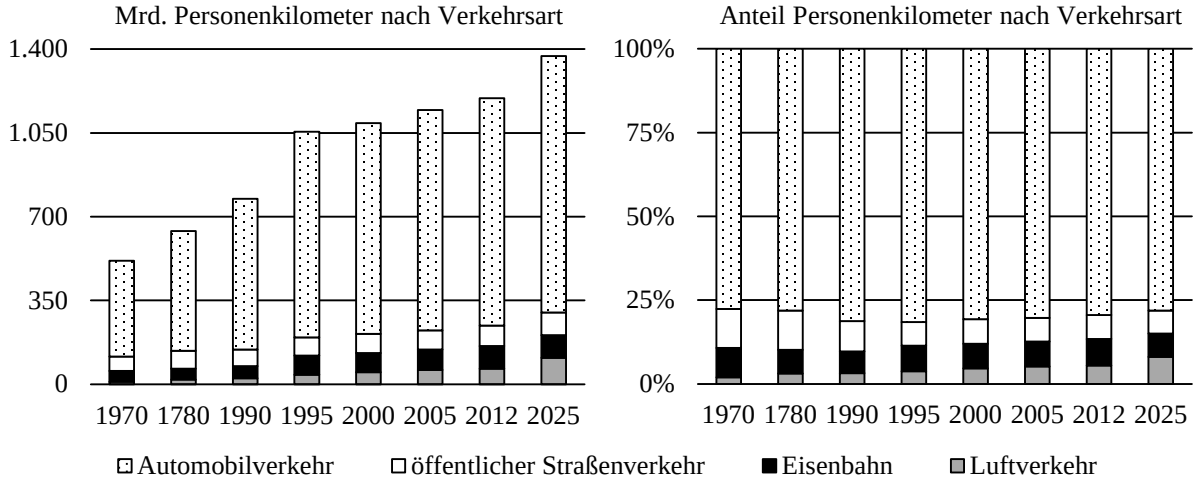


Abb. 3-3: Nutzungsintensität des Personenverkehrs in Deutschland nach Verkehrsarten[1096]

Es fällt auf, dass der Pkw-Verkehr mit einem Anteil von über 75 % auch in Zukunft das dominante Mobilitätskonzept sein wird. Auf globaler Ebene wird diese Dynamik insbesondere durch Schwellenländer, v. a. China und Indien, getrieben, während in den Triademärkten mit einem verhaltenen Wachstum zu rechnen ist.[1097] Es bleibt demnach festzuhalten, dass der sich intensivierende Betrieb der global wachsenden Fahrzeugflotte zu einer massiven Ausweitung ökologischer Schadwirkungen führen wird und somit für das beschleunigte Zusteuern auf den Zusammenbruch des globalen Ökosystems mitverantwortlich ist. Status und Expansion um-

[1093] So überstieg bspw. am 13.03.2014 in Paris die Konzentration von Feinstaubpartikeln in der Luft mit 180 µg/m³ den zulässigen Grenzwert von 80 µg/m³ um mehr als das doppelte, sodass die Regierung mit der Verhängung von Fahrverboten reagierte.

[1094] Vgl. CHAMON et al. 2008, Seite 272 f.

[1095] Während eine Person im 18. Jahrhundert im Tagesdurchschnitt lediglich wenige Meter zurücklegte ist diese Distanz heute um den Faktor 1.000 auf täglich 20 km gestiegen. Vgl. KROOS 2012, Seite 42

[1096] Eigene Darstellung auf Basis von VDA 2013, Seite 96

[1097] Vgl. BECKER 2010, Seite 46 sowie CHAMON et al. 2008, Seite 272 f.

weltbezogener Übernutzungseffekte lassen die Nachhaltigkeit des konventionellen technologischen Paradigmas automobilen Antriebs schwinden und führen zu ökologisch induzierten Destabilisierungstendenzen.

3.2.1.3 Ökonomische Destabilisierung

Wirtschafts- und Verkehrsleistung stehen in engem Zusammenhang, wobei der Verkehr Voraussetzung und Konsequenz höheren Wohlstands ist.[1098] Aus dem exzessiven Einsatz des etablierten Paradigmas automobilen Antriebs ergeben sich auch in ökonomischer Hinsicht Übernutzungseffekte. Die zentrale Rolle spielt auch hier der exzessive Einsatz von Erdöl (bzw. eingeschränkt auch Erdgas) als Energieträger für den automobilen Antrieb. Die bereits erörterte historische und perspektivische Zunahme des globalen Automobilbestands führt zu enorm steigender Nachfrage nach Benzin und Diesel, woraus wiederum massiv steigende Preise für diese Güter resultieren. In der Konsequenz ist festzustellen, dass die Verteuerung von Automobilität in den letzten Jahren maßgeblich durch steigende Kosten für Kraftstoff geprägt ist.[1099] Dabei ist zu beachten, dass dieses Nutzungsmuster fossiler Energieträger als Verbrauch nicht regenerativen Kapitals weitgehend ohne Substitution einzustufen ist.[1100] Die **Verfügbarkeit erschwinglicher Energie** ist jedoch ein wesentlicher Faktor der ökonomischen Stabilität des technologischen Paradigmas automobilen Antriebs.[1101] Mit Blick auf die begrenzten Reserven wird deutlich, dass die statische Reichweite von Erdöl auf globaler Ebene Anfang der 1970er Jahre ca. 30 Jahre betrug, wobei aktuelle Prognosen von 40 bis70 Jahren ausgehen und Erdgas etwa die doppelte statische Reichweite erreicht.[1102] Eine wesentliche Rolle spielt in diesem Zusammenhang auch die **heterogene geographische Verteilung** der Erdölreserven. So verfügen die Länder, die in der Organisation erdölexportierender Länder (Organisation of the Petroleum Exporting Countries, OPEC) kooperieren, über 80 % der bisher bekannten und technisch nutzbaren Erdölreserven. Bei der im Wesentlichen aus Staaten des Nahen Ostens, Afrikas und Südamerika bestehenden OPEC handelt es sich um ein Anbieterkartell, dass durch gezielte Verknappung der Angebotsmenge eine Preissteigerung bewirkt, um sich Teile der Konsumentenrente anzueignen und dabei die insgesamt wohlfahrtsschädigende Wirkungen billigend in Kauf nimmt. Die Angebotsreduktion der OPEC in den Jahren 1973 und 1979 löste Ölkrisen aus, durch die der Ölpreis in vormals unerreichte Höhen stieg. Das in der Folge gesteigerte Fördervolumen der nicht-OPEC-Staaten bedingt aufgrund deren

---

[1098] Vgl. GRUDEN 2008, Seite 261 sowie Seite 359
[1099] Vgl. VDA 2013, Seite 27
[1100] Vgl. zur Kapitalstockperspektive der Nachhaltigkeit Abschnitt 2.1.2.
[1101] Vgl. BECKER 2007, Seite 131
[1102] Vgl. GRUDEN 2008, Seite 237 und ERDMANN/ZWEIFEL 2008, Seite 126. Die statische Reichweite einer Ressource gibt an, wie lange die Aufrechterhaltung der aktuellen Fördermenge bei momentanen Stand der Fördertechnik unter Einbezug der bekannten und förderbaren Vorkommen möglich ist. Es handelt sich demnach jeweils um eine Momentaufnahme auf Basis des aktuellen Standes von Wissen und Technik.

geringerer Erdölreserven eine niedrigere statische Reichweite dieses Förderverhaltens von etwa 11 Jahren im Vergleich zu über 100 Jahren auf Seiten der OPEC.[1103] Trotz dieser somit lediglich kurzfristig reduzierten Abhängigkeit des globalen Wirtschaftssystems vom Rohölangebot der OPEC stieg der Rohölpreis im Zeitraum von 1998 bis 2004 um 170 %, was die noch immer hohe Abhängigkeit verdeutlicht.[1104] Eine Übersicht der Entwicklung der nutzbaren Erdölvorkommen, der Fördermenge, der statischen Reichweite sowie des Preises bietet Abb. 3-4.

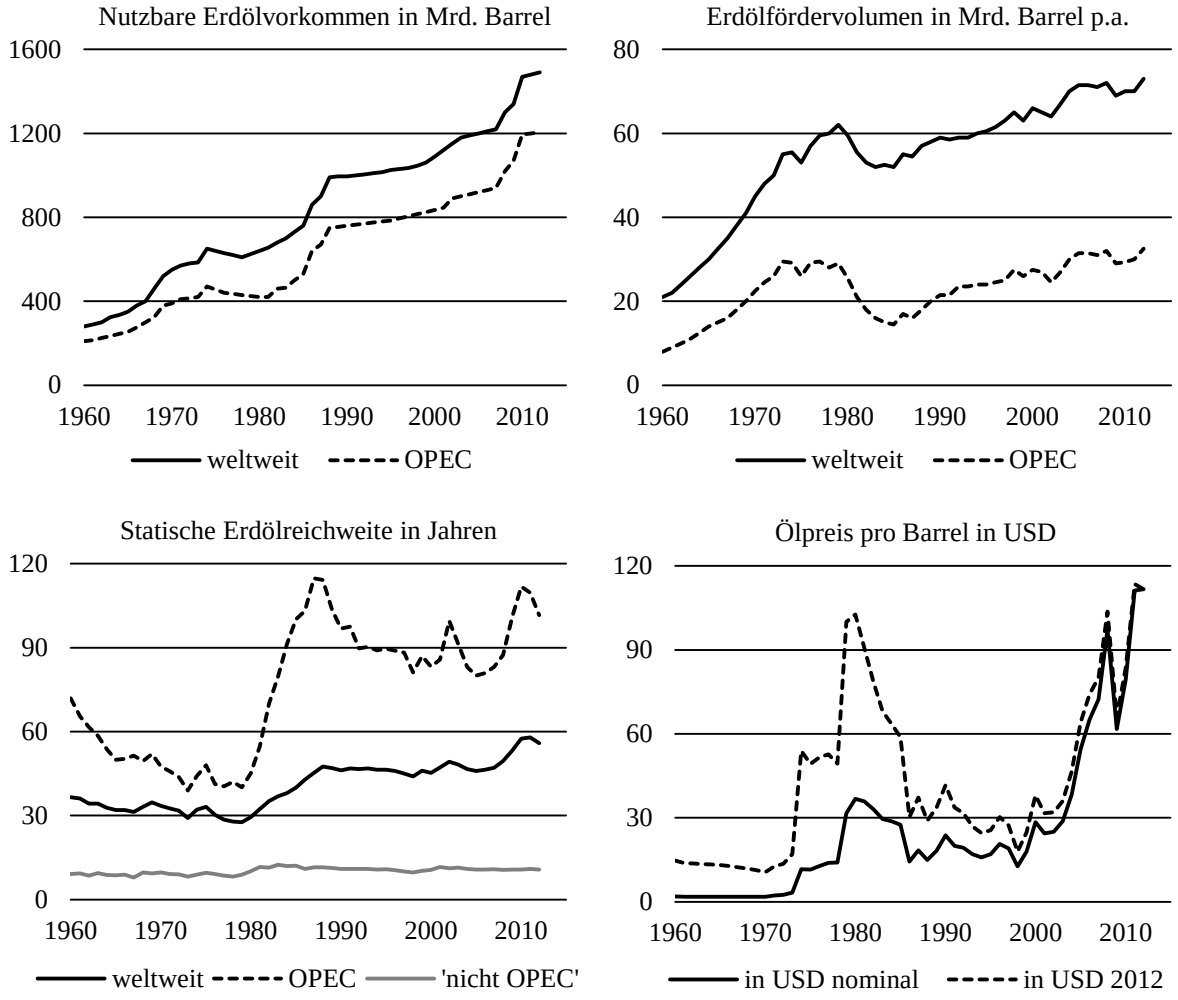


Abb. 3-4: Nutzbare Erdölvorkommen, Fördermenge, statische Reichweite und Preis[1105]

[1103] Diese Werten liegt (im Gegensatz zur statischen Reichweite auf globaler Ebene) die Prämisse zu Grunde, dass die OPEC auch im Falle des Erschöpfens der Reserven außerhalb des Kartells die Fördermenge nicht erhöht. In diesem Fall reduziert sich die globale Angebotsmenge deutlich, sodass der Preis steigt.

[1104] Vgl. HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 45

[1105] Eigene Darstellung auf Basis von BP 2013 sowie OPEC 2013, Seite 24 und Seite 35

Ausgehend von der globalen Gesamtdynamik aus Wachstumsorientierung, Industrialisierung, Bevölkerungswachstum und resultierender Zunahme von Fahrzeugbestand und dessen Nutzungsintensität ist von weiterer Ausweitung ökonomischer Übernutzungseffekte auszugehen. Der Zusammenhang zwischen wachsender Nachfrage nach Erdöl, begrenzter sowie konzentrierter Reserven und zunehmenden Förderkosten wird dabei umfangreiche Preis- und Volatilitätssteigerungen mit sich bringen, woraus sich immense Unsicherheiten für die globale wirtschaftliche Entwicklung im Allgemeinen und Automobilität im Speziellen ergeben.[1106] Dem konventionellen Paradigma ist folglich heute und in Zukunft eine ökonomisch induzierte Destabilisierung bzw. Nachhaltigkeitsreduktion zu bescheinigen.

3.2.1.4 Soziale Destabilisierung

Zu den bereits erörterten ökologischen und ökonomischen Destabilisierungswirkungen vollziehen sich Veränderungen koevolutorisch auch auf sozio-kultureller Ebene bzw. in sozialer Nachhaltigkeitsdimension. Sozialer Wandel kommt dabei dadurch zum Ausdruck, dass sowohl die Bewertung von Eigenschaften und Wirkungen durch Individuen, als auch die den Beurteilungen zu Grunde liegenden, gesellschaftlichen Werte dynamisch sind.[1107] Werte haben demnach nur solange Bestand, wie sie Lösungen für die Gesellschaft bereitstellen. Ist dies in kollektiver Wahrnehmung nicht mehr der Fall, können Werte zerfallen, sich intensivieren oder wandeln, woraus sozialer Änderungsdruck resultiert.[1108] Das gesellschaftliche Wertesystem ist ein zentrales Fundament der Entstehung von Bedürfnissen und Wünschen und damit auch zur Ausbildung der Nachfrage. Seine Dynamik hat folglich als Richtungsimpuls maßgeblichen Einfluss auf den technischen Fortschritt (*demand pull).*[1109]

Eine Triebfeder des sozialen Werte- und Anforderungssets ist die Ausweitung ökologischer Schadwirkungen auf globaler, regionaler und lokaler Ebene, die die gesellschaftliche Einstellung zur Natur bereits deutlich verändert haben. Verantwortungsvolle Bedürfnisbefriedigung rückt in den Fokus. So nimmt der **Schutz der natürlichen Umwelt** in großen Teilen der Weltbevölkerung mehr und mehr einen zentralen Stellenwert ein.[1110] Es wächst das Bewusstsein, dass das nicht nachhaltige Weltwirtschaftsmodell auf Basis fossiler Energieträger und die resultierende Gefährdung der Existenzgrundlage künftiger Generationen die moralische

---

[1106] Vgl. ABDOLVAND/LIESENER 2009, Seite 9 ff. sowie KUHN/PICKARDT 2009, Seite 182 und WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 29 sowie BECKER 2010, Seite 39. Für eine tiefergehende Analyse der Ölpreisentwicklung vgl. CORSETTI 2010.

[1107] Werte sind allgemeine Leitvorstellungen, die das soziale Handeln begründen bzw. nach denen es sich ausrichtet. Vgl. GIESECKE 2005, Seite 32. Anforderungen hingegen sind konkrete Erwartungen an Beschaffenheit, Fähigkeit oder Funktion, die sich in der Nachfrage manifestieren.

[1108] Für eine ausführliche Diskussion der Dynamik von Werten vgl. DUNCKER 2000

[1109] Vgl. GRUPP 1997, Seite 139

[1110] Vgl. WVS 2008 und TERPORTEN et al. 2012, Seite 368

Verpflichtung eines Gegensteuerns erzeugt.[1111] Als Zielsetzung wird ein Weltgesellschaftsvertrag für eine klimaverträgliche und nachhaltige Weltwirtschaftsordnung gefordert.[1112] Mit Blick auf die wirtschaftlich entwickelten Länder fällt auf, dass sich grundsätzlich eine Schwerpunktverschiebung von materiellen zu post-materiellen Werten wie Selbstverwirklichung und Lebensqualität vollzieht.[1113] Da letztere jedoch auch von einer intakten Umwelt abhängt, rückt deren Erhaltung ins Zentrum des Wertekanons. So entstanden politische Parteien, die Umweltschutz zu ihrem Kernthema erklärten und Umweltpolitik und -recht sowie entsprechende Ministerien etablierten. Im Jahr 1994 wurde bspw. in der Bundesrepublik Deutschland Umweltschutz als Staatsziel definiert.[1114] Die Nachhaltigkeitsargumentation dieser Gesellschaften zielt indessen im Schwerpunkt auf den langfristigen, generationsübergreifenden Gerechtigkeitsgedanken ab. Effizienzorientierte Entlastungsanstrengungen werden allerdings oftmals durch steigenden Konsum überkompensiert (Reboundeffekt).[1115] Eine Erweiterung der Perspektive auf die Entwicklungs- und Schwellenländer zeigt zudem, dass auch tatsächliche Entlastungserfolge der Industrienationen durch wachsende Belastungen aus diesen Volkswirtschaften überkompensiert werden. Die Rechtfertigung der Entwicklung erfolgt durch diese Staaten ebenfalls durch deren Gerechtigkeitsempfinden, wobei hier der Gedanke eines industriellen Aufholens zu den Industrienationen im Fokus steht. Da lokal und regional internalisierte Schadwirkungen in diesen Ländern jedoch oftmals direkt die materielle Lebensgrundlage bedrohen, ist auch hier bereits eine wachsende Sensibilität für ökologische Nachhaltigkeit zu erkennen. Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass insbesondere in den wirtschaftlich entwickelten Gesellschaften, beginnend jedoch auch in Entwicklungs- und Schwellenländern, der Schutz der Umwelt immer mehr Bedeutung innerhalb des Wertesystems gewinnt. In der Konsequenz wird umweltschädigende Technik, wie z. B. das konventionell angetriebene Automobil, zunehmend negativ wahrgenommen. Diese Entwicklung wird, analog der Problematik der Pferdeexkremente in Städten gegen Ende des 19. Jahrhunderts, insbesondere durch internalisierte Übernutzungseffekte stimuliert.[1116]

Eine zweite Perspektive auf die Auswirkung gesellschaftlicher Wertedynamik auf Automobilität entsteht aus **generations- bzw. demographiebezogenen Aspekten**. So verschiebt sich in den wohlhabenden Volkswirtschaften bei jüngeren Generation, die in materiellem Wohlstand

---

[1111] Vgl. WBGU 2011, Seite 1. Die Autoren vergleichen diese Verpflichtung mit der Abschaffung von Sklaverei und Kinderarbeit.

[1112] Vgl. WBGU 2011, Seite 2

[1113] Vgl. INGELHART 1981, Seite 880 ff. sowie INGELHART/ABRAMSON 1999, Seite 665 ff. Die Autoren gehen davon aus, dass Menschen knappe Güter als besonders wertvoll ansehen. Generationen, die in materiellem Wohlstand aufgewachsenen sind, messen diesem demnach einen geringeren Wert bei.

[1114] „Der Staat schützt auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen und die Tiere im Rahmen der verfassungsmäßigen Ordnung durch die Gesetzgebung und nach Maßgabe von Gesetz und Recht durch die vollziehende Gewalt und die Rechtsprechung.“ BUNDESTAG 2010, Art. 20a

[1115] Vgl. WBGU 2011, Seite 6 f.

[1116] Vgl. Teilkapitel 3.1

aufgewachsen sind, die Symbolik und Wahrnehmung von Status. Während für die Generation der 1950er Jahre (*Baby-Boomer*) das Automobil noch als klassisches Statussymbol gilt,[1117] vertritt die Folgegeneration der 1960er und 1970er Jahre (*Generation X*) eine eher ablehnende Haltung gegenüber materieller Symbolik (*Postmaterialismus*). Die Folgegeneration der 1980er Jahre (*Generation Y*) hingegen definiert sich andere, vorwiegend lifestylebezogene, Statussymbole, wie z. B. Smartphones. Insgesamt lässt sich daraus ableiten, dass das Automobil seine Stellung als Statussymbol schrittweise einbüßt.[1118] Dies wird weiterhin daran deutlich, dass bei der Generation zwischen 18 und 29 Jahren ein deutlich reduziertes Interesse am Besitz eines eigenen Pkw zu verzeichnen ist, wobei 90 % eher auf ein eigenes Automobil als auf ein eigenes Mobiltelefon verzichten wollen.[1119] Neben dem grundsätzlich reduzierten Interesse an Automobilen ist festzustellen, dass für junge Menschen das Eigentum an einer Sache gegenüber dem der praktischen Nutzungsmöglichkeit (Besitz) in den Hintergrund des Interesses rückt.[1120] Bezogen auf Automobilität bereitet diese Entwicklung den Boden für die Vermarktung von integrierter Mobilität an Stelle des bisherigen, durch die Automobilhersteller dominierten Verkaufs von Fahrzeugen.[1121] Während im Jahr 1999 noch 17 % der Neuwagenkäufer in Deutschland unter 30 Jahren alt waren, belief sich diese Quote 2009 noch auf lediglich 7 %, die Führerscheinquote bei den unter 26-jährigen fiel von 90,6 % im Jahr 2000 auf 75,5 % im Jahr 2007.[1122] Speziell diese junge Generation unter 30 Jahren ist im Gegenzug besonders aufgeschlossen gegenüber Car-Sharing,[1123] sodass Prognosen davon ausgehen, dass dieses Vermarktungskonzept allein in Europa von ca. 700.000 Nutzern bei 21.000 Fahrzeugen im Jahr 2011 auf ein Niveau von bis zu 20 Mio. Nutzern bei 240.000 Fahrzeugen im Jahr 2020 zunehmen wird.[1124] Demographiebezogen bleibt festzuhalten, dass die Stellung des Automobils als materialistisches Statussymbol in wirtschaftlich entwickelten Regionen schwindet, während die Offenheit gegenüber neuen Mobilitätskonzepten steigt.

Hinsichtlich der Dynamik des gesellschaftlichen Werte- und Anforderungssets ist abschließend zu **resümieren**, dass nachhaltigkeitsbezogene und v. a. ökologische Aspekte als zentra-

[1117] Die Generation der Baby-Boomer bietet aufgrund ihrer Geburtenstärke und Kaufkraft besonderes Absatzpotenzial. Angesichts ihres eher konservativen Werte- und Anforderungssets erzeugt diese Generation demnach nachfrageseitige Beharrungskräfte. Vgl. zur Altersstruktur der Bevölkerung in den Industrienationen am Beispiel Deutschlands HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 59 f. sowie KROOS 2012, Seite 48

[1118] Vgl. CANZLER/KNIE 2012, Seite 8 sowie TERPORTEN et al. 2012, Seite 370

[1119] Vgl. BERNHART/ZOLLENKOP 2011, Seite 281 und WEBER 2013, Seite 93 sowie CANZLER 2010, Seite 43 f.

[1120] Vgl. BARTHEL et al. 2010 Seite 29

[1121] Vgl. BERNHART/ZOLLENKOP 2011, Seite 279. Dieser Aspekt eröffnet ein umfangreiches Untersuchungsfeld der Diffusion und Vermarktung von Elektromobilität und resultierenden Geschäftsmodellen, ist jedoch nicht Schwerpunkt dieser Untersuchung.

[1122] Vgl. CANZLER/KNIE 2012, Seite 8

[1123] Vgl. VDA 2013, Seite 97 und HEYMANN et al. 2011, Seite 18

[1124] Vgl. WEBER 2013, Seite 93

ler Bestandteil des Wertesystems global an Bedeutung gewinnen.[1125] Das Zielkonzept nachhaltiger Entwicklung ist zunehmend länder- und parteiübergreifend akzeptiert, eine Politik globaler Nachhaltigkeit wird angestrebt.[1126] Diese Wertedynamik ist auch ein wesentlicher Innovationsstimulus für die (Automobil-) Industrie,[1127] da sie die Nachfrage nach Automobilität direkt beeinflusst. Auf Grundlage der antriebsbedingt negativen Wahrnehmung des Automobils als umweltschädigende Technik gewinnt Umweltverträglichkeit beim Fahrzeugkauf an Stellenwert.[1128] Die Kombination dieser Dynamik mit der demographiebedingt nachlassenden Stellung des Automobils als materialistisches Statussymbol verdeutlicht in sozialer Hinsicht die schwindende Nachhaltigkeit des etablierten Systems von Automobilität inkl. dessen konventionellen Antriebssystems.[1129]

3.2.1.5 Technologisch intensive Erschöpfung

Die sich unter den Rahmenbedingungen von Industrialisierung, Bevölkerungswachstum sowie wachsendem Bedarf nach Automobilität verstärkenden ökologischen, ökonomischen und sozialen Destabilisierungsdynamiken stimulieren das technologische Regime des Automobils zu Innovationsanstrengungen mit Schwerpunkt auf dem Antriebssystem. Zielsetzung resultierender technischer Neuerungen ist die Stabilisierung des technologischen Paradigmas. Ein naheliegender Lösungsansatz dazu ist die **Ausschöpfung noch unerschlossener technologischer Möglichkeiten** der Trajektorie des konventionellen Antriebs. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die vorhandenen Oligopolisten der Reifephase der Automobilindustrie, geprägt durch ihre Historie, sehr gute Voraussetzungen für diese intensive Exploitation mitbringen (*core capabilities*).[1130] So verfolgen sie bereits seit Jahrzehnten eine technologisch intensive Strategie und erreichten dadurch sowohl eine umfassende **Effizienzsteigerung** des konventionellen Antriebs in Form verringerten Kraftstoffverbrauchs, als auch eine Reduktion von Schadstoffemissionen. Da der Ausstoß von Kohlenstoffdioxid allerdings direkt von der Menge gespaltener Kohlenwasserstoffe abhängt, kann er im Gegensatz zu anderen Schadstoffen nicht entkoppelt vom Kraftstoffverbrauch verringert werden. Die erzielten technischen Fortschritte ließen bspw. in Deutschland den durchschnittlichen Kohlenstoffdioxidausstoß neuer

---

[1125] Vgl. BECKER 2010, Seite 41

[1126] Ein Beispiel globaler Anstrengungen ist das auf der Konferenz für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen (UNCED) in Rio de Janeiro im Jahr 1992 verabschiedete entwicklungs- und umweltpolitische Aktionsprogramm *Agenda 21*, das nachhaltige Entwicklung als Kernziel definiert. Vgl. UNCED 1992, Seite 3

[1127] Vgl. KEIJZER 2007, Seite 122. Der Autor nennt mit Bezug auf die Automobilindustrie beispielhaft den Rußpartikelfilter als resultierende Innovationen.

[1128] Vgl. WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 22 f.

[1129] Da Automobile über die Mobilitätsfunktion hinaus dazu geeignet sind eigene Werthaltungen nach außen darzustellen, ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass dies für Automobilhersteller einen Ansatzpunkt zur Etablierung alternativer Statussymbole in Gestalt konsequent umweltschonender Fahrzeuge bietet (Green Car). Vgl. HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 64 ff.

[1130] Vgl. Abschnitt 2.3.6 und Abschnitt 2.3.7

Personenkraftwagen von 173 g/km im Jahr 2006 um 18 % auf 141 g/km im Jahr 2013 sinken.[1131] Darüber hinaus konnte der Ausstoß von Kohlenwasserstoffen, Stickoxiden, Kohlenmonoxid und Feinstaubpartikeln seit den 1990er Jahren durch Umwelt- und Nachhaltigkeitsinnovationen, wie verbesserte Brennverfahren, Abgaskatalysatoren und Filterungstechnik, um 90 % verringert werden.[1132] Moderne Otto- bzw. Dieselmotoren erreichen unterdessen in der Spitze Wirkungsgrade von 35 % bzw. 43 %, wobei die auf einen Fahrzyklus bezogenen, realistischen Werte mit 15 % bis 20 % jedoch deutlich geringer sind.[1133] Indessen ist festzustellen, dass der verbrennungsmotorbasierte Antrieb einen hohen **Reifegrad** besitzt, sodass die verbleibenden technologischen Möglichkeiten unter abnehmender Geschwindigkeit und mit steigendem Aufwand erschlossen werden.[1134] Dabei ist von abnehmenden Innovationsrenditen auszugehen. Aufgrund der Ausweitung von Destabilisierungsimpulsen ist jedoch nach wie vor die Reduktion von Kraftstoffverbrauch und Schadstoffausstoß die zentrale technologische Herausforderung.[1135] Ein aktueller Ansatz zur Erschließung verbleibender intensiver technologischer Opportunitäten ist das *Downsizing*. Bei diesem Verfahren werden verbrennungsmotorbezogene technische Größen, inkl. Kraftstoffverbrauch und Schadstoffausstoß, unter Erhalt der Leistungsfähigkeit verkleinert (Downsizing).[1136] Darüber hinaus gibt es innerhalb des technologisches Regimes Bestrebungen, die Vorteile von Otto- und Dieselmotor in einer Maschine zu vereinen.[1137] Weitere Exploitationsansätze sind Abgasenergierückführung, Benzindirekteinspritzung und variable Kompression.[1138] Diese Anstrengungen dürfen jedoch nicht den Blick auf die Tatsache verstellen, dass naturwissenschaftliche *trade-offs* eine **Grenze der Effizienzsteigerung** des technologischen Paradigmas definieren.[1139] So ist der Wirkungsgrad der Energiewandlung in thermodynamischen Verbrennungskraftmaschinen wie Verbrennungsmotoren durch Naturgesetze der Thermodynamik beschränkt,[1140] aus denen

---

[1131] Vgl. VDA 2013, Seite 63

[1132] Vgl. VDA 2013, Seite 62

[1133] Vgl. GOLLOCH 2005, Seite 1. Die angegebenen Wirkungsgrade beziehen sich auf den Anteil der in Energieträgern gebundenen Energie, der durch Einsatz der Antriebstechnik als Vortrieb nutzbar wird. Die Energiedichte von Otto- und Dieseltreibstoff liegt volumetrisch bei etwa 10.000 Wh/l und 11.000 Wh/l sowie gravimetrisch bei 12.000 Wh/kg und 13.000 Wh/kg.

[1134] Vgl. VDA 2013, Seite 64

[1135] Vgl. BECKER 2010, Seite 137

[1136] Vgl. GOLLOCH 2005, Seite 2 sowie BASSHUYSEN 2010, Seite 56 und GRUDEN 2008, Seite 386 ff.

[1137] Künftig sollen auf diese Weise hoher Wirkungsgrad, geringerer Kraftstoffverbrauch und Selbstentzündung des Dieselmotors mit homogenerer Gemischbildung und geringerer Schadstoffemission des Ottomotors kombiniert werden. Vgl. BECKER 2010, Seite 137 f.

[1138] Vgl. zur diesen und weiteren Ansätzen der Effizienzsteigerung WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 36 ff.

[1139] Zu technischen Maßnahmen zur Reduktion von Schadstoffen Vgl. GRUDEN 2008, Seite 138 ff.

[1140] Der Carnot-Kreisprozess bzw. -Wirkungsgrad ist ein theoretischer Referenzprozess bzw. Grenzwert der Thermodynamik, aus dem sich eine absolute Grenze der Effizienz thermodynamischer Kreisprozesse ableitet. Diese wird durch die nutzbare Temperaturdifferenz zwischen Arbeitsmaschine und Umgebung limitiert (Exergie). Die Anergie ist entsprechend die im System befindliche Energie, die dem energetischen Niveau der Umgebung entspricht und demnach nicht nutzbar ist. Da die Umgebungstemperatur im Falle des Automobils die Temperatur an der Erdoberfläche ist, steigt der Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors mit der

sich ein technischer Grenzbereich der Reduktion von Treibstoffverbrauch und Schadstoffausstoß ergibt.[1141] Auf dieser Grundlage gehen aktuelle Schätzungen von einem verbleibenden Potenzial von ca. 25 % Effizienzsteigerung aus.[1142] Bereits der durch die europäische Union vorgegebene Grenzwert durchschnittlicher Kohlenstoffdioxidemission von Neufahrzeugen von maximal 95 g/km im Jahr 2020, der einem Verbrauchsvolumen von 3.6 Litern Diesel- bzw. 4,1 Litern Ottokraftstoff pro 100 km entspricht, ist mit dem bestehenden Antriebsparadigma nicht mehr zu erreichen.[1143] An dieser Stelle ist anzumerken, dass flankierend zur Weiterentwicklung des Antriebssystems auch weitere Maßnahmen, wie z. B. Gewichtsreduktion (Leichtbau) oder reduzierter Luftwiderstand (Aerodynamik) von Automobilen zur Reduktion von Kraftstoffverbrauch- und Schadstoffausstoß beitragen können, indem sie die erforderliche Fahrenergie mindern. Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass sich aus der Wirkungskette zwischen der Energiedichte des Energieträgers, dem begrenzten Wirkungsgrad des konventionellen Antriebs und der für den Vortrieb benötigten Energiemenge eine Grenze technologisch intensiver Entwicklung ergibt. Infolgedessen fehlt es dem bereits technologisch reifen verbrennungsmotorbasierten Antriebsparadigma an technologischen Möglichkeiten, um den ökologischen, ökonomischen und sozialen Destabilisierungsdynamiken langfristig entgegenzuwirken. Eine Stabilisierung kann demnach lediglich kurzfristig erfolgen. Insgesamt wird deutlich, dass sich das konventionelle technologische Antriebsparadigma, trotz hoher technologischer Reife und großer Stabilisierungsbemühungen, aufgrund seines Funktionsprinzips technologisch erschöpft und demnach unweigerlich weiter destabilisieren wird.

3.2.2 Nachhaltigkeitsinduzierter Innovationdruck auf einen Paradigmenwechsel

Es zeichnet sich ab, dass das Zusammenspiel zwischen Industrialisierung und Bevölkerungswachstum den Konsum von Ressourcen und Energie derart massiv steigen lässt, dass die übermäßige Nutzung von Naturkapital bzw. die Überbelastung natürlicher Schadstoffsenken das globale Ökosystem bedroht. Das etablierte System von Automobilität hat primär wegen des Funktionsprinzips seines Antriebs erheblichen Anteil an diesen **ökologischen** Schadwirkungen, die sich angesichts des wachsenden Fahrzeugbestands und zunehmender Nutzungsintensität ausweiten. **Ökonomisch** ist aufgrund von weiterem Zuwachs der bereits hohen Nachfrage nach Erdöl in Verbindung mit der geographischen und anbieterbezogenen Konzentration (Kartellbildung) der endlichen Reserven von fortwährender Steigerung des Ölpreises und

maximalen Prozesstemperatur, die wiederum durch die Belastungsgrenzen der eingesetzten Werkstoffe limitiert ist. Vgl. GRUDEN 2008, Seite 365 f. Um hohe Wirkungsgrade zu erreichen, sollte in Wärmeumwandlungsprozessen die Wärme bei möglichst hoher Temperatur zugeführt und bei möglichst niedriger Temperatur abgeführt werden. Vgl. EICHELSEDER/KLELL 2008, Seite 12

[1141] Vgl. KLINE/ROSENBERG 1986, Seite 276

[1142] Vgl. VDA 2013, Seite 134

[1143] Vgl. VDA 2013, Seite 64 und Seite 68 sowie BERNHART/ZOLLENKOP 2011, Seite 280

dessen Volatilität auszugehen. Auf **sozialer** Ebene fällt auf, dass das Bewusstsein dieses nicht nachhaltigen Wirtschaftens generationsübergreifende Verantwortungsübernahme mit Schwerpunkt auf Umweltschutz ins Zentrum des Wertekanons rückt, wobei schädigende Technik und Konsummuster zunehmend kritisch gesehen werden. Übergreifend kann gefolgert werden, dass das verbrennungsmotorbasierte technologische Paradigma automobilen Antriebs aus allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen Destabilisierungsimpulse erfährt, was zu **wachsendem Innovationsdruck** führt. Das etablierte technologische Regime reagiert darauf bereits seit Jahrzehnten mit technologischer Exploitation, die umfangreiche Verbesserungen mit temporär stabilisierender Wirkung hervorbrachte. Da das destabilisierende Kernproblem jedoch dem Funktionsprinzip des etablierten Paradigmas inhärent ist, kann es mit dieser Strategie nicht gelöst werden. So zeichnet sich nun unter fortwährenden Destabilisierungsimpulsen die **technologische intensive Erschöpfung** der Trajektorie des nunmehr reifen verbrennungsmotorbasierten Antriebs ab. Im Ergebnis ist somit festzustellen, dass die Auflösung des Bedürfniskonfliktes zwischen (Auto-) Mobilität und lebenswerter Umwelt an Stelle einer technologisch intensiven Effizienzorientierung eine technologisch extensive Explorationsorientierung und letztlich einen **technologischen Paradigmenwechsel im Antrieb** erfordert.

3.3 Perspektiven alternativer technologischer Paradigmen

Die schwindende Nachhaltigkeit des etablierten Paradigmas automobilen Antriebs und der zunehmende Innovationsdruck werfen unweigerlich die Frage nach technologischen Alternativen auf, mit der sich die folgenden Abschnitte beschäftigen. Während Abschnitt 3.3.1 die konzeptionellen Charakteristika eines Zielkonzeptes erörtert, fokussiert 3.3.2 auf die nachhaltigkeitsbasierte Identifikation alternativer Energieversorgung. Hierauf aufbauend werden in Abschnitt 3.3.3 Funktion, Reife- und Kostenstatus des elektrischen Antriebs dem konventionellen auf Modulebene gegenübergestellt und daraus die graduelle Rekonfigurationscharakteristik des bevorstehenden technologischen Paradigmenwechselprozesses über eine temporäre Hybridphase herausgearbeitet.

3.3.1 Konsistenzstrategie durch *Backstop*-Technologie

Basierend auf den in Teilkapitel 3.2 erörterten Zusammenhängen muss die nachhaltige Auflösung des zentralen Bedürfniskonfliktes zwischen erschwinglicher Mobilität und lebenswerter Umwelt **Kernziel** technologischer Entwicklung des automobilen Antriebs sein. Die dafür erforderliche Gleichstellung ökologischer, ökonomischer und sozialer Nachhaltigkeitsdimension erzwingt einen neuen, technologisch extensiven Diskurs.[1144] Ohne die konkrete Lösung vorab zu kennen, wird bereits an dieser Stelle klar, dass entsprechende Neuerungen mindes-

[1144] Vgl. BURNS 2000, Seite 305

tens den Charakter einer Umwelt-, langfristig jedoch eher den einer Nachhaltigkeitsinnovation aufweisen müssen.[1145] Erforderlich ist demnach eine tiefgreifende Neuorientierung des techno-ökonomischen Systems von Mobilität bzw. übergeordneter Wirtschaftsweise, die von nicht nachhaltigem Ressourcenverbrauch und den damit verbundenen Eingriffen in den Naturhaushalt entkoppelt ist.[1146]

Ausgehend von der Vision nachhaltiger Entwicklung bietet sich zur Identifikation vielversprechender technologischer Alternativen zum bisherigen automobilen Antriebsparadigma eine vom Naturhaushalt ausgehende, **rückwärtsgerichtete Suche** an.[1147] Ansatzpunkt der Exploration muss der paradigmenspezifische Nachhaltigkeitskonflikt in der Energieversorgung sein, wobei zur Vermeidung erneuter Destabilisierung technischer Alternativen eine Koppelung an natürliche Kreisläufe gewährleistet sein muss. Zentrale Anforderung an ein technologisches Folgeparadigma ist demnach dessen Eignung für eine **nachhaltige Konsistenzstrategie** durch Gewährleistung quantitativer Vereinbarkeit erzeugter (Schad-) Stoffströme mit ökologischen Kreisläufen durch Kompatibilität technischer und natürlicher Metabolismen.[1148] Der nachhaltigkeitsinduzierte Imperativ einer Konsistenz- an Stelle einer Effizienzorientierung wird insbesondere daran deutlich, dass technologisch intensive Fortschritte des konventionellen Antriebsparadigmas durch steigenden Fahrzeugbestand und die intensivere Fahrzeugnutzung global deutlich überkompensiert werden (Reboundeffekt).[1149] Eine derartige, in den ökologischen Gesamtkreislauf integrierte Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse heutiger und zukünftiger Generationen sollte Mobilität für jeden verfügbar und erschwinglich machen sowie volkswirtschaftlich effektiv organisieren.[1150] Das Grundprinzip **zyklischer Ressourcennutzung** (*cradle to cradle*) muss die effizienzorientierte Exploitation degenerativer Technologie ersetzen, was eine Orientierung an *Clean*- statt an *Lean-Prinzipien* erfordert.[1151] In diesem Kontext ist zu betonen, dass die Priorisierung von Effizienz gegenüber Konsistenz die langfristige Verfolgung nicht nachhaltiger Entwicklungspfade verursacht und technologisch inferioren *lock-in* erzeugt bzw. verstärkt. Die Verfolgung einer nachhaltigen Konsistenzstrategie für den automobilen Antrieb erzwingt die explorative Suche nach einer **Backstop-Technologie**, die den Verbrauch nicht-regenerativen Naturkapitals beendet und sich stattdes-

---

[1145] Vgl. Absatz 2.2.1.2

[1146] Vgl. ÖMER-RIEDER/TÖTZER 2004, Seite 5 sowie Absatz 2.2.1.2

[1147] Vgl. MULDER et al. 1999, Seite 8. Die Autoren sprechen von einem Vorgehen des *reasoning backwards*.

[1148] Vgl. Absatz 2.2.1.2 bzw. HUBER 2003, Seite 229 ff. und GRUDEN 2008, Seite VII

[1149] Das in der Literatur in diesem Kontext verbreitete *Well-to-Wheel-Konzept* zur Bewertung des energetischen Gesamtwirkungsgrades automobiler Energieketten stellt ein Effizienzmaß dar. Vgl. KLELL/CONA 2009

[1150] Vgl. SCHADE et al. 2011, Seite 10. Dabei wird davon ausgegangen, dass Niveau und Qualität der Befriedigung der als konstant angenommenen Bedürfnisse mindestens erhalten werden sollen.

[1151] Vgl. McDONOUGH/BRAUNGART 2006, Seite 33 ff. Die Autoren betonen in diesem Zusammenhang, dass Ökoeffizienz im Gegensatz zum verbreiteten Verständnis nicht als Verzichts- bzw. Reduktions-, sondern als Reformationspfad zu verstehen ist, der ein *Redesign* von Produkt und Produktion erfordern kann.

sen auf das ökologisch-regenerative Niveau beschränkt.[1152] Technologische Substitution mittels alternativer technologischer Paradigmen bietet dabei die Möglichkeit auf bestimmte Technologien, Quellen und Schadstoffsenken zu verzichten ohne (langfristig) das Nutzenniveau zu reduzieren.[1153]

Die Exploration technologischer Alternativen automobilen Antriebs darf allerdings nicht ausschließlich auf den *Backstop*-Charakter hinsichtlich der Energieversorgung im Fahrzeugbetrieb fokussieren, sondern muss auch den Produktions- und Entsorgungsprozess sowie die für den Aufbau erforderlichen Roh- bzw. Werkstoffe einbeziehen.[1154] **Produktions- und Entsorgungsprozess** umfassen die der Betriebsphase des Produkts vor- und nachgelagerten Abläufe inkl. der dafür erforderlichen Produktionsfaktoren, wie z. B. Anlagen und Energie. Eine effiziente Gestaltung dieser Prozesse kann zwar wesentliche Beiträge zu nachhaltiger Entwicklung liefern,[1155] jedoch nicht den für die Destabilisierung des etablierten Antriebsparadigmas zentralen Bedürfniskonflikt lösen.[1156] Da dieser in der Betriebsphase zu verorten ist, werden Produktions- und Entsorgungsprozess hier nicht tiefergehend analysiert. Zusätzlich zu dieser Prozessebene ist auch der physische **Produktaufbau aus Roh- bzw. Werkstoffen** ein nachhaltigkeitsbezogen zu berücksichtigendes Handlungsfeld. Dabei ist zu beachten, dass der Aufbau von Antriebssystemen ohne den Einsatz nicht regenerativen Naturkapitals in Form von Werkstoffen (z. B. Metalle) bisher als nicht realisierbar erscheint. Es muss demnach Zielsetzung der Produktgestaltung sein, den Einsatz nicht-regenerativer Anteile auf weitreichend verfügbare Materialien zu konzentrieren und deren Nutzungsmenge auf ein erforderliches Maß einzuschränken. Darauf aufbauend ist es zum Ende der Nutzungsphase erforderlich, technische Artefakte entweder für einen erneuten Betrieb aufzubereiten (*remanufacturing*) oder die eingesetzten Roh- bzw. Werkstoffe zurückzugewinnen und dem Wirtschaftskreislauf erneut zuzuführen (Recycling). Auf diese Weise ergibt sich hinsichtlich des zum Produktaufbau eingesetzten Naturkapitals ein schwach nachhaltiges System kapitalstockübergreifender Substitution, das die ökonomisch eingesetzten, nicht regenerativen Teile des Naturkapitals

---

[1152] Vgl. Abschnitt 2.1.2

[1153] Vgl. MAJER 1998, Seite 235 f. An dieser Stelle ist anzumerken, dass eine rasche Erneuerung des Kapitalstocks in Folge eines Paradigmenwechsels einerseits die Verkürzung der Nutzungsdauer von Alt-Anlagen bedingt und andererseits hohe Investitionen erfordert. Die Entlastungswirkungen neuer Technik müssen zur Erzielung eines übergreifend positiven Entlastungseffektes demnach erst die zusätzlichen Belastungswirkungen ihrer Erstellung überkompensieren. Vgl. KURZ 2001, Seite 51 f.

[1154] Unverarbeitete Rohstoffe, die dem Naturkapital entnommen werden, werden als *primär* bezeichnet. Sekundäre Rohstoffe hingegen werden durch Recycling aus dem Wirtschaftskreislauf zurückgewonnen. Durch Weiterverarbeitung werden Rohstoffe zu Werkstoffen, aus denen wiederum Produkte aufgebaut werden.

[1155] So konnten die deutschen Automobilhersteller bspw. die Menge der zur Fahrzeugherstellung benötigten Energie im Zeitraum von 1990 bis 2011 um über 10 %, die eingesetzte Menge an Lösungsmitteln gar um über 90 % reduzieren. Vgl. VDA 2013, Seite 90

[1156] Potenziale für Beiträge zu nachhaltiger Entwicklung bieten sich prozessorientiert bspw. mittels schlanker Produktionsgestaltung (*lean production* mit ökonomischem Schwerpunkt), menschengerechter Produktionsgestaltung (sozialer Schwerpunkt) sowie umweltfreundlicher Produktionsgestaltung (*green production*, Vgl. GRUDEN 2008, Seite 89 ff.).

zyklisch wiederverwertet anstatt sie zu verbrauchen. Die Menge des der ökologischen Sphäre entnommenen Kapitals bleibt auf diese Weise begrenzt.
Zusammenfassend ist eine Auflösung der zentralen Nachhaltigkeitsproblematik der Energieversorgung des Antriebs in der Betriebsphase lediglich durch einen technologischen Paradigmenwechsel erreichbar, der eine nachhaltig konsistente Energieversorgung von Automobilität ermöglicht.[1157] Kernziel ist die Etablierung einer *Backstop*-Technologie, die eine quantitative Vereinbarkeit ökologischer und ökonomischer Kreisläufe auf regenerativem Niveau bzw. eine zyklische Ressourcen- und Energienutzung, sowohl zwischen als auch innerhalb der Kapitalstöcke ermöglicht. Die technologische Exploration geeigneter Alternativen muss demnach bei der Energieversorgung ansetzen, wobei erneuter Destabilisierung durch Bewertung und Selektion auf Basis des aktuellen Nachhaltigkeitsverständnisses soweit wie möglich vorzubeugen ist.

3.3.2 Nachhaltigkeitsbewertung alternativer Energieversorgung

Um aufbauend auf den Ausführungen des vorherigen Abschnittes nachhaltige technologische Alternativen für den Antrieb von Automobilen zu identifizieren, ist eine Analyse nutzbarer Energieträger bzw. Energien erforderlich. Wie in Abb. 3-5 dargestellt, muss dabei zwischen begrenzt verfügbaren Energieträgern und erneuerbaren Energieträgern bzw. Energien unterschieden werden.[1158] Die betrachteten Alternativen kommen auf der Erde natürlich vor und werden deshalb als *primär* bezeichnet. Ihre Nutzbarmachung erfordert überwiegend eine Aufbereitung bzw. Wandlung in *sekundäre* Energieträger bzw. Energien wie Kraftstoffe, elektrischen Strom oder Wasserstoff.[1159] Um eine objektive Vergleichbarkeit zu gewährleisten und darauf aufbauend technologische Alternativen des automobilen Antriebsstrangs vergleichen zu können, erfolgt jeweils eine kurze Beschreibung und Nachhaltigkeitsbewertung auf Basis der hier geltenden Nachhaltigkeitssystematik.[1160]

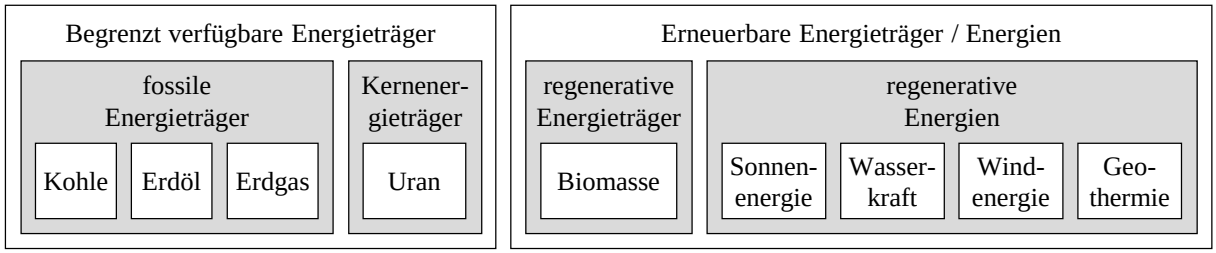


Abb. 3-5: Energieträger und Energien zum Betrieb von Automobilen[1161]

[1157] Diskontinuierlicher technologischer Fortschritt kann einen Betrag zum Einschwenken auf einen nachhaltigen Entwicklungspfad leisten. Vgl. DOSI/GRAZZI 2009, Seite 46
[1158] Vgl. DIEKMANN/ROSENTHAL 2014, Seite 4 f.
[1159] Vgl. REIF 2010, Seite 78
[1160] Vgl. zur Nachhaltigkeitssystematik dieser Untersuchung Abschnitt 2.1.4
[1161] Eigene Darstellung

Fossile Energieträger

Die erste Gruppe begrenzt verfügbarer Energieträger bilden fossile Energieträger. Sie sind Produkte der Umwandlung früherer Organismen, die nun als Kohlenwasserstoffe in festem (Kohle), flüssigem (Erdöl) oder gasförmigem (Erdgas) Aggregatzustand in der Erdkruste vorliegen. Die in diesen chemischen Verbindungen als Bindungsenergie vorliegende Energie kann durch Verbrennung in Verbrennungskraftmaschinen in mechanische Energie zur Verrichtung von Arbeit gewandelt werden.[1162] Die Kohlenwasserstoffketten werden in einer exothermen Redoxreaktion mit Sauerstoff gespalten, wobei unter Entstehung von Kohlenstoffdioxid und Wasser Energie frei wird.[1163] Aktuell werden ca. 80 % des globalen Energiebedarfs durch fossile Energieträger gedeckt.[1164] Die Verbrennung fossiler Energieträger in einer Verbrennungskraftmaschine (Hubkolbenmotor) bildet auch das Grundprinzip des aktuellen technologischen Paradigmas automobilen Antriebs. Die Nachhaltigkeitsbewertung der Nutzung fossiler Energieträger stellt sich wie folgt dar: Aus Kapitalstockperspektive handelt es sich um eine überwiegend ohne Substitution verlaufende Nutzung nicht regenerativer Kapitalanteile bei sinkendem Kapitalstock, was insgesamt zu einer Einstufung als **nicht nachhaltig (N-)** führt. Mit Blick auf die einzelnen Konzepte wird deutlich, dass dieses Nutzungsverhalten aufgrund eingeschränkter (kapitalstockübergreifender) Substitution nicht schwach nachhaltig ist.[1165] Da es sich bei fossilen Energieträgern zudem um nicht regeneratives, und damit essenzielles, Naturkapital handelt, muss eine Bewertung aus Perspektive der vernünftigen Nachhaltigkeit nach dem Maßstab starker Nachhaltigkeit erfolgen.[1166] Nachdem die hierfür erforderliche kapitalstockinterne Substitution ebenfalls ausbleibt, fallen auch diese Bewertungen negativ aus. Aufgrund der ökologischen Schadwirkungen muss letztlich auch die Beurteilung aus Sicht des ökologischen Fußabdrucks zu einer Einstufung als **nicht nachhaltig** gelangen.[1167] Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass der Einsatz fossiler Energieträger als nachhaltig-konsistente Grundlage technologischer Paradigmen automobilen Antriebs ungeeignet ist.[1168] Auf übergeordneter Ebene ist auch das seit dem 19. Jahrhundert auf fossile Energieträger fixierte, globale Wirtschaftssystem als nicht nachhaltig einzustufen.[1169]

[1162] Beispiele für Verbrennungskraftmaschinen sind Kolbenmotoren, Gasturbine oder Strahltriebwerke.
[1163] Da Verbrennungsvorgänge unvollständig verlaufen entstehen weitere Schadstoffe. Vgl. Absatz 3.2.1.1
[1164] Vgl. EICHELSEDER/KLELL 2008, Seite 8
[1165] Es ist davon auszugehen, dass Teile des verbrauchten Naturkapitals in die Erstellung ökonomischen und sozialen Kapitals einfließen. Da diese kapitalstockübergreifende Substitution jedoch nicht vollständig erfolgt, sinkt der Gesamtkapitalstock, sodass die Anforderungen schwacher Nachhaltigkeit nicht erfüllt sind.
[1166] Der aus der begrenzten Verfügbarkeit resultierende Preisanstieg ist als Nutzungsauswirkung in ökonomischer und ggf. auch sozialer Nachhaltigkeitsdimension zu berücksichtigen.
[1167] Vgl. zu den negativen Auswirkungen der Nutzung fossiler Energieträger Abschnitt 3.2.1
[1168] An dieser Stelle ist hervorzuheben, dass somit auch der aktuell häufig als vielversprechend dargestellte Antrieb durch Verbrennung von Erdgas als nicht nachhaltig einzustufen ist.
[1169] Vgl. NORGAARD 1994, Seite 224

Kernenergieträger

Eine weitere Kategorie begrenzt verfügbarer Energieträger bilden die Kernenergieträger, wie bspw. Uran, die radioaktiv sind und bereits bei der Bildung des Sonnensystems entstanden. Mittels Kernspaltung wird in Kraftwerken die Differenz der Kernbindungsenergie eines schweren Nuklids (vorwiegend Uran) zur Summe der Kernbindungsenergie der Spaltprodukte als Bewegungsenergie frei (*Massendefekt*).[1170] Das Abbremsen der Spaltprodukte im umgebenden Medium führt zu einer Wandlung in thermische Energie, die dann mit Hilfe einer Strömungsmaschine (Turbine) in mechanische und letztlich mittels Generator in elektrische Energie gewandelt wird. Die bei Spaltung und Zerfall von Atomkernen entstehende radioaktive Strahlung ist ionisierend und damit schädlich für Organismen. Beim Betrieb von Kernkraftwerken entstehen Spaltprodukte (radioaktive Abfälle), die über sehr lange Zeiträume weiter zerfallen, sodass in dieser Abklingzeit ein Entsorgungs- bzw. Lagerungsproblem entsteht.[1171] Aufgrund des Erfordernisses einer kontrollierten radioaktiven Kettenreaktion geht von Kernkraftwerken zudem immer die Gefahr von Stör- und Zwischenfällen aus, deren Auswirkungen verheerend sein können.[1172] Da es sich bei der Nutzung von Kernenergieträgern folglich, analog der fossilen Energieträger, um einen weitgehend ohne Substitution erfolgenden Verbrauch nicht regenerativen Naturkapitals bei sinkendem Kapitalstock handelt, ergibt sich auch hier eine Gesamteinstufung als **nicht nachhaltig (N-)**. Die Substitutionsanforderungen schwacher, vernünftiger sowie starker Nachhaltigkeit werden nicht erfüllt. Überdies führen die negativen Auswirkungen in Form von Betriebsrisiko sowie Entsorgungs- bzw. Lagerungsproblematik radioaktiver Abfälle hinsichtlich der Bewertung des ökologischen Fußabdrucks ebenfalls zu einer Bewertung als **nicht nachhaltig**. Abschließend ist somit zu konstatieren, dass die Nutzung von Kernenergie grundsätzlich, und damit auch zum Betrieb von Automobilität, als *Backstop*-Technologie ungeeignet ist.

Biomasse

Einen Ansatz zur Nutzung regenerativer Potenziale bietet der Einsatz von Biomasse als erneuerbarer Energieträger.[1173] Dabei handelt es sich um Kohlenwasserstoffe, die primär unter Einwirkung von Sonnenlicht bei der Fotosynthese aus den Edukten Kohlenstoffdioxid und Wasser entstehen. Sie treten in der Natur in fester Form (z. B. Holz), in flüssiger Form (z. B. Pflanzenöl) oder auch gasförmig (z. B. Fermentationsgase) auf und müssen vor ihrem Einsatz

[1170] Vgl. zu Kernkraftwerken bzw. zum *Massendefekt* DIEKMANN/ROSENTHAL 2014, Seite 191 ff.
[1171] Maßzahl des Zerfalls radioaktiver Materialien ist die Halbwertszeit, d. h. die Zeit in der jeweils die Hälfte des verbleibenden Materials zerfallen ist. Die Halbwertszeit von Uran-235 beträgt über 700 Mio. Jahre.
[1172] Beispielhaft sind an dieser Stelle die Zwischenfälle in Tschernobyl 1986 bzw. Fukushima 2011 zu nennen.
[1173] Als Biomasse werden lebende Organismen (z. B. Pflanzen und Tiere) sowie deren Nebenprodukte (u. a. Exkremente) und abgestorbene Überreste bezeichnet. Vgl. DIEKMANN/ROSENTHAL 2014, Seite 89 f.

in Verbrennungskraftmaschinen meist aufbereitet werden.[1174] Aufgrund ihrer Regenerationsfähigkeit wird ihre Nutzung häufig als kohlenstoffdioxidneutral bezeichnet. Ihr Einsatz als Kraftstoff für Automobile ist bereits in Anwendung und erlaubt ein Festhalten an Verbrennungsmotoren sowie die Nutzung der vorhandenen Tankstellen-Infrastruktur mit Biodiesel, Pflanzenöl und Bioethanol, sodass sich bzgl. der Emissionen ein direkter Entlastungseffekt ergibt.[1175] Produktion und Einsatz von Biomasse als Energieträger führen allerdings zu einem Konflikt mit der Nahrungsmittelproduktion bzw. -versorgung. Dieser entsteht auf erster Ebene durch die Möglichkeit des Konsums von zur Nahrungsmittelherstellung geeigneten Agrarprodukten als Energieträger, sodass mobilitätsbedingt eine Angebotsmengenreduktion bzw. Preissteigerung von Nahrungsmitteln droht.[1176] Um derartiger Entwicklung entgegenzuwirken, erlassen Regierungen weltweit Regulierungen und Verbote der Verarbeitung von Nahrungsmitteln zu Kraftstoffen.[1177] Konsequenzen auf zweiter Ebene sind sowohl ein Ausweichen auf den Anbau für den menschlichen Verzehr nicht geeigneter Pflanzen, wie Industrierüben oder Futtergetreide, als auch die Ausweitung der landwirtschaftlich genutzten Flächen insgesamt.[1178] Aufgrund unzureichender Anbauflächen in wirtschaftlich entwickelten Regionen und des hohen Anteils der für Treibstoffe aufgewendeten Kaufkraft, verlagert sich der Anbau regenerativer Energieträger zudem teilweise in Entwicklungsländer, wodurch die lokalen Lebensmittelpreise steigen und negative ökologische Auswirkungen durch Monokulturen entstehen.[1179] Die Nachhaltigkeitsbewertung des Einsatzes von Biomasse als Energieträger muss demnach differenziert ausfallen. Aus Kapitalstockperspektive ergibt sich durch die Einschränkung der Nutzungsintensität auf das regenerative Potenzial eine weitgehende Erhaltung des natürlichen Kapitalstocks bzw. eine zeitlich unbegrenzte Verfügbarkeit.[1180] Verbleibender Einwand gegen eine Einstufung als ökologisch nachhaltig ist die Reduktion des natürlichen

---

[1174] Für den Einsatz in automobilen Verbrennungsmotoren erfolgt eine Aufbereitung zu regenerativen Kraftstoffen. Vgl. tiefergehend GRUDEN 2008, Seite 245 ff. sowie REIF 2010, Seite 80 ff.

[1175] Vgl. KUHN/PICKARDT 2009, Seite 183 ff. Regenerative Kraftstoffe aus Biomasse werden fossilen Treibstoffen beigemischt, wobei z. B. der Ottokraftstoff E10 einen Bioethanolanteil von 5 bis 10 % enthält.

[1176] Vgl. WHI 2012, Seite 5 sowie JACOB 2010, Seite 32 f. Aufgrund des Anstiegs der Nachfrage nach Primärenergie ist davon auszugehen, dass der Anbau von Biomasse zur Herstellung regenerativer Kraftstoffe mittelfristig profitabler sein wird als der Anbau von Agrarprodukten für Nahrungsmittel. Vgl. WELTHUNGERHILFE 2013, Seite 1

[1177] Vgl. VDA 2013, Seite 79 f. sowie BECKER 2010, Seite 142. Stattdessen werden regenerative Kraftstoffe der zweiten Generation aus Altholz, Stroh oder Abfällen favorisiert. Regenerative Kraftstoffe der dritten Generation aus Algen befinden sich noch im Forschungsstadium. Vgl. SCHÜTH 2007, Seite 14 ff. und BASSHUYSEN 2010, Seite 149 ff.

[1178] In diesem Kontext ist zu betonen, dass der Anbau von Biomasse zur Herstellung regenerativer Energieträger häufig auf Flächen erfolgt, die auch für den Anbau von Pflanzen zur Nahrungsmittelherstellung geeignet ist.

[1179] Vgl. BECKER 2010, Seite 142. Die Kaufkraftproblematik innerhalb des resultierenden Anreizsystems wird besonders klar, wenn man sich beispielhaft verdeutlicht, dass in Deutschland im Jahre 2011 pro Haushalt ca. 1200 € (4,4 %) der Ausgaben für Kraftstoffe im Verkehr aufgewendet wurden (Tendenz steigend), wobei das durchschnittliche Haushaltsnettoeinkommen in zahlreichen Entwicklungsländern unterhalb dieses Wertes liegt. Vgl. DESTATIS 2013, Seite 19

[1180] Vgl. STAN 2012, Seite 189

Kapitalstocks durch massive Ausweitung landwirtschaftlich genutzter Flächen und Monokulturen. Die wesentliche Einschränkung bei der Nachhaltigkeitsbewertung resultiert allerdings aus der sozialen Wirkung des Konfliktverhältnisses mit dem Anbau von Agrarprodukten zur Nahrungsmittelproduktion, dessen Effekt, speziell vor dem Hintergrund zunehmender Weltbevölkerung, als Reduktion von Sozialkapital zu interpretieren ist. Geht man davon aus, dass die dargestellten Reduktionswirkungen des sozialen und ökologischen Kapitals kapitalstockübergreifend substituiert bzw. überkompensiert werden, wäre der Einsatz von Biomasse als Energieträger als schwach bzw. vernünftig nachhaltig zu beurteilen.[1181] Da dies jedoch nicht abschließend attestiert werden kann, erfolgt hinsichtlich dieser Nachhaltigkeitskonzepte eine Einstufung als bedingt nachhaltig. Mit Blick auf das Konzept starker Nachhaltigkeit ist davon auszugehen, dass die negativen sozialen Auswirkungen nicht kapitalstockintern subsituiert werden, was eine Klassifizierung als nicht stark nachhaltig bedingt. Die zusammenfassende Einstufung der Nachhaltigkeit von Biomasse als Energieträger erfolgt demnach aus Kapitalstockperspektive aufgrund negativer sozialer und ökologischer Auswirkungen als **bedingt schwach bzw. bedingt vernünftig nachhaltig (N- bzw. W0)**. Hinsichtlich des ökologischen Fußabdrucks bleibt zudem festzuhalten, dass das bei der Verbrennung von Biomasse entstehende Kohlenstoffdioxid Teil des regenerativen Kreislaufs ist und somit keine Einwände vorzubringen sind. Letztlich ist somit hervorzuheben, dass die Nutzung von Biomasse als Energieträger insgesamt, wie auch zum Betrieb von Automobilität, maximal als schwach nachhaltig einzustufen und folglich kaum als *Backstop*-Technologie geeignet ist. Um zu vermeiden, dass Automobilität in den Industrie- und Schwellenländern zu Lasten der Nahrungsmittelversorgung geht, sollte Biomasse nicht als Energieträger forciert werden.

Erneuerbare Energien

Die Erschließung regenerativen Potenzials ist neben der Nutzung von Biomasse auch durch den Einsatz erneuerbarer Primärenergien möglich. In diese Kategorie fallen Sonnenenergie, Windenergie, Wasserkraft (Wellen, Strömung, Fälle, Gezeiten) und Geothermie. Besonderheiten dieser Energieformen sind ihr hohes regeneratives Potenzial und ihre große Reichweite, die aus anthropogen-intergenerativer Perspektive praktisch als unbegrenzt einzustufen sind. Die Wandlung dieser primären in sekundäre Energieformen (v. a. Elektrizität) und Energieträger (z. B. Wasserstoff) erfolgt mittels primärenergiespezifischer technischer Anlagen, wie z. B. Solarkraftwerken (photovoltaisch oder thermisch), Windkraftanlagen, Wasserkraftwerken oder geothermischen Kraftwerken.[1182] Die Nutzung erneuerbarer Primärenergien ist derzeit teurer als die fossiler, die erzielbaren Wirkungsgrade sind oft geringer und die zeit-

[1181] Die Beurteilung vernünftiger Nachhaltigkeit erfolgt hier aufgrund der Regenerationsfähigkeit von Biomasse nach den Kriterien der schwachen Nachhaltigkeit.

[1182] Vgl. zu erneuerbaren Energien und ihrer Kraftwerkstechnik übergreifend KALTSCHMITT et al. 2013

punktbezogene Verfügbarkeit hängt meist unkontrollierbar von äußeren Bedingungen ab.[1183] Im Gegensatz zu den im vorherigen Absatz vorgestellten Energieträgern werden durch Wandlung und Nutzung erneuerbarer Energien jedoch keine Schadstoffe freigesetzt oder Abfälle produziert.[1184] Die Bewertung der Nachhaltigkeit technischer Nutzung erneuerbarer Energien fällt demnach positiv aus. Aus Kapitalstockperspektive ergibt sich aus der Beschränkung auf die Nutzung des regenerativen Potenzials eine Erhaltung des ökologischen Kapitalstocks.[1185] In sozialer Dimension ist jedoch die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, z. B. durch Windkraftanlagen, als negativ zu bemerken. Geht man davon aus, dass die im Rahmen der Energienutzung erfolgende, partiell-kapitalstockübergreifende Substitution diese eher geringen negativen Wirkungen kompensiert, so ist insgesamt von **starker Nachhaltigkeit** bei einer Erhaltung **(S0)** bzw. bei Überkompensation sogar von einer Erweiterung (S+) des Gesamtkapitalstocks auszugehen. Mit Blick auf die Auswirkungsperspektive des ökologischen Fußabdrucks sind praktisch **keine negativen Effekte** zu identifizieren, sodass auch hier eine Bewertung als nachhaltig erfolgen kann. Zusammenfassend bleibt demnach festzuhalten, dass regenerative Energien zur übergreifenden Energieversorgung wie auch zum Betrieb von Automobilität *Backstop*-Charakter aufweisen und demnach technologisch zur forcieren sind.[1186]

Transformation von Energiesektor und Verteilungsnetz

Ausgehend von der Nachhaltigkeitsbewertung der Alternativen zur Energieversorgung, die in Tab. 3-1 als Übersicht dargestellt wird, erfordert die Zielsetzung einer konsistenten Energieversorgung des automobilen Antriebs die ausschließliche Nutzung der aus Kapitalstock- und Auswirkungsperspektive als nachhaltig identifizierten erneuerbaren Energien.
Die Erschließung erneuerbarer Energien zum Betrieb von Automobilen setzt allerdings voraus, dass die erforderliche Energiemenge bedarfsgerecht zur Verfügung steht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass erneuerbare Energien, v. a. Sonneneinstrahlung und Windkraft, zeitlich und räumlich einer starken **Angebotsvariation** unterliegen.[1187] Zudem ist die direkt auf Fahrzeuge einwirkende Leistung erneuerbarer Energien selbst unter günstigen Bedingungen zur Versorgung des Antriebs unzureichend.[1188] Aus diesen Zusammenhängen folgt, dass zur Nutzung erneuerbarer Energien für den automobilen Antrieb deren räumlich und zeitlich entkoppelte Wandlung erforderlich ist.

[1183] Vgl. EICHELSEDER/KLELL 2008, Seite 8
[1184] Diese Argumentation klammert wie bisher die Erstellung der Kraftwerke aus.
[1185] An dieser Stelle ist anzumerken, dass die durch Kraftwerke verursachte Reduktion natürlicher Flächen hier deutlich geringer ausfällt als bei Anbau von Biomasse.
[1186] Vgl. zu *Backstop*-Technologien Abschnitt 2.1.2
[1187] Vgl. KALTSCHMITT/REIMERS 2013, Seite 806 ff.
[1188] Diese Argumentation verdeutlicht, dass die von Fahrzeugherstellern angebotenen Energiewandler direkt am Fahrzeug, wie z. B. Photovoltaikdächer, für (elektrische) Antriebe eine untergeordnete Rolle spielen.

Nachhaltigkeitskonzept / Nutzungsverhalten	Kapitalstock			Auswirkung
	schwach nachhaltig	vernünftig nachhaltig	stark nachhaltig	nachhaltig aus Sicht des ökologischen Fußabrucks
Nutzung/Verbrennung fossiler Energieträger	nein	nein	nein	nein
Nutzung von Kernenergieträgern	nein	nein	nein	nein
Nutzung/Verbrennung von Biomasse	bedingt	bedingt	nein	ja
Nutzung regenerativer Energien	ja	ja	ja	ja

Tab. 3-1: Nachhaltigkeitsbewertung der Nutzung von Energieträgern und Energien[1189]

Grundvoraussetzung nachhaltiger Energieversorgung (von Automobilen) ist demnach eine umfassende **Transformation des Energiesektors**, der bisher weltweit zu ca. 80 % von fossilen Energieträgen dominiert wird und auf die ausschließliche Nutzung erneuerbarer Energien ausgerichtet werden muss.[1190] Die somit angestrebte *Dekarbonisierung der globalen Energieversorgung*[1191] macht augenfällig, dass in der Vergangenheit Generationen von Naturwissenschaftlern und Ingenieuren ihre Anstrengungen auf die Entwicklung degenerativer Energieversorgung konzentrierten, während regenerative Energieformen kaum beachtet wurden.[1192] In der Konsequenz führen Pfadabhängigkeiten, Langfristigkeit und Externalität von Destabilisierungseffekten, die vorübergehende Verfügbarkeit fossiler Energieträger, kurzfristiges Optimierungsdenken und globale Kooperationsblockaden zu starken Beharrungseffekten.[1193] Das Ausmaß der erforderlichen Transformation wird daran deutlich, dass im Jahr 2012 lediglich ca. 17 % des globalen Energiebedarfs aus erneuerbaren Energien gedeckt wurden.[1194] Zur technischen Überbrückung der räumlichen Entkoppelung von Energieanfalls- und -bedarfsort eignet sich elektrische Energie in besonderem Maße, da sie verhältnismäßig effizient und flächendeckend über das Elektrizitätsnetz zur Verfügung gestellt werden kann.

Ausgehend davon, dass elektrische Energie aus erneuerbaren Energien künftig zum Betrieb von Automobilen zur Verfügung steht, ist ein **technologischer Paradigmenwechsel von konventionellem zu elektrischem Antrieb** in Automobilen vielversprechend. Um allerdings (zumindest temporär) netzunabhängige Bewegungsfähigkeit der Fahrzeuge zu ermöglichen,

[1189] Eigene Darstellung
[1190] Aus dieser Anforderung ergeben sich umfassende technologische Herausforderungen und Handlungsbedarfe, die jedoch nicht Schwerpunkt dieser Untersuchung sind und demnach nicht weiter ausgeführt werden.
[1191] Vgl. WBGU 2011, Seite 2
[1192] Vgl. LINSCHEIDT 1999, Seite 9
[1193] Vgl. WBGU 2011, Seite 6
[1194] Vgl. TRAGE 2012, Seite 20. Der Autor weist darauf hin, dass bereits ein globaler Ausbau stattfindet.

ist eine **Energiespeichertechnik** im Fahrzeug erforderlich, welche die Energie bedarfsgerecht dem Antriebssystem zur Verfügung stellt.[1195]

Neue technische Herausforderungen ergeben sich dabei auch für das **elektrische Energienetz**, das trotz der Integration unterschiedlicher Kraftwerkstypen und zahlreicher Verbraucher sowie der hohen Volatilität von Energieangebot und -nachfrage energetisch stabil betrieben werden muss. Es ist demnach unumgänglich das Elektrizitätsnetz durch weitreichende Umbaumaßnahmen unter Einsatz von Informations-, Kommunikations-, Steuerungs- und Regelungstechnik dazu zu befähigen, Schwankungen in Energieangebot und -nachfrage weitgehend autonom auszugleichen und so für eine energetische Glättung zu sorgen (*intelligentes Stromnetz* bzw. *smart grid)*.[1196]

Fahrzeuge mit elektrischen Energiespeichern bieten in diesem Kontext **intersektorales Synergiepotenzial**, da sie innerhalb des Elektrizitätsnetzes nicht nur als Verbraucher, sondern auch als Energieanbieter auftreten können. Die Erschließung dieses Potenzials erfordert allerdings neben der energetischen auch eine kommunikations- und regelungsseitige Integration der Automobile in das intelligente Stromnetz, um die energetische Pufferfunktion als Regelleistung einbinden zu können. Strategien zum Laden elektrischer Energiespeicher in Fahrzeugen erstrecken sich dabei von ungesteuertem bzw. einfachem Laden über gesteuertes bzw. energiepreisabhängiges uni- und bidirektionales Laden bzw. Entladen (*Netzglättung* bzw. *vehicle to grid)* bis zu heuristischer Einbeziehung des Mobilitätsbedarfs.[1197] So könnten bspw. 1.000.000 batterieelektrische Automobile die Energie der in Deutschland installierten Photovoltaikanlagen einen Tag lang speichern und bei Bedarf ins Elektrizitätsnetz abgeben (Stand 2010),[1198] oder bereits 600.000 dieser Automobile die Regelleistung der in Deutschland installierten Pumpspeicherkraftwerke erreichen (ca. 6,6 GW in 2011).[1199] Diesem synergetischen Effekt zwischen Energieversorgungs- und Automobilitätssektor kommt technisch eine derart große Bedeutung zu, dass ein für den Fahrzeugbetreiber kostenfreies Laden der Fahrzeuge bei Energieüberangebot vorstellbar ist.[1200] Die Vernetzung zwischen batterieelektri-

---

[1195] Einzige Alternative zu einer Energiespeichertechnik im Fahrzeug ist eine permanente Verbindung zwischen Fahrzeug und Energieverteilungsnetz z. B. durch Schleifkontakte oder induktive Koppelung. Aufgrund der resultierenden, massiven Anforderungen an eine elektrische Infrastruktur ist dieses Konzept jedoch für Automobilität als nicht vielversprechend einzustufen. Dennoch muss erwähnt werden, dass es in der Bahntechnik den Standard darstellt und auch in Metropolen zum Teil für Elektrobusse eingesetzt wird.

[1196] Vgl. HASSENMÜLLER 2008, Seite 51 sowie FITZE 2011, Seite 22 f. und SCHROEDER 2011, Seite 50 f. sowie MÜLLER 2012, Seite 66 f. und AUER/HENG 2011, Seite 6. Die Rekonfiguration des Elektrizitätsnetzes zu einem *smart grid*, das eine selbstregelnde Glättung bzw. Harmonisierung der Schwankungen von Angebot und Nachfrage gewährleistet, eröffnet weitrechende technologische Herausforderungen und Handlungsbedarfe, die nicht Schwerpunkt dieser Untersuchung sind.

[1197] Vgl. STROEHLE et al. 2011, Seite 51 und BECKER 2011, Seite 155 ff. sowie HORN 2011, Seite 49

[1198] Vgl. BECKS et al. 2010, Seite 21 sowie zu batterieelektrischen Fahrzeugantrieben Absatz 3.3.3.3. Die Kalkulation geht von 30 kWh pro Batterie aus.

[1199] Vgl. BECKER 2011, Seite 154

[1200] Vgl. BECKS et al. 2010, Seite 16

schen Fahrzeugen und einem auf erneuerbaren Energien basierenden Energiesektor durch ein intelligentes Elektrizitätsnetz eröffnet somit umfassende systemische Potenziale.[1201]
Abschließend ist zu betonen, dass die Transformation des Energiesektors zu erneuerbaren Energien, der Auf- und Ausbau der Verteilungsinfrastruktur (*smart grid)* inkl. der Möglichkeit zur Netzintegration des Automobils (*vehicle to grid)* zentrale Voraussetzungen der Elektrifizierung des automobilen Antriebs bzw. ihres angestrebten Charakters als *Backstop*-Technologie im Sinne einer nachhaltigen Konsistenzstrategie sind. Im Umkehrschluss bietet Elektromobilität die Chance, den ohnehin erforderlichen Transformationsprozess des Energiesektors zu stimulieren. Eine konsequente Ausrichtung am Leitbild nachhaltiger Entwicklung fordert demnach koevolutorische technologische Transformationen in Energieerzeugung, Energieverteilung und Energienutzung, u. a. im Automobil, wobei letztere Gegenstand dieser Untersuchung ist.

3.3.3 Elektrifizierung des automobilen Antriebs

Aufbauend auf der Transformation von Energiesektor und -verteilungsnetz beschäftigt sich dieser Abschnitt mit den technologischen Aspekten des unter diesen Voraussetzungen vielversprechenden technologischen Paradigmenwechsels von konventionellem zu elektrischem Antrieb von Automobilen. Zur fundierten Analyse von technologischem Status, verbleibenden Herausforderungen und resultierender Paradigmenwechselcharakteristik ist eine vertiefte Betrachtung automobiler Antriebstechnik erforderlich. Um eine antriebsübergreifende Vergleichbarkeit sicherzustellen, wird dabei auf Logik und Methodik der Systemtheorie zurückgegriffen, die eine Zergliederung des automobilen Designs in dessen Hierarchie ermöglicht. So erfolgt nach einer kurzen methodischen Einführung in Absatz 3.3.3.1 die Zerlegung des Automobils im Allgemeinen und in Absatz 3.3.3.2 des konventionellen, verbrennungsmotorbasierten Antriebs im Speziellen. Der sich anschließende Absatz 3.3.3.3 fokussiert auf das aus Nachhaltigkeitsperspektive angestrebte Konzept elektrischen Antriebs, wobei zwischen batterie- und brennstoffzellenbasiertem Design unterschieden wird. Hybride Übergangsdesigns werden in Absatz 3.3.3.4 vorgestellt. Bei den erörterten Antriebsdesigns werden Funktionsprinzip, Modularität, Energiezuführung und -nutzung, technische Basisdaten inkl. Kraftstoffreduktions- und Nachhaltigkeitspotenzial dargestellt. Zudem wird der aktuelle Status technologischer Reife sowie die gegenwärtige Herstellkostensituation auf Modul- und Antriebsebene herausgearbeitet. Um bezogen auf die Herstellkosten eine Vergleichbarkeit sicherzustellen, dient im Folgenden das Fahrzeugsegment D der EU-Klassifikation von Personenkraftwagen als Referenz.[1202]

[1201] Vgl. AHA/RADEMACHER 2011, Seite 182 und PWC 2012, Seite 80 f.
[1202] Dieses Segment umfasst bspw. Audi A4, BMW 3er, Mercedes-Benz C-Klasse oder VW Passat.

3.3.3.1 Designhierarchie des Automobils

Nach Definition der **Systemtheorie** charakterisiert sich ein System im Allgemeinen durch seine Funktion(en), eine Systemgrenze zum Umfeld, die Zusammensetzung aus Elementen inkl. deren Eigenschaften und Beziehungen (Systemstruktur bzw. -hierarchie) sowie durch eine Dynamik dieser Parameter.[1203] Innerhalb der Hierarchie eines Systems können Subsysteme wiederum als Elemente betrachtet werden, sodass ein Systemdenken immer auch von der Betrachtungsebene abhängt. Im Umgang mit systemischer Komplexität streben Organisationen durch Einsatz eines **Komplexitätsmanagements** einen möglichst effizienten Umgang mit diesem Phänomen an, was dessen Gestaltung und Beherrschung einschließt.[1204] Überträgt man diese allgemeine Sichtweise auf das Untersuchungsfeld technischer Entwicklung wird offensichtlich, dass sowohl Technologie als auch Technik die genannten Charakteristika erkennen lassen, woraus sich der Ansatz des **Systems Engineering** ableitet.[1205] So weisen technische Artefakte überwiegend ein architektonisches Design auf, das ihren Gesamtaufbau in Teilsysteme zergliedern lässt, denen oftmals unterschiedliche Technologien zu Grunde liegen.[1206] Wesentliches Handlungsfeld des Komplexitätsmanagements ist das Variantenmanagement.[1207] Dieses umfasst u. a. die Strategie der **Modularisierung**, im Rahmen derer Systeme in relativ autonome, entkoppelte Module zerlegt werden.[1208] Diese zeichnen sich durch eine eigenständige Funktion und physische Trennbarkeit über standardisierte Schnittstellen aus.[1209] Modulare Architekturen sind demnach durch physisch und funktional relativ unabhängige Elemente (Module) gekennzeichnet, die gemeinsam eine Einheit (System) bilden.[1210] Grundprinzipien modularer Produktgestaltung sind (1) das Unabhängigkeitsprinzip, das möglichst unabhängige Module fordert, (2) das Integritätsprinzip, das ein systemisches Zusammenwirken sichert und (3) das Dekompositionsprinzip, das durch zunehmende Detaillierung eine hierarchische Struktur des Systems erzeugt.[1211] Modularer Systemaufbau vereinfacht un-

---

[1203] Vgl. HABERFELLNER et al. 2012, Seite 33 ff. sowie KEIJZER 2007, Seite 20 ff. Komplexität erwächst in diesem Zusammenhang aus der Dynamik der Systemparameter. Kompliziertheit dagegen resultiert aus der Anzahl von Elementen und Verbindungen und hat demnach eher statischen Charakter.

[1204] Vgl. SCHUH 2005, Seite 33 ff. sowie zu Methoden des Komplexitätsmanagements WILDEMANN 2012.

[1205] Vgl. zu Konzept und Methodik des Systems Engineering HABERFELLNER et al. 2012 sowie KOSSIAKOFF et al. 2011

[1206] Dieser Aspekt wird im Konzept architektonischer bzw. modularer Innovation betont. Vgl. Absatz 2.2.1.2

[1207] Das Variantenmanagement beinhaltet die Handlungsfelder der Festlegung, Begrenzung, Reduktion, Beherrschung und Verlagerung der Vielfalt in Produkten und Prozessen, wobei sowohl Brechungsstrategien (z. B. Modularisierung) als auch Bündelungsstrategien (z. B. Plattformstrategie) eingesetzt werden. Vgl. zum Variantenmanagement weiterführend BUCHHOLZ 2012, Seite 9 ff.

[1208] Vgl. BALDWIN/CLARK 2006b, Seite 175 ff. und HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 129 ff. sowie SCHMID 2010, Seite 7 ff. und SCHWEIKLE 2009, Seite 207 ff. sowie REICHHUBER 2010, Seite126 ff.

[1209] Der modularen Systemarchitektur steht die integrale gegenüber, bei der die Elemente mehrere Funktionen erfüllen und physisch untrennbar (und nicht standardisiert) miteinander verbunden sind. Vgl. GÖPFERT/STEINBRECHER 2000, Seite 21 sowie RUPPERT 2007, Seite 21 ff.

[1210] Vgl. HUANG 2000, Seite 150

[1211] Vgl. GÖPFERT 2009, Seite 59

ternehmensintern wie -extern Arbeitsteilung, Spezialisierung sowie Standardisierung und ermöglicht Tausch oder Veränderung von Modulen, u. a. durch modulare Innovation, ohne Anpassung der Gesamtarchitektur oder anderer Module.[1212] Die Umsetzung modularer Produktarchitekturen hat weitreichenden Einfluss auf Aufbau- und Ablauforganisation der industriellen Wertschöpfungskette und erzwingt verstärkt interorganisationale Koordination. Innerhalb eines Gesamtsystems unterliegen Teilsysteme und Module oftmals eigenen technologischen Zyklen, dabei variiert ihre Bedeutung für das Gesamtsystem im Entwicklungsverlauf.[1213] In dieser Dynamik spielt die, alle Ebenen durchdringende, **technische Standardisierung** eine wesentliche Rolle. Sobald sich auf Gesamtsystemebene eine funktionale Architektur als Standard durchsetzt (dominantes Design) verschiebt sich der Standardisierungsfokus auf die Teilsystemebene, wobei zuerst die Schnittstellen und anschließend die Teilsysteme selbst Ziel der Standardisierungsbemühungen werden.[1214] Die in Abb. 3-6 ausschnittsweise dargestellte **Designhierarchie des konventionell angetriebenen Automobils** verortet das untersuchte Teilsystem des Antriebs innerhalb der Hierarchie des Gesamtsystems Automobil und gibt eine Orientierung für die folgende, tiefergehende Untersuchung des Antriebs.

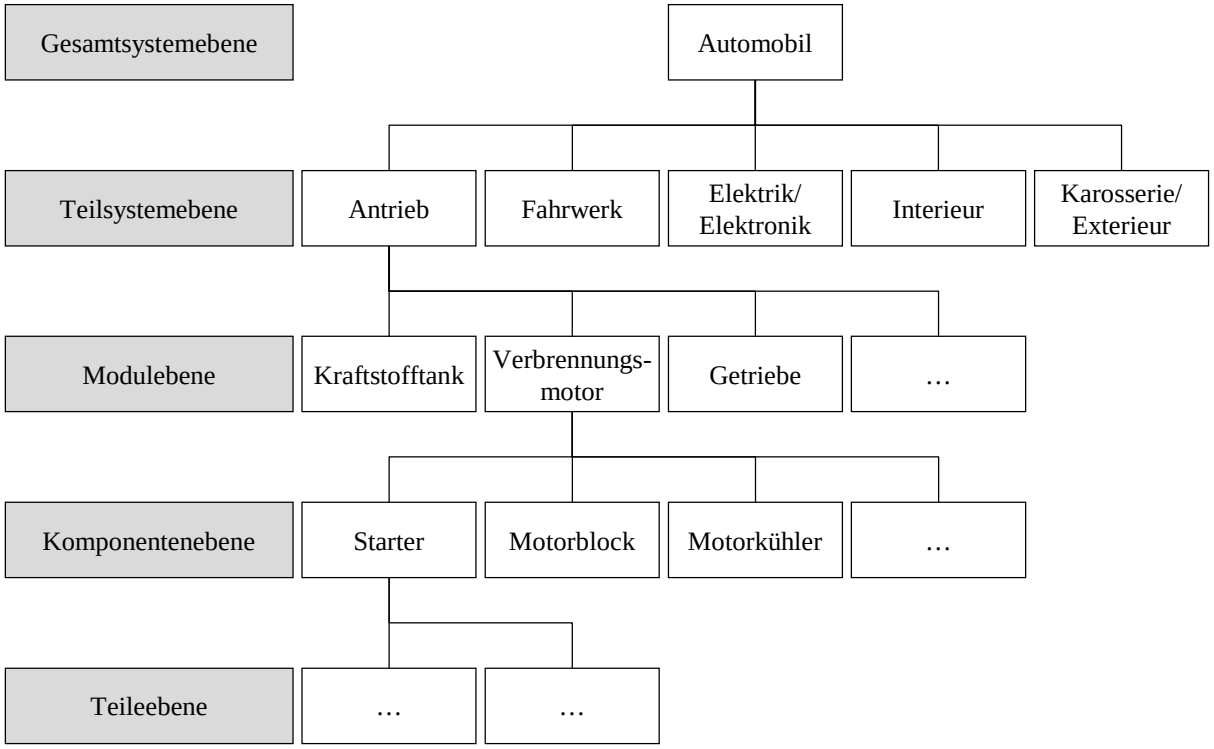


Abb. 3-6: Designhierarchie des Automobils mit konventionellem Antrieb (Ausschnitt)[1215]

[1212] Vgl. zu modularer und architektonischer Innovation Absatz 2.2.1.2.
[1213] Vgl. TUSHMAN et al. 1997, Seite 7 f., die diesen Zusammenhang anhand von Uhren verdeutlichen.
[1214] Vgl. CHRISTENSEN 1997, Seite 118 sowie ZOLLENKOP 2006, Seite 214 f.
[1215] Eigene Darstellung. Während die im Inneren des Fahrzeugs sichtbaren Elemente als *Interieur* bezeichnet werden, umfasst das *Exterieur* alle Elemente, die den Aufbau des Fahrzeugs bilden (*Karosserie*) sowie die

3.3.3.2 Konventioneller, verbrennungsmotorbasierter Antrieb

Funktion des Antriebs ist die bedarfsgerechte Erzeugung von Vortrieb. Innerhalb des **Funktionsprinzips** des konventionellen Antriebs wandelt der Verbrennungsmotor[1216] die chemische Bindungsenergie von Kohlenwasserstoffen durch Verbrennung mit Sauerstoff in Wärme und anschließend in mechanische Bewegungsenergie, die über das Getriebe auf die Straße übertragen und dadurch Vortrieb erzeugt wird. Fahrzeuge mit diesem Antriebsdesign benötigen aufgrund eingeschränkten Drehzahlspektrums und lokalen Leistungsoptimums von Verbrennungsmotoren mehrstufige Getriebe, die eine Anpassung von Drehzahl, Drehmoment und Drehrichtung ermöglichen.[1217] **Module** des konventionellen Antriebs sind demnach der Kraftstofftank (Energiespeicher), der Verbrennungsmotor (Energiewandler) sowie das Getriebe (Energiewandler). Die **Energiezufuhr** des Antriebssystems wird ausschließlich durch Betankung mit Kohlenwasserstoffen gewährleistet. Wie aus Abschnitt 3.3.2 hervorgeht, führt die Nachhaltigkeitsbewertung dieses Antriebskonzeptes sowohl im Betrieb mit fossilen als auch mit regenerativen Kohlenwasserstoffen zu einer Einstufung als **nicht nachhaltig**. Der verbrennungsmotorbasierte Antrieb ist das aktuelle technologische Paradigma automobilen Antriebs und bildet demnach die **Basis zur Gegenüberstellung alternativer Antriebsdesigns**. Bezogen auf das für diese Untersuchung als Referenz gewählte Fahrzeugsegment D der EU-Klassifikation von Personenkraftwagen ergeben sich auf Modulebene folgende technologische **Reife- und Kostenstatus**. **Kraftstofftanks** für Diesel oder Benzin bestehen aus Stahl, Aluminium oder Kunststoff und haben bereits ein sehr hohes technologisches Reifeniveau erreicht, wobei sich die Weiterentwicklung v. a. auf die Reduktion des Gewichts konzentriert.[1218] Für den direkten Antriebsvergleich wird ein üblicher Kunststofftank mit einem Volumen von 60 Litern angesetzt, dessen Herstellkosten aktuell bei 200 € liegen. Konventionelle **Diesel- und Benzinmotoren** lassen mittlerweile ein hohes Reifeniveau erkennen. Dem Antriebsvergleich liegt ein üblicher Vierzylinder-Turbodiesel zu Grunde, der in der Herstellung 3.000 € kostet. Ebenso wie der Kraftstofftank weist auch das **Getriebe** einen sehr hohen technologischen Reifegrad auf, das in einer sieben- bis achtstufigen Automatikausführung aktuell Herstellkosten von 2.000 € verursacht. Es ergibt sich somit für den konventionellen An-

---

daran befestigte Außenhaut des Fahrzeugs. Das Teilsystem *Elektrik/Elektronik* stellt insofern eine Besonderheit dar, als dass es eine weitreichende Vernetzung mit zahlreichen anderen Teilsystemen aufweist. Es stellt Energie für Verbraucher zur Verfügung und ermöglicht deren Steuerung. Zum Teilsystem des *Fahrwerks* sind alle Bestandteile zugehörig, die die Verbindung zwischen Fahrzeug und Fahrbahn herstellen bzw. beeinflussen, wie z. B. die Radaufhängung, Federung und Dämpfung.

[1216] Hubkolben-Verbrennungsmotoren in Automobilen werden nach der Art der Verbrennung unterschieden, wobei Otto- und Dieselmotoren eine dominante Stellung einnehmen. Technische Anpassungen an diesen Motoren erlauben zusätzlich den Betrieb mit Gas, sind allerdings wenig verbreitet. Alternative Arbeitsprinzipien, wie z. B. beim Stirlingmotor existieren lediglich in Nischen und haben praktisch keine Relevanz. Für eine detaillierte Zergliederung des Verbrennungsmotors vgl. RUPPERT 2007, Seite 151

[1217] Vgl. zu unterschiedlichen Getriebearten WALLENTOWITZ et al. 2009, Seite 155 ff.

[1218] Vgl. GERINGER et al. 2012, Seite 30

trieb eine **Herstellkostensumme von 5.200 €**. Dabei ist der technologische Gesamtreifegrad als hoch bis sehr hoch einzustufen. Trotz eines verbleibenden Potenzials von ca. 25 % bezogen auf Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemission bleibt festzuhalten, dass die aus dem Funktionsprinzip dieses Paradigmas resultierende Nachhaltigkeitsproblematik durch technologisch intensive Anstrengungen nicht gelöst werden kann.[1219] Eine Übersicht der technologischen Reife- und Kostensituation des konventionellen Antriebs in Gegenüberstellung mit den im Folgenden erörterten Alternativen findet sich in Teilkapitel 3.4 bzw. Tab. 3-3. Eine seit wenigen Jahren in Anwendung befindliche Möglichkeit zur Effizienzsteigerung des konventionellen Antriebs ist die **Start-Stopp-Automatik**, die durch Kombination des Verbrennungsmotors mit einer elektrischen Maschine (Startergenerator) eine automatische Abschaltung des Motors im Fahrzeugstillstand sowie sein automatisches Starten vor erneuter Anfahrt ermöglicht.[1220] Die für den Betrieb erforderliche Energie wird im Bremsvorgang durch Generatorbetrieb rückgewandelt (*rekuperiert*) und in der Batterie zwischengespeichert.[1221] Bei Systemen dieser Art wird üblicherweise eine normale Starterbatterie für Automobile (Blei-Säure-Akkumulator mit 12 V und < 1 kWh) in Kombination mit einer elektrischen Maschine (2-3 kW) eingesetzt.[1222] Die Treibstoffeinsparung durch das System liegt im Bereich von 5 bis 10 %.

3.3.3.3 Status und Perspektive des elektrischen Antriebs

Elektrischen Antrieben ist gemein, dass sie den Vortrieb durch einen oder mehrere Elektromotoren erzeugen. Sie weisen ein völlig anderes Funktionsprinzip als konventionelle Antriebe auf und erfordern ein grundlegend anderes Design. Wie bereits in Abschnitt 3.3.2 erwähnt benötigen Automobile mit elektrischem Antrieb, um sich temporär unabhängig vom Stromnetz bewegen zu können, einen Energiespeicher.[1223] Bei aktuellem technologischem Stand sind dazu einerseits Batterien und andererseits die Wandlung in Wasserstoff, der in einem Spei-

---

[1219] Vgl. zu technologisch intensiver Erschöpfung des Verbrennungsmotors Absatz 3.2.1.5.

[1220] Elektromotoren und elektrische Generatoren sind elektromechanische Energiewandler bzw. elektrische Maschinen. Während Elektromotoren elektrische Energie in mechanische (Rotations-) Energie wandeln, kehren Generatoren dieses Prinzip um. Die in elektrifizierten Antrieben für Automobile eingesetzten elektrischen Maschinen ermöglichen häufig sowohl Motor- als auch Generatorbetrieb, sodass die Begriffe Elektromotor bzw. Generator im Rahmen dieser Untersuchung verwendet werden, um das jeweils dominierende Wirkprinzip hervorzuheben. Der Begriff elektrische Maschine dagegen ist neutral.

[1221] Die verbreitete Bezeichnung der *Start-Stopp-Automatik* als *Micro-Hybrid* (Vgl. WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 54) widerspricht der hier geltenden Definition hybriden Antriebs, da sich das elektrische System auf den Abschalt- und Startvorgang des Verbrennungsmotors beschränkt und nicht zum Vortrieb beiträgt. Vgl. zur Definition hybriden Antriebs Absatz 3.3.3.4

[1222] Die Blei-Säure-Batterie ist in Automobilen bereits seit langer Zeit Standard als Starterbatterie. Ihre gravimetrische Energiedichte ist mit ca. 30 Wh/kg ungefähr 350 mal geringer als die fossiler Kraftstoffe.

[1223] Für eine Übersicht unterschiedlicher Formen der Energiespeicherung (z. B. elektrisch, chemisch, pneumatisch, mechanisch, hydraulisch und thermisch) bzw. resultierender Energiespeichersysteme (z. B. Batterie, Wasserstoff, Kondensatoren, Druckspeicher, Schwungrad) vgl. HOFMANN 2010, Seite 147

cher in Verbindung mit einer Brennstoffzelle zum Einsatz kommt, vielversprechend.[1224] Die durch Kombination dieser Energiespeicher mit Energiewandlern entstehenden elektrischen Antriebsdesigns sind auch aus Nachhaltigkeitsperspektive aussichtsreich, weil sie einen Betrieb ausschließlich auf Basis erneuerbarer Energien ermöglichen. Sie sind demnach zur antriebsbezogenen Einstellung ökologischer Konsistenz, ökonomischer Stabilität sowie sozialer Akzeptanz konzeptionell geeignet und können gesamtwirtschaftlich einen Beitrag zum Einschwenken auf einen nachhaltigen Entwicklungspfad leisten.

Die elektrischen Basisdesigns mit Batterie und Brennstoffzelle werden im Folgenden näher betrachtet, wobei von einem *Conversion-Design* ausgegangen wird, das die Architektur des Automobils (vorerst) erhält.[1225] Ein Paradigmenwechsel von konventionellem zu elektrischem Antrieb ist folglich auf Gesamtsystemebene des Fahrzeugs als modulare Innovation und auf Teilsystemebene des Antriebs als architektonische Innovation einzustufen.[1226] Zudem ist anzumerken, dass die Elektrifizierung des Antriebs über die im Folgenden betrachteten Module hinaus Auswirkungen auf Nebenaggregate und Fahrzeugsysteme außerhalb des Antriebs hat. Beispiele sind elektrischer Klimakompressor, elektrische Lenkung und Heizung.[1227]

Batterieelektrischer Antrieb

Fahrzeuge, in denen zur Speicherung der für den Antrieb benötigten Energie ausschließlich eine Batterie zum Einsatz kommt, sind Elektrofahrzeuge und werden als *batterieelektrische Fahrzeuge* bzw. ihr Vortriebssystem als *batterieelektrischer Antrieb* bezeichnet.[1228] Beim **Funktionsprinzip** dieses Antriebs wird die in der Batterie als chemische Bindungsenergie gespeicherte Energie in Form von elektrischer Energie (Gleichstrom) an eine Leistungselektronik abgegeben, die diese (ggf. unter Spannungsanpassung) in Wechsel- bzw. Drehstrom wandelt und bedarfsgerecht dem Elektromotor zur Verfügung stellt, der daraus Rotationsenergie erzeugt. Aufgrund des umfangreichen Drehzahlspektrums elektrischer Maschinen ist

---

[1224] Elektrische Energie kann auch in Kondensatoren gespeichert werden. Aufgrund ihrer geringen Energiedichte und der resultierend geringen Fahrzeugreichweite erscheinen diese allerdings als Hauptenergiespeicher von Elektrofahrzeugen als nicht vielversprechend. Da sie sich jedoch im Gegenzug durch eine hohe Leistungsdichte auszeichnen, sind sie ergänzend für Leistungsspitzen geeignet. Sie stellen somit eher eine optionale Erweiterung des Hauptenergiespeichersystems dar und werden im Folgenden nicht weiter betrachtet.

[1225] Vgl. BERNHART/ZOLLENKOP 2011, Seite 289

[1226] Vgl. Absatz 2.2.1.2

[1227] Vgl. Teilkapitel 4.2 sowie WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 141

[1228] Bei einer Batterie handelt es sich um eine Reihen- und/oder Parallelschaltung galvanischer Zellen. In diesen laufen Oxidation und Reduktion in zwei Elektroden (Kathode und Anode) getrennt voneinander ab. Die Trennung erfolgt durch Separator und Elektrolyt, die zwischen den Reaktionsräumen einen Protonenstrom ermöglichen. Die Elektronen strömen über einen externen Stromkreis und können dabei Arbeit verrichten. Batterien sind somit elektrochemische Energiespeicher, die zwischen chemischer und elektrischer Energie wandeln. Bei Sekundärbatterien (Akkumulatoren) ist der Entladevorgang im Gegensatz zu Primärbatterien reversibel, wobei der Entladeprozess durch Zuführung elektrischer Energie umgekehrt wird. Batterien lassen sich im Allgemeinen auf Komponentenebene in Zellen, Kühlsystem, Batteriemanagementsystem und Gehäuse zerlegen, wobei die Zellen aufgrund ihrer Energiespeicherfunktion eine zentrale Rolle einnehmen.

ein einstufiges Getriebe zur Anpassung von Drehzahl- und Drehmoment vor der Antriebsachse ausreichend. **Module** des batterieelektrischen Antriebs sind Batterie (Energiespeicher), Leistungselektronik (Energiewandler), Elektromotor (Energiewandler) und Getriebe (Energiewandler). Die **Zuführung von Energie** erfolgt durch elektrisches Laden der Batterie von außen.[1229] Die Dimensionierung des Speichervermögens der Batterie ist abhängig von der angestrebten elektrischen Reichweite, liegt realistischerweise jedoch oberhalb von 20 kWh. Da batterieelektrische Fahrzeuge die Energie zur Erzeugung des Vortriebs ausschließlich aus der Batterie beziehen, steht deren Energiedichte als Determinante der elektrischen Fahrzeugreichweite im Fokus, sodass bei diesem Antriebstypus energiedichteoptimierte Batterien eingesetzt werden. Die Leistung von Elektromotor und Leistungselektronik liegt typischerweise bei mehr als 40 kW, um komfortable Beschleunigung und Höchstgeschwindigkeit zu ermöglichen. Unter der Voraussetzung des ausschließlichen Einsatzes erneuerbarer Energien im Ladevorgang erfordert der Betrieb dieses Antriebskonzeptes weder systemintern noch vorgelagert eine Verbrennung von Kohlenwasserstoffen, was, wie aus Abschnitt 3.3.2 hervorgeht, zu einer Bewertung als **stark nachhaltig** führt. Aufgrund seines Nachhaltigkeitspotenzials wird der batterieelektrische Antrieb in die reife- und kostenbezogene Gegenüberstellung alternativer Basisdesigns in Tab. 3-3 einbezogen, wobei sich unter Bezug auf das Referenzfahrzeugsegment D folgende, modulbezogene **Reife- und Kostenstatus** ergeben: Hinsichtlich der **Batterie** wird für automobile Anwendungen aktuell die Lithium-Ionen-Technologie als besonders vielversprechend eingestuft.[1230] Um mit einem derartigen Energiespeicher eine Reichweite von 200 km zu ermöglichen wird eine energiedichteoptimierte Batterie mit einem Speichervermögen von 32 kWh bei 73 kW Leistung und 267 kg Gewicht eingesetzt, die in der Herstellung aktuell 15.500 € kostet.[1231] Die technologische Reife solcher Systeme ist (auch produktionsprozessbezogen) als gering einzustufen, sodass sich für Batterien dieser Art bisher kein Markt etabliert hat.[1232] Die zur Verarbeitung der elektrischen Leistung zwischen Energiespeicher und elektromechanischem Wandler erforderliche **Leistungselektronik** weist eine

[1229] Alternativen des elektrischen Ladens der Traktionsbatterie von außen ist das Batteriewechselkonzept, bei dem die entladene Batterie durch eine geladene ausgetauscht wird. Einer flächendeckende Umsetzung dieses Konzeptes werden massive Auswirkungen auf das bisherige Geschäftsmodell der Automobilhersteller bzw. die Vermarktung von Mobilität bescheinigt, da es oftmals im Zusammenhang mit Leasing an Stelle des Kaufs der Batterie diskutiert wird. Vgl. SLOWAK 2012, Seite 18 ff. sowie WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 165 f. Aufgrund der eingeschränkten Relevanz für antriebsbezogene Nachhaltigkeitsbewertung und technologischen Paradigmenwechsel wird das Konzept hier nicht tiefergehend betrachtet.

[1230] Vgl. HOFMANN 2010, Seite 164 ff.

[1231] Vgl. zu technischen Details der Dimensionierung der energiedichteoptimierten Batterie Anhang 1.

[1232] Um batterieelektrisch Reichweiten analog der Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb von über 500 km zu ermöglichen, ist eine Energiedichte erforderlich, die die theoretischen Grenzen der Lithium-Ionen-Technik überschreitet. Vgl. BASSHUYSEN 2010, Seite 118 f. Der Kundenwunsch nach derartigen Reichweiten zeigt sich allerdings eher als psychologische Hürde. Personenkraftwagen werden im Durchschnitt für vier Fahrten pro Tag genutzt, die eine durchschnittliche Fahrdistanz von 16 bis 26 km aufweisen, sodass batterieelektrische Fahrzeuge bereits heute über 95 % der kundenseitigen Mobilitätsanforderungen erfüllen könnten. Vgl. WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 60 sowie CANZLER/KNIE 2012, Seite 10

hohe technologische Reife auf, wobei von einem verbleibenden Effizienzpotenzial von etwa 30 % auszugehen ist.[1233] Dieses Modul geht mit Herstellkosten von 1.500 € in die Kalkulation ein. Auch bei **Elektromotoren** handelt es sich um ein Modul mit bereits hoher technologischer Reife, das in zahlreichen Anwendungsfeldern langjährig etabliert ist.[1234] Im Vordergrund technologischer Entwicklung steht demnach die Adaption an den automobilen Einsatz. Dabei spielen sowohl die anwendungsspezifische Auslegung mit Blick auf Bauvolumen, Gewicht, Steuerbarkeit, Drehzahlbereich, Drehmoment, Überlastbarkeit, Geräuschentwicklung, Kosten und Wartung als auch die Produktionstechnik zentrale Rollen.[1235] Aufgrund von hohem Wirkungsgrad und guter Leistungsdichte wird hier eine permanent erregte Synchronmaschine (Drehstrommotor) in radialer Ausführung zu Grunde gelegt, die bei einer Leistung von 70 kW Herstellkosten von 2.500 € verursacht. Der sehr hohe Reifegrad mehrstufiger **Getriebe** lässt sich auf einstufige Getriebe für Elektrofahrzeuge übertragen, wobei aufgrund massiv reduzierter Kompliziertheit lediglich Herstellkosten von 100 € zu berücksichtigen sind. Für den batterieelektrischen Antrieb des Referenzfahrzeugs des Fahrzeugsegments D ergeben sich **insgesamt Herstellkosten von 19.600 €**, wobei die Batterie mit 79 % den wesentlichen Anteil ausmacht und als einziges Modul einen geringen Reifegrad aufweist. Unter Bezug auf den konventionellen Antrieb ist somit festzustellen, dass in der Herstellung Mehrkosten in Höhe von 72 €/km potenziell stark nachhaltiger, elektrischer Reichweite anfallen. Der maßgeblich durch die Batterie determinierte Preis batterieelektrischer Fahrzeuge ist ausschlaggebend für die noch nicht gelungene Marktdiffusion dieses Antriebskonzeptes.[1236] Technologische Potenziale bzw. unerschlossene technologische Möglichkeiten sind demnach hauptsächlich in der Batterie vorhanden, was sie zum Schlüsselmodul des batterieelektrischen Antriebs macht.[1237] Zielparameter technologischer Entwicklung sind insbesondere Energie- und Leistungsdichte (inkl. Ladezeiten), Sicherheit, Temperaturfestigkeit sowie zyklische und kalendarische Alterung.

[1233] Vgl. LÜERS 2012, Seite 56 f.
[1234] Vgl. SCHLICK et al. 2011, Seite 27
[1235] Eine Übersicht elektrischer Maschinen vgl. WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 71 ff.
[1236] Weiterer wesentlicher Parameter ist die Sicherheit von Elektrofahrzeugen, die ebenfalls stark von der Batterie abhängig ist. Wird die Batterie beschädigt, droht eine unkontrollierte Abgabe der gespeicherten Energie, wodurch hohe elektrische wie thermische Energie freigesetzt werden kann. Bei Lithium-Ionen-Batterien gewinnt dieser Aspekt dadurch weiter an Bedeutung, dass metallisches Lithium mit Wasser stark exotherm reagiert. Diese Zusammenhänge sind nicht nur für die Fahrzeuginsassen, sondern auch für Rettungskräfte maßgeblich, da sowohl das Löschen mit Wasser als auch das Berühren des Fahrzeugs gefährlich sein kann.
[1237] Vgl. BASSHUYSEN 2010, Seite 117 sowie Seite 124 ff. und VDA 2011, Seite 54

Brennstoffzellenelektrischer Antrieb

Eine technologische Alternative ist der *brennstoffzellenelektrische Antrieb,*[1238] bei dem, im Vergleich zum batterieelektrischen Vortriebssystem, die Batterie durch einen Verbund aus Wasserstoffspeicher und Brennstoffzelle ersetzt wird.[1239] Fahrzeuge mit derartigem Antrieb sind ebenfalls Elektrofahrzeuge und werden als *brennstoffzellenelektrische Fahrzeuge* bezeichnet. Das **Funktionsprinzip** dieses Antriebsdesigns erfordert das Mitführen des Energieträgers Wasserstoff in einem Speicher.[1240] Aufgrund der geringen volumetrischen Energiedichte von Wasserstoff muss dieser stark verdichtet bzw. abgekühlt und verflüssigt werden, erreicht dann jedoch eine deutlich höhere Energiedichte als Batterien.[1241] In der Brennstoffzelle wird der Wasserstoff zusammen mit Sauerstoff aus der Umgebungsluft chemisch in Wasser umgesetzt, wobei elektrische Energie (Gleichstrom) nutzbar wird.[1242] Zum Start des Brennstoffzellensystems und zur Kompensation seiner Reaktionsträgheit benötigt dieses Antriebssystem eine Batterie, bei der an Stelle der Energiedichte die Leistungsdichte im Vordergrund steht.[1243] Analog dem batterieelektrischen Antrieb wird die elektrische Energie einer Leistungselektronik zur Versorgung des Elektromotors angepasst, der daraus Rotationsenergie erzeugt. Die Übertragung auf die Antriebsachse erfolgt nach einer Drehzahl- bzw. Drehmomentanpassung durch ein einstufiges Getriebe. **Module** des brennstoffzellenelektrischen Antriebs sind folglich Wasserstoffspeicher (Energiespeicher), Brennstoffzellensystem (Ener-

---

[1238] Die Brennstoffzelle wurde bereits 1839 von William Robert Grove erfunden und als *galvanische Gasbatterie* bezeichnet. Vgl. GRUDEN 2008, Seite 374

[1239] In einer Brennstoffzelle wird Wasserstoff (H_2) mit Sauerstoff (O_2) aus der Umgebungsluft zu Wasser (H_2O) oxidiert. Dabei werden Protonen- und Elektronenstrom zwischen den Elektroden analog einer Batterie durch Separator und Elektrolyt getrennt, sodass der Elektronenstrom über einen Stromkreis verläuft und dabei Arbeit verrichten kann. Brennstoffzellen sind demnach elektrochemische Energiewandler, die chemische Bindungsenergie direkt in elektrische Energie wandeln. Da sie nicht an den Carnot-Prozess gebunden sind und keine beweglichen Teile enthalten, ermöglichen sie hohe Wirkungsgrade bereits bei niedriger Temperatur. Vgl. EICHELSEDER/KLELL 2008, Seite 139. Zur Aufrechterhaltung geeigneter Reaktionsbedingungen im Reaktionsraum, wie z. B. Wasserstoff- und Sauerstoffzufuhr oder Temperatursteuerung, erfordern Brennstoffzellen Zusatzsysteme. Das Modul des Brennstoffzellensystems lässt sich auf Komponentenebene in die Brennstoffzellenstack (Kern der Brennstoffzelle mit Bipolarplatten, Membran und Katalysator), Brennstoffaufbereitungs- und Zuführungssystem sowie systemunterstützende Komponenten zerlegen. Da die entstehende Spannung pro Zelle gering ist, werden (analog einer Batterie) mehrere Zellen in Reihe geschalten.

[1240] Zusätzlich zum Konzept des Mitführens von Wasserstoff in einem Tank besteht die Möglichkeit diesen im Fahrzeug durch einen Reformer aus Erdgas oder Methan zu erzeugen. Diese Gase fallen in die Kategorie der Kohlenwasserstoffe und sind entweder fossile Energieträger (Erdgas und Methan) oder werden aus Biomasse erzeugt. Da ihre Nutzung, wie in Abschnitt 3.3.2 erörtert, als nicht nachhaltig einzustufen ist, wird diese Technologie im weiteren Verlauf nicht näher betrachtet.

[1241] Wasserstoff verflüssigt sich unter 1013 hPa (1 bar) bei -253 °C. Wasserstoffdruckspeicher nutzen Drücke von bis zu 91,17 MPa (900 bar).

[1242] Eine Alternative zur elektrochemischen Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff in einer Brennstoffzelle ist die Verbrennung in einer Verbrennungskraftmaschine. Da dies jedoch, im Gegensatz zu einer Brennstoffzelle, einen thermodynamischen Kreisprozess erfordert, ist der erzielbare Wirkungsgrad deutlich geringer, sodass dieses Konzept nicht tiefergehend betrachtet wird. Vgl. HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 90 sowie HOLZHAUSEN 2004, Seite 19 ff.

[1243] Vgl. GRUDEN 2008, Seite 379 f.

giewandler), Batterie (Energiespeicher), Leistungselektronik (Energiewandler), Elektromotor (Energiewandler) und Getriebe (Energiewandler). Die **Energiezufuhr** erfolgt bei brennstoffzellenelektrischen Fahrzeugen durch Betankung mit Wasserstoff von außen. Aus diesem Zusammenhang wird klar, dass die Diffusion brennstoffzellenelektrischer Antriebe neben der technologischen Reife- und Kostensituation maßgeblich von der Verbreitung einer **Wasserstoffinfrastruktur** abhängt, die bisher kaum etabliert ist. So gab es im März 2013 weltweit 208 Wasserstofftankstellen, davon 33 in Deutschland.[1244] Von den 33 in Deutschland befindlichen sind lediglich sieben öffentlich, was für eine Marktdurchdringung deutlich zu wenig ist.[1245] Die elektrische Reichweite brennstoffzellenelektrischer Fahrzeuge ist abhängig von der Menge mitgeführten Wasserstoffs bzw. der Dimensionierung des Wasserstoffspeichers, wobei aufgrund hoher Energiedichte, Reichweiten analog des verbrennungsmotorbasierten Antriebs möglich sind.[1246] Die Batterie wird leistungsoptimiert ausgelegt und ist für die Fahrzeugreichweite irrelevant. Das Speichervermögen derartiger Batterien liegt bisher bei 2-3 kWh. Die eingesetzten Elektromotoren entsprechen denen des batterieelektrischen Antriebs, typischerweise mit einer Leistung von mindestens 40 kW. Sofern die vorgelagerte Erzeugung des Wasserstoffs ausschließlich unter Einsatz erneuerbarer Energien erfolgt, ist der Betrieb brennstoffzellenelektrischer Fahrzeuge, wie aus Abschnitt 3.3.2 hervorgeht, als **stark nachhaltig** einzustufen.[1247] Auch dieses Antriebsdesign wird wegen seines Nachhaltigkeitspotenzials in die Gegenüberstellung technologischer Reife und Herstellkosten alternativer Antriebsdesigns einbezogen. Im Hinblick auf das Referenzfahrzeugsegment D ergeben sich auf Modulebene folgende **Reife- und Kostenstatus**: Der technologische Reifegrad des **Wasserstoffspeichers** ist aufgrund der Herausforderungen im Umgang mit hohem Druck, thermischer Isolation und der Verflüchtigung des Wasserstoffs als gering einzustufen. Für den in Teilkapitel 3.4 dargestellten direkten Antriebsvergleich wird ein Druckwasserstoffbehälter einbezogen, dessen Herstellkosten aktuell bei 5.000 € liegen. Auch die technologische Reife mobiler **Brennstoffzellensysteme** ist gering. Zentrale Herausforderungen sind Lebensdauer, Materialsubstitution (Platinkatalysatoren, Membranen), Reduktion von Gewicht und Kosten sowie die Produktionstechnik. In den letzten Jahren konnte das Gewicht der Brennstoffzelle

---

[1244] Vgl. TÜV SÜD 2013

[1245] Der Verband der Automobilindustrie geht davon aus, dass für eine Diffusion in Deutschland mindestens 1.000 Tankstellen erforderlich sind. Vgl. VDA 2013, Seite 139

[1246] Vgl. WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 63

[1247] Vgl. SCHEPPAT et al. 2011, Seite 86 sowie KLELL/CONA 2009, Seite 4 und MULDER et al. 1999, Seite 7 und HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 90 und HOLZHAUSEN 2004, Seite 8. Eine nachhaltige Herstellung von Wasserstoff kann mittels Elektrolyse erfolgen. Dabei handelt es sich um die Umkehrung des in einer Brennstoffzelle ablaufenden Prozesses, d. h. die Spaltung von Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff durch Zuführung elektrischer Energie. Aufgrund der dafür erforderlichen Elektrolyseanlagen und deren Wirkungsgradeffekten ist diese Art der Erzeugung von Wasserstoff bisher teurer als die elektrischer Energie. Vgl. NITSCH/FISCHBECK 2002, Seite 8. Bisher wird Wasserstoff überwiegend aus fossilen Energieträgern gewonnen. Vgl. GRUDEN 2008, Seite 244

bereits um 40 % reduziert und ihre Effizienz um 20 % gesteigert werden.[1248] Für Brennstoffzellensysteme zur Energieversorgung automobiler Antriebe hat sich bisher, ebenso wie für energiedichteoptimierten Batterien für Elektrofahrzeuge, aufgrund verbleibender technologischer Hürden kein Markt etabliert. Der Gegenüberstellung von Antriebsdesigns in Tab. 3-3 liegt wegen ihrer hohen Leistungsdichte, flexiblem Betriebsverhalten und robustem Systemaufbau eine *Proton-Exchange-Membrane-* bzw. *Proton-Electrolyte-Membrane-Brennstoffzelle* (PEMFC) zu Grunde.[1249] Diese verursacht bei aktuellem technologischen Status und einer Systemleistung von 70 kW Herstellkosten von 14.000 €. Die technologische Reife leistungsdichteoptimierter **Batterien** ist ebenso wie die energiedichteoptimierter als gering einzustufen, wobei sich die technologischen Herausforderungen weitgehend entsprechen. Die für das brennstoffzellenelektrische Referenzfahrzeug vorgesehene Lithium-Ionen-Batterie erreicht ein Leistungsniveau von 70 kW bei einem Energiespeichervermögen von 2 kWh, einem Gewicht von 24 kg und Herstellkosten von 1.000 €.[1250] Die weiteren Module, d. h. **Leistungselektronik** (hohe technologische Reife, Herstellkosten von 1.500 €), **Elektromotor** (hohe technologische Reife, Herstellkosten von 2.500 €) und das **einstufige Getriebe** (sehr hohe technologische Reife, Herstellkosten von 100 €), entsprechen denen des batterieelektrischen Antriebs. Zusammenfassend ergeben sich für den brennstoffzellenelektrischen Antrieb **Herstellkosten von 24.100 €**, die zu 58 % durch das Brennstoffzellensystem und zu 21 % durch den Wasserstoffspeicher determiniert sind. Im Vergleich mit dem batterieelektrischen Antrieb wird ersichtlich, dass die signifikant reduzierten Herstellkosten der Batterie durch Brennstoffzelle und Wasserstoffspeicher überkompensiert werden. Insbesondere die Herstellkosten der technologisch unreifen Brennstoffzelle sind in Kombination mit der fehlenden Wasserstoffherstellung und -infrastruktur die zentralen Ursachen noch nicht gelungener Marktdiffusion dieses Antriebskonzeptes. Neben der Etablierung einer Wasserstoffinfrastruktur bildet fahrzeugbezogen das Brennstoffzellensystem das Schlüsselmodul zur Weiterentwicklung dieses Antriebsdesigns, wobei Materialien, Zyklenfestigkeit, Gewicht und Kosten im Fokus stehen.

Gegenüberstellung von batterie- und brennstoffzellenelektrischem Antrieb

Die vergleichende Gegenüberstellung von batterie- und brennstoffzellenelektrischem Antrieb verdeutlicht, dass beide Antriebsdesigns erneuerbare Energien für Automobilität nutzbar machen können und der Fahrzeugbetrieb bei ausschließlichem Einsatz dieser Energieformen als stark nachhaltig zu bewerten ist. Darüber hinaus erschließen beide Konzepte höhere Wir-

[1248] Vgl. VDA 2013, Seite 139

[1249] Vgl. zu weiteren Typen von Brennstoffzellen und deren Eigenschaften E-MOBIL BW 2012, Seite 35 ff. sowie VAN DEN BERGH et al. 2007, Seite 103 ff. und WERHAHN 2009, Seite 18 sowie SEISENBERGER et al. 2012, Seite 74

[1250] Vgl. zu technischen Details der Dimensionierung der leistungsdichteoptimierten Batterie Anhang 2.

kungsgrade als der thermodynamisch eingeschränkte konventionelle Antrieb.[1251] Der Einsatz von Elektromotoren ermöglicht zudem gute Fahrleistungen. Die eine Marktdiffusion verhindernden Herausforderungen resultieren letztlich aus der geringen technologischen Reife von Batterie und Brennstoffzelle, die sich anhand hoher Herstellkosten, verbleibender Sicherheitsherausforderungen, eingeschränktem Betriebstemperaturbereich sowie geringer Lebensdauer äußern. So liegt bspw. die Lebensdauer von Lithium-Ionen-Batterien bisher bei 1.000 bis 2.000 Zyklen bzw. 5 bis 9 Jahren, die von Brennstoffzellen bei 2.000 bis 3.000 Betriebsstunden bzw. 4 bis 6 Jahren.[1252] Den zentralen Nachteilen des batterieelektrischen Antriebs in Form geringer Fahrzeugreichweiten und langer Ladezeiten stehen auf Seiten des brennstoffzellenelektrischen Antriebs die Vorteile hoher Reichweiten und kurzer Tankzeiten bei hoher Verfügbarkeit und Unbedenklichkeit des Betriebsstoffes Wasser gegenüber. Die Erschließung dieser Vorteile geht allerdings im Gegenzug mit größerer Kompliziertheit und höheren Kosten des Systems, der Erfordernis einer Wasserstofferzeugung und -infrastruktur sowie einer Druck- und Isolationstechnik in Fahrzeug und Infrastruktur und der Problematik der Flüchtigkeit des Wasserstoffs einher.[1253] Tab. 3-2 fasst die erörterten Aspekte zusammen.

	Batterieelektrischer Antrieb	Brennstoffzellenelektrischer Antrieb
Vorteile	+ stark nachhaltige Energieversorgung möglich + gute Fahrleistung durch Elektromotor + höherer Wirkungsgrad als brennstoffzellenelektrischer Antrieb	+ stark nachhaltige Energieversorgung möglich + gute Fahrleistung durch Elektromotor + höherer Wirkungsgrad als konventioneller Antrieb + hohe Reichweite aufgrund hoher Energiedichte flüssigen oder komprimierten Wasserstoffs + kurze Tankzeit
Nachteile	– höherer Preis als konventioneller Antrieb – verbleibende Sicherheitsherausforderungen – geringe Lebensdauer der Batterie – eingeschränkter Betriebstemperaturbereich – geringe Reichweite wegen geringer Energiedichte der Batterie – lange Ladezeit aufgrund geringer Leistungsdichte der Batterie	– höherer Preis als batterieelektrischer Antrieb – verbleibende Sicherheitsherausforderungen – geringe Lebensdauer der Brennstoffzelle – eingeschränkter Betriebstemperaturbereich – Wasserstofferzeugung und -infrastruktur erforderlich – Aufwändige Druck- und Isolationstechnik des Wasserstoffspeichers – Flüchtigkeit des Wasserstoffs

Tab. 3-2: Vor- und Nachteile batterie- und brennstoffzellenelektrischen Antriebs[1254]

[1251] So erreichen brennstoffzellenelektrische Fahrzeuge, deren Wirkungsgrad gegenüber batterieelektrischen aufgrund zusätzlicher energetischer Zwischenwandlung reduziert ist, Wirkungsgrade von ca. 36 %, während Dieselfahrzeuge bei etwa 22 % liegen. Vgl. EICHELSEDER/KLELL 2008, Seite 141. Grundlage ist der European Driving Cycle (EDC).

[1252] Vgl. WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 64

[1253] Die Herausforderungen im Umgang mit Druck und niedrigen Temperaturen erschweren besonders den Tankvorgang, der, um Explosionsgefahr zu vermeiden, technisch aufwändig gestaltet werden muss.

[1254] Eigene Darstellung

Zusammenfassend stehen mit Batterie und Brennstoffzelle zwei technologisch unreife Basisdesigns der Energiespeicherung bzw. -versorgung mit teilweise komplementären Vor- und Nachteilen zur Verfügung. Aufgrund der in der Praxis sehr attraktiven Vorzüge kurzer Tankzeiten und hoher Fahrzeugreichweiten wird der Kombination aus nachhaltig erzeugtem Wasserstoff und der Brennstoffzelle großes Potenzial in der (Verkehrs-) Technik zugeschrieben.[1255] Es besteht allerdings auch die Möglichkeit, dass sich diese Vorzüge der Brennstoffzellentechnik durch (sich bisher nicht abzeichnenden) technologischen Fortschritt im Bereich der Energie- und Leistungsdichte der Batterie reduzieren oder gar verschwinden.[1256] Wegen fehlender technologischer Reife und Infrastruktur sowie sozio-ökonomischen Beharrungskräften und fehlenden Standards ist allerdings eine kurzfristige **Durchsetzung elektrischer Antriebe** gegen das etablierte technologische Paradigma nicht absehbar. Elektrofahrzeuge können den hohen Kundenanforderungen an individuelle Mobilität und Komfort, die durch das verbrennungsmotorbasierte Design geprägt wurden, bisher nicht gerecht werden. Es ist demnach davon auszugehen, dass elektrisch angetriebene Automobile in den nächsten Jahren, trotz konzeptioneller Superiorität hinsichtlich nachhaltiger Konsistenz, vorerst ein Nischenprodukt bleiben.[1257] Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Voraussetzungen für nachhaltige Automobilität auch in Energieerzeugung und -verteilung bisher nicht geschaffen sind, ergibt sich ein **systemischer Entwicklungsbedarf**. Dieser erreicht auf Ebene der Einzelsysteme bereits das Niveau der *Transformation technologischer Systeme*, wobei der Systemverbund als Teil eines aufkommenden *techno-ökonomischen Paradigmas* nachhaltiger Konsistenz interpretiert werden kann.[1258] Vor dem Hintergrund sich unvermeidlich ausweitender, nachhaltigkeitsinduzierter Destabilisierung degenerativer Technik inkl. des konventionellen Antriebsparadigmas, ist es von zentraler Bedeutung, die Transformation von Energiesektor und Elektrizitätsnetz zu vollziehen. Simultan dazu müssen der Aufbau und die Weiterentwicklung der Infrastruktur vorangetrieben und die technologische Exploration elektrischer Antriebe forciert werden. Technologische Schwerpunkte innerhalb des elektrischen Antriebs müssen dabei Batterie und Brennstoffzelle sein. Im Rahmen dieses branchenübergreifenden und langfristigen Veränderungsprozesses des Einschwenkens auf einen Pfad nachhaltiger Entwicklung zeichnet sich neben der Weiterentwicklung elektrischer Antriebe ein gradueller Rekonfigurationspfad automobiler Antriebstechnik ab, der Untersuchungsobjekt des folgenden Absatzes ist.

[1255] Vgl. EICHELSEDER/KLELL 2008, Seite 1

[1256] Vgl. BASSHUYSEN 2010, Seite 118. Der Autor betont dabei die Wirkungsgradnachteile des Brennstoffzellensystems aufgrund des erforderlichen Zwischenschritts über die Elektrolyse bzw. den Wasserstoff.

[1257] Zum Effekt des Dominierens inferiorer Technologien bzw. Paradigmen gegenüber bekannten und konzeptionell überlegenen Alternativen aufgrund von pfadabhängigem *lock-in* vgl. Absatz 2.2.3.3 sowie DOSI/LABINI 2007, Seite 338

[1258] Vgl. zu *technologischen Systemen* und *techno-ökonomischen Paradigmen* Absatz 2.2.1.2

3.3.3.4 Hybrider Antrieb als Grundlage gradueller Rekonfiguration

Aus der Sicht potenzieller privater und gewerblicher Nutzer überwiegen die Nachteile elektrischer Antriebe derzeit die Vorteile, obwohl die konzeptionellen Vorzüge der Technologie bereits von beiden Gruppen wahrgenommen und akzeptiert sind.[1259] Da folglich eine kurzfristige Substitution des konventionellen durch den elektrischen Antrieb techno-ökonomisch unrealistisch erscheint, ist von einer **graduellen Rekonfiguration automobiler Antriebstechnik** auszugehen, die eine Aufrechterhaltung von Funktionsvielfalt und Komfort analog der Kraftfahrzeuge mit konventionellem Antrieb ermöglicht. Zielsetzung dieser Transformation ist der Wechsel der Paradigma-Trajektorie-Kombination ohne (temporäre) Einbußen im Nutzen-Kosten-Verhältnis. Im Rahmen dieser **Hybridisierungsphase automobilen Antriebs** wird das dominante technologische Paradigma des Hubkolben-Verbrennungsmotors durch elektrische Antriebssysteme ergänzt.[1260] Die Einstufung eines Antriebs als *hybrid* steht für *kombiniert* und erfordert demnach die Kombination von mindestens zwei Antriebssystemen mit, in Bezug auf ihr Funktionsprinzip, unterschiedlichen Energiewandlern zur Erzeugung von Vortrieb.[1261] Als Energiespeicher dienen Diesel-, Benzin-, Gastanks oder Batterien, zur Erzeugung des Vortriebs Diesel-, Benzin- oder Elektromotoren.[1262] Die Hybridisierung ermöglicht einerseits die Aufrechterhaltung der gewohnten Produkteigenschaften und reduziert andererseits den Verbrauch von Kohlenwasserstoffen sowie den Schadstoffausstoß. Ziel der Kombination der Antriebe ist es somit, die prinzipbedingten Schwächen der Einzelsysteme zu kompensieren.[1263] Im Gegenzug muss allerdings eine deutliche Steigerung der Kompliziertheit des Antriebs sowie eine Ausweitung der zu seiner Erstellung erforderlichen Kompetenzen in Kauf genommen werden, die sich sowohl auf die unterschiedlichen Basisdesigns als auch auf deren Kombinatorik (architektonische Ebene des Antriebssystems) beziehen. Konsequenz dessen wird auch eine Zunahme der Vielfalt in Produkt und Prozess sein. Im Verlauf der hybriden Übergangsphase vollziehen sich demnach die Exploitation des etablierten Paradigmas und die Exploration elektrischer Basisdesigns simultan. Dabei werden Bedeutung und Anteil des elektrischen Antriebstranges, wie in Abb. 3-7 veranschaulicht, zunehmen, bis der verbren-

---

[1259] Vgl. PETERS/HOFFMANN 2011, Seite 52 f.

[1260] Bereits auf der Weltausstellung 1900 wurde ein Fahrzeug präsentiert, das über einen hybriden Antrieb mit Benzin- und Elektromotor verfügte (*Lohner-Porsche)*. Vgl. WALLENTOWITZ et al. 2009, Seite 164

[1261] Diese Definition weicht bewusst von der ebenfalls verbreiteten Ansicht ab, dass ein hybrider Antrieb zwei Energiespeicher aufweisen muss. Dass dies nicht der Fall ist, wird bspw. daran klar, dass Schiffe, die verbrennungsmotorbasierten Antrieb (mit Dieseltank) und Segel (zur Nutzung von Wind) kombinieren trotz ihres offensichtlich hybriden Antriebs keine zwei Energiespeicher benötigten. Darüber hinaus betont die hier geltende Definition, dass die Energiewandler unterschiedliche Funktionsprinzipien aufweisen müssen, da sonst auch Elektrofahrzeuge mit jeweils einem Elektromotor pro Achse als hybrid gelten müssten.

[1262] Von einer Hybridisierung unter Einbezug des brennstoffzellenelektrischen Antriebs ist bisher aufgrund fehlender Wasserstoffversorgung und -infrastruktur sowie der bereits solitär hohen Komplexität dieses Antriebsdesigns nicht auszugehen.

[1263] Vgl. BLESL et al. 2009, Seite 9

nungsmotorbasierte letztlich entfallen kann und der elektrische Antrieb zum neuen technologischen Paradigma wird.

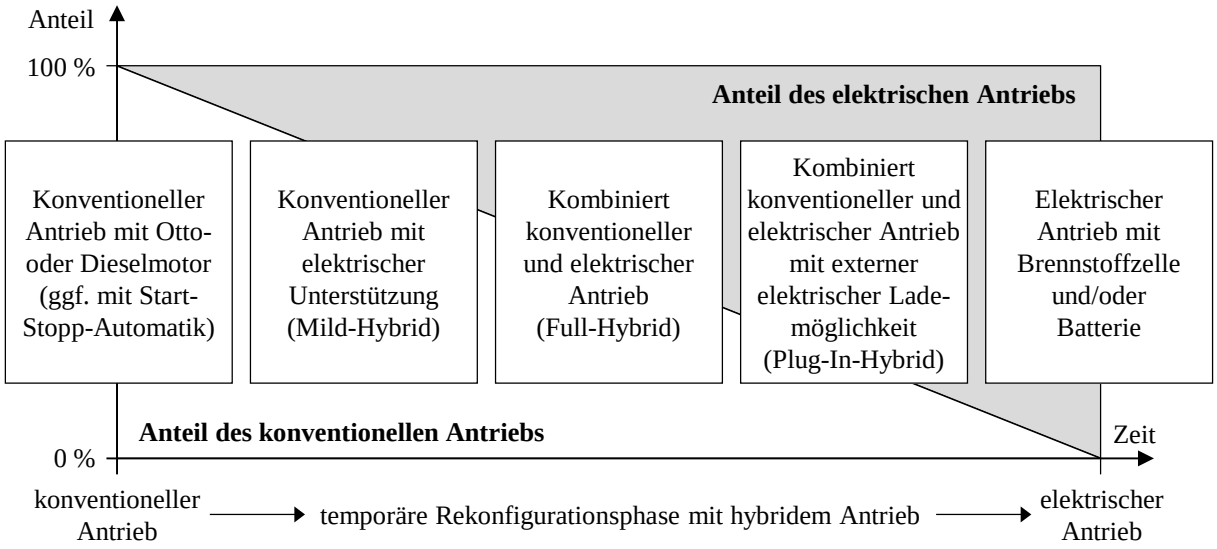


Abb. 3-7: Elektrifizierung des automobilen Antriebs als graduelle Rekonfiguration[1264]

Die graduelle Rekonfigurationsphase bildet eine Art **technologisch hybride Brücke**,[1265] die eine Plattform sowohl für technologisches Lernen als auch für die Transformation von Wertschöpfungsnetzen bietet. Dem technologischen Regime des konventionellen Antriebs bietet sie zudem die Möglichkeit weitgehender Aufrechterhaltung der Markteintrittsbarrieren und damit einen Schutzmechanismus vor Herausforderern. Aufbauend auf diesem Grundverständnis gradueller Rekonfiguration werden im Folgenden wesentliche hybride Antriebsdesigns vorgestellt und hinsichtlich ihres Nachhaltigkeitspotenzials bewertet. Es sei angemerkt, dass zwischen den erörterten Konzepten zahlreiche Mischformen existieren, die unterschiedliche Optimierungsziele verfolgen, jedoch im Rahmen dieser Untersuchung nicht vorgestellt werden.[1266] Aufgrund der Zusammensetzung der hybriden Antriebe aus den oftmals in Dimensionierung und Auslegung angepassten Modulen des konventionellen und elektrischen Antriebs stehen die Ausführungen untereinander in engem Bezug.

Mild-Hybrid

Das Konzept des **Mild-Hybrid** ist eine erste Stufe der Hybridisierung des automobilen Antriebs. Innerhalb dieses **Funktionsprinzips** wird der konventionelle Antrieb durch einen im

[1264] Eigene Darstellung
[1265] Vgl. zur Veranschaulichung des Übergangs zwischen den Trajektorien Abb. 3-8
[1266] Vgl. tiefergehend zu Konfigurationen hybrider Antriebe für Automobile HOFMANN 2010, Seite 17 ff. und WALLENTOWITZ et al. 2009, Seite 154 ff.

Verhältnis gering dimensionierten elektrischen Antrieb unterstützt und im Stand automatisch abgeschaltet (*Start-Stopp-Automatik*).[1267] Die elektrische Maschine liefert sowohl ergänzende Antriebs- als auch Bremsleistung (*Boost* und *Rekuperation*).[1268] Das Antriebsdesign kombiniert die **Module** des konventionellen Antriebs, d. h. Kraftstofftank (Energiespeicherfunktion), Verbrennungsmotor (Energiewandler) und mehrstufiges Getriebe (Energiewandler) mit denen des batterieelektrischen Antriebs, d. h. Traktionsbatterie (Energiespeicherfunktion), Leistungselektronik (Energiewandler) und elektrische Maschine (Energiewandler). Das im batterieelektrischen Design erforderliche einstufige Getriebe kann hier entfallen, da die elektrische Antriebsleistung ebenfalls über das mehrstufige Getriebe eingekoppelt wird. Die **Energiezufuhr** zum Betrieb des Verbrennungsmotors erfolgt durch Betankung mit Kohlenwasserstoffen. Die Traktionsbatterie wird durch Rückgewinnung von Bremsenergie (*Rekuperation*) oder durch Wandlung überschüssiger Rotationsenergie aus dem Betrieb des Verbrennungsmotors geladen, wobei die elektrische Maschine jeweils als Generator fungiert. Die gewonnene elektrische Energie wird zur Versorgung des Elektromotors eingesetzt, der den Verbrennungsmotor unterstützt. Ein rein elektrischer Betrieb unter Abschaltung des Verbrennungsmotors ist nicht möglich. Der konventionelle Antrieb bleibt somit nahezu unverändert erhalten, er wird lediglich elektrisch ergänzt. Das Speichervermögen eingesetzter Traktionsbatterien liegt typischerweise unter 3 kWh, wobei sie aufgrund ihrer auf Lastspitzen bezogenen Funktion leistungsdichteorientiert ausgelegt werden. Elektrische Maschine und Leistungselektronik werden auf ein Leistungsniveau von bis zu 15 kW dimensioniert.[1269] Ein Mild-Hybrid ermöglicht, im Vergleich zu einem konventionellen Antrieb, eine **Reduktion des Kraftstoffverbrauchs um 10 % bis 20 %**.[1270] Da die für den Fahrzeugvortrieb aufgebrachte Energie direkt oder indirekt (d. h. über elektrische Zwischenwandlung) aus der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen gewonnen wird, führt die Nachhaltigkeitsbewertung dieses Designs, trotz erzielbarer Kraftstoffeinsparung, zu einer Einstufung als **nicht nachhaltig**.[1271] Der Mild-Hybrid wird folglich nicht in den tiefergehenden Reife- und Kostenvergleich alternativer Antriebsdesigns einbezogen. Aufgrund der Kombinatorik aus Modulen des konventionellen und elektrischen Antriebs ist die **technologische Reife** der Module entsprechend den Ausführungen in den Absätzen 3.3.3.2 und 3.3.3.3. Kostenseitig ergeben sich durch die elektrischen Er-

---

[1267] Vgl. zur *Start-Stopp-Automatik* Absatz 3.3.3.2

[1268] Wenn der Elektromotor den Verbrennungsmotor durch ein positives Antriebsdrehmoment unterstützt, wird dies *Boosten* genannt. Vgl. REIF 2010, Seite 12. Der entgegengesetzte Fall, in dem die elektrische Maschine im Generatorbetrieb ein negatives Antriebsmoment erzeugt und dadurch mechanische in elektrische Energie wandelt, wird als *Rekuperation* bezeichnet. Die rekuperierte Energie wird bei konventionellem Antrieb in Wärme umgesetzt und bleibt entsprechend ungenutzt. Vgl. HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 89

[1269] Vgl. WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 54

[1270] Vgl. WALLENTOWITZ et al. 2009, Seite 167 und FOURNIER et al. 2012, Seite 410 sowie VDA 2013, Seite 135

[1271] Vgl. Abschnitt 3.3.2

gänzung des weitgehend unveränderten verbrennungsmotorbasierten Antriebs insgesamt erhöhte **Herstellkosten**, die sich jedoch wegen des geringen Leistungsniveaus des elektrischen Antriebs in Grenzen halten. Abschließend bleibt festzuhalten, dass das Konzept des Mild-Hybrid zwar einen ersten Hybridisierungsschritt darstellt, jedoch aufgrund der ausschließlichen Nutzung von Kohlenwasserstoffen und des geringen Elektrifizierungsgrades hier nicht näher untersucht wird.

Full-Hybrid

Die technische Folgestufe der Elektrifizierung ist das Konzept des **Full-Hybrid**. Sein **Funktionsprinzip** erlaubt zusätzlich zu *Start-Stopp-Automatik*, *Rekuperation* und *Boosten* rein *elektrisches Fahren* bei abgeschaltetem Verbrennungsmotor. Wegen der parallelen Koppelung des verbrennungsmotorbasierten und des elektrischen Antriebs mit der Antriebsachse können derartige Fahrzeuge durch beide Systeme gemeinsam oder auch einzeln angetrieben werden.[1272] Während sich der elektrische Antrieb eher für Kurzstrecken und geringere Geschwindigkeiten eignet, bietet sich der verbrennungsmotorbasierte Antrieb bei Langstrecken und hohen Geschwindigkeiten an. In Situationen mit hohem Leistungsbedarf, wie z. B. Überholvorgängen, werden die Antriebe kombiniert eingesetzt, wobei sich die Leistung addiert.[1273] Der Full-Hybrid kombiniert die **Module** des konventionellen Antriebs, d. h. Kraftstofftank (Energiespeicherfunktion), Verbrennungsmotor (Energiewandler) und mehrstufiges Getriebe (Energiewandler) mit denen des batterieelektrischen Antriebs, d. h. Traktionsbatterie (Energiespeicherfunktion), Leistungselektronik (Energiewandler), elektrische Maschine (Energiewandler). Analog dem Mild-Hybrid ist kein zusätzliches, einstufige Getriebe für den elektrischen Antrieb erforderlich. Die **Energieversorgung** des Gesamtsystems wird ausschließlich durch Betankung mit Kohlenwasserstoffen gewährleistet, deren Bindungsenergie durch den Verbrennungsmotor gewandelt wird. Das Laden der Traktionsbatterie erfolgt durch *Rekuperation* und durch Wandlung ungenutzter Energie aus dem Betrieb des Verbrennungsmotors. Die elektrische Energie wird zur Versorgung des Elektromotors eingesetzt, der sowohl rein elektrisches Fahren ermöglicht, als auch in Kombination mit dem Verbrennungsmotor eingesetzt werden kann.[1274] Aufgrund seiner dominierenden Rolle bleibt der verbrennungsmotorbasierte Antrieb auch beim Full-Hybrid weitgehend unverändert erhalten, ggf. wird er etwas kleiner dimensioniert. Die eingesetzten Traktionsbatterien sind eher leistungsdichteoptimiert und weisen üblicherweise ein Speichervermögen von 3 bis 5 kWh auf. Elektrische Maschine und

[1272] Vgl. BLESL et al. 2009, Seite 11

[1273] Vgl. GERL 2002, Seite 86. Die mechanische Kombinatorik der Antriebe in diesem Konzept erfordert ein oder mehrere Getriebe, Kupplungen oder Freiläufe, wodurch die Komplexität steigt und Wirkungsgradverluste auftreten. Vgl. GERL 2002, Seite 77

[1274] Unterstützt in einer Phase elektrischen Betriebs der verbrennungsmotorbasierte Antrieb den elektrischen, z. B. bei einem Überholvorgang, so kann dies als *verbrennungsmotorbasiertes Boosten* bezeichnet werden.

Leistungselektronik werden auf ein Leistungsniveau von mindestens 20 kW ausgelegt, um temporär elektrisches Fahren oder zumindest Gleiten zu ermöglichen.[1275] Im Vergleich zum konventionellen Antrieb ermöglicht der Full-Hybrid eine **Reduktion des Kraftstoffverbrauchs** um 20 % bis 45 %.[1276] Die Konzeption des Full-Hybrid bedingt jedoch, dass die für den elektrischen Antrieb aufgebrachte Energie vorher durch den Verbrennungsmotor zur Verfügung gestellt werden muss.[1277] Da er demnach (ebenso wie der Mild-Hybrid) die gesamte Traktionsenergie direkt oder indirekt aus der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen erzeugt, ist er, trotz erhöhter Kraftstoffeinsparung, als **nicht nachhaltig** einzustufen.[1278] Das Antriebsdesign ist demnach kein Bestandteil des tiefergehenden Reife- und Kostenvergleichs alternativer Antriebsdesigns. Die **technologische Reife** der Module des Full-Hybrid entspricht aufgrund der Kombinatorik aus Modulen des konventionellen und elektrischen Antriebs entsprechend den Ausführungen der Absätze 3.3.3.2 und 3.3.3.3. Aus der im Full-Hybrid (für rein elektrischen Fahrbetrieb) leistungsstärkeren Auslegung des elektrischen Antriebs resultieren, im Vergleich zum Mild-Hybrid, höhere **Herstellkosten**, die nur sehr eingeschränkt durch die Möglichkeit einer leistungsschwächeren Dimensionierung des verbrennungsmotorbasierten Antriebs kompensiert werden können. Insgesamt ist auch hier festzuhalten, dass das Konzept des Full-Hybrid, obwohl es zum Mild-Hybrid einen weiteren Elektrifizierungsschritt darstellt, aufgrund der ausschließlichen Nutzung von Kohlenwasserstoffen konzeptionell zur Lösung des Nachhaltigkeitskonflikts ungeeignet ist und hier nicht näher betrachtet wird.

In direkter Verbindung mit dem Full-Hybrid ist das Konzept des **elektrischen Antriebs mit Range-Extender** zu nennen, in dessen **Funktionsprinzip** der Verbund aus Kraftstofftank und Verbrennungsmotor in Verbindung mit einem Generator die Funktion der Erzeugung elektrischer Energie übernimmt, die zur Versorgung des elektrischen Antriebs eingesetzt wird.[1279] Es besteht keine mechanische Koppelung zwischen Verbrennungsmotor und Antriebsachse,[1280] sodass der Elektromotor den gesamten Vortrieb des Fahrzeugs erzeugt.[1281] Da die Module an Stelle der parallelen Anordnung des Full-Hybrid seriell verkettet sind, wird dieses Konzept in der Literatur teilweise als *Serial-Hybrid* bezeichnet. Definitionsgemäß handelt es sich jedoch nicht um einen hybriden Antrieb, sondern um einen elektrischen Antrieb, der durch einen Verbrennungsmotor-Generatorverbund mit Energie versorgt wird (*Range-*

[1275] Vgl. WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 55 und BLESL et al. 2009, Seite 10
[1276] Vgl. FOURNIER et al. 2012, Seite 410 sowie WALLENTOWITZ et al. 2009, Seite 167
[1277] An dieser Stelle sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass sich dieses Argument auch auf die in Verzögerungsvorgängen rekuperierte Energie bezieht.
[1278] Vgl. Abschnitt 3.3.2
[1279] *Range-Extender* sind Energiespeicher bzw. -wandlersysteme, die die Reichweite von Fahrzeugen erhöhen.
[1280] Vgl. GERL 2002, Seite 73 ff.
[1281] Vgl. HOFMANN 2010, Seite 18 ff. und WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 57

Extender).[1282] Hinsichtlich der **Module** erfordert der *elektrische Antrieb mit Range-Extender* aus dem konventionellen Antrieb Kraftstofftank (Energiespeicher) und Verbrennungsmotor (Energiewandler), die mit einem zusätzlichen Generator (Energiewandler) gekoppelt werden. An diesen Verbund schließt sich der elektrische Antrieb mit Batterie (Energiespeicher), Leistungselektronik (Energiewandler), Elektromotor (Energiewandler) und einem einstufigen Getriebe (Energiewandler) an. Modulseitig entspricht dieses Antriebsdesign folglich bis auf den zusätzlichen Generator und das einstufige Getriebe dem Full-Hybrid. Eine weitere Analogie ergibt sich bei der **Energiezufuhr**, die ausschließlich durch Betankung mit Kohlenwasserstoffen erfolgt. Auch die Funktion der Rekuperation von Bremsenergie bleibt erhalten.[1283] Aus der seriellen Anordnung ergeben sich jedoch modulbezogene technische Anpassungen in Auslegung und Dimensionierung. So kommt bei diesem Antriebsdesign ein anwendungsoptimierter Verbrennungsmotor zum Einsatz, dessen Auslegung auf einen günstigen Betriebspunkt eine höhere Effizienz ermöglicht und dadurch Kraftstoffverbrauch und Schadstoffausstoß reduziert. Diese Betriebsstrategie des Verbrennungsmotors bedingt eine Aufladung der Batterie teilweise unabhängig vom Energiebedarf des Elektromotors.[1284] Im Gegenzug ergibt sich allerdings ein negativer Effekt auf den Gesamtwirkungsgrad durch die zusätzlichen energetischen Zwischenwandlungen des Systems. Da der Elektromotor bei der Erzeugung des Vortriebs nicht durch den Verbrennungsmotor unterstützt werden kann, wird das elektrische Antriebssystem im Vergleich zum Full-Hybrid leistungsstärker ausgelegt (> 40 kW). Das Speichervermögen der leistungsdichteoptimierten Batterie liegt im Bereich von 3 bis 5 kWh. Die im Vergleich zum konventionellen Antrieb erzielbare **Reduktion des Treibstoffverbrauchs** liegt auch hier im Bereich von 20 % bis 45 %.[1285] Da auch der *elektrische Antrieb mit Range-Extender* die Energie für den Fahrzeugvortrieb ausschließlich aus der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen gewinnt, wird er als **nicht nachhaltig** eingestuft und nicht in den tiefergehenden Reife- und Kostenvergleich alternativer Antriebsdesigns einbezogen.[1286] Die **technologische Reife** der eingesetzten Module ist entsprechend den Ausführungen in den Absätzen 3.3.3.2 und 3.3.3.3. Der zusätzliche Generator weist (analog den Elektromotoren) technologisch eine hohe Reife auf. **Kostenbezogen** wird die Reduktion durch die, im Vergleich zum Full-Hybrid, günstigeren Module Verbrennungsmotor und Getriebe teilweise durch den zusätzlichen Generator kompensiert. Dieser Kompensationseffekt verstärkt sich, wenn das

[1282] Antriebe mit identischem Funktionsprinzip weisen bspw. dieselelektrische Lokomotiven oder auch der brennstoffzellenelektrische Antrieb auf.

[1283] Die bei paralleler Anordnung mögliche Umwandlung ungenutzter Rotationsenergie aus dem Betrieb des Verbrennungsmotors entfällt, da dieser bei serieller Anordnung direkt an den Generator gekoppelt ist und demnach die gesamte Bewegungsenergie dem Generator zugeführt wird.

[1284] Erzeugt der Verbrennungsmotor mehr Energie als von der Batterie aufgenommen werden kann, sinkt der Wirkungsgrad des Systems deutlich. Vgl. GERL 2002, Seite 75

[1285] Vgl. FOURNIER et al. 2012, Seite 410 sowie WALLENTOWITZ et al. 2009, Seite 167

[1286] Vgl. Abschnitt 3.3.2

elektrische System bedingt durch die serielle Anordnung leistungsstärker dimensioniert wird. Zusammenfassend ist das Konzept des *elektrischen Antriebs mit Range-Extender*, obwohl es den Fahrzeugvortrieb ausschließlich elektrisch erzeugt, als nicht nachhaltig zu bewerten. Es ist folglich hier nicht Gegenstand weiterer Untersuchung.

Plug-In-Hybrid

Einen technischen Folgeschritt der Elektrifizierung automobilen Antriebs bietet der **Plug-In-Hybrid**, dessen **Funktionsprinzip** ebenso wie der Full-Hybrid *Start-Stopp-Automatik*, *Rekuperation*, *Boosten* und die Möglichkeit *elektrischen Fahrens* einschließt. An Stelle zusätzlicher Antriebsfunktionen bezieht sich die Erweiterung auf die Möglichkeit der Aufnahme von Energie durch elektrisches Laden der Traktionsbatterie von außen (*Plug-In*). Das Antriebsdesign kombiniert, analog dem Full-Hybrid, die **Module** des konventionellen Antriebs, d. h. Kraftstofftank (Energiespeicherfunktion), Verbrennungsmotor (Energiewandler) und mehrstufiges Getriebe (Energiewandler) mit denen des batterieelektrischen Antriebs, d. h. Batterie (Energiespeicherfunktion), Leistungselektronik (Energiewandler) und elektrische Maschine (Energiewandler). Während die **Energiezuführung** für den Verbrennungsmotor durch Betankung mit Kohlenwasserstoffen erfolgt, kann die Batterie zusätzlich zur *Rekuperation* und Aufnahme überschüssiger Energie des Verbrennungsmotors auch von außen geladen werden. Die elektrische Energie ermöglicht sowohl elektrisches Fahren als auch die Unterstützung des Verbrennungsmotors.[1287] Die Batterie wird kombiniert auf Energie- und Leistungsdichte sowie mit mehr Speichervermögen ausgelegt (> 5 kWh), um sowohl ausreichend elektrische Leistung als auch eine größere elektrische Reichweite zu ermöglichen. Elektromotor und Leistungselektronik werden aufgrund des umfangreicheren elektrischen Fahrbetriebs mit > 40 kW leistungsstärker dimensioniert als im Konzept ohne Plug-In. Die durch Plug-In-Hybride, im Vergleich zum konventionellen Antrieb, erzielbare **Reduktion des Treibstoffverbrauchs** ist abhängig vom Anteil externer Batterieladung bzw. verbrennungsmotorunabhängigen elektrischen Betriebs. Liegt die Fahrleistung zwischen den externen elektrischen Ladephasen unterhalb der batterieelektrischen Reichweite, kommt der Verbrennungsmotor nicht zum Einsatz, sodass er die Funktion eines *Range-Extenders* übernimmt. Unter diesen Voraussetzungen ergibt ein Vergleich mit dem konventionellen Antrieb eine Kraftstoffeinsparung von 100 %. Während Mild- und Full-Hybrid effizienzorientiert auf eine Reduktion der benötigten Treibstoffmenge abzielen, eröffnet der Plug-In-Hybrid folglich einen Zugang zu erneuerbaren Energien und geht damit erste Schritte einer Konsistenzstrategie.[1288] Da die Energieversorgung sowohl durch Verbrennung von Kohlenwasserstoffen als auch durch ex-

[1287] Analog dem Full-Hybrid ist auch hier zusätzlich *verbrennungsmotorbasiertes Boosten* möglich.

[1288] Vgl. zu Konsistenzstrategie und *Backstop*-Technologie Abschnitt 3.3.1 sowie zur Transformation des Energiesektors Abschnitt 3.3.2.

ternes Aufladen der Batterie erfolgen kann, ist eine differenzierte Nachhaltigkeitsbewertung erforderlich. Einerseits ist die verbrennungsmotorbasierte Energieversorgung als **nicht nachhaltig** einzustufen, andererseits ergibt sich bei ausschließlicher Nutzung erneuerbarer Energien durch externes Laden eine Bewertung als **stark nachhaltig**.[1289] Aufgrund dieses Nachhaltigkeits- bzw. Konsistenzpotenzials des Plug-In-Hybrid in Verbindung mit erneuerbaren Energien wird dieses Antriebsdesign in die Gegenüberstellung alternativer Antriebe in Teilkapitel 3.4 bzw. Tab. 3-3 einbezogen. Während die **technologische Reife** der eingesetzten Module den Ausführungen in den Absätzen 3.3.3.2 und 3.3.3.3 entspricht, ergeben sich **herstellkostenbezogen,** im Vergleich mit dem Full-Hybrid ohne Plug-In-Funktionalität, einige Veränderungen, die aus dem nun variablen Verhältnis von konventionellem zu elektrischem Antrieb resultieren. Dabei ist grundsätzlich festzuhalten, dass die Mehrkosten umfangreicherer Auslegung des elektrischen Antriebs mögliche Kostenreduktionen durch Verschlankung des konventionellen Antriebs bei Weitem überkompensieren. Für den Antrieb eines Fahrzeugs des Referenzsegments D ergeben sich bei hybridem Antrieb mit Plug-In-Funktion und einer elektrischen Reichweite von 27 km antriebsbezogene **Herstellkosten von insgesamt 11.400 €**.[1290] Davon entfallen 5.200 € (46 %) auf die Module des vollwertigen konventionellen Antriebs, wobei der **Verbrennungsmotor** mit 3.000 € (26 %), das **mehrstufige Getriebe** mit 2.000 € (18 %) und der **Kraftstofftank** mit 200 € (2 %) eingehen. Der elektrische Antrieb verursacht in Summe Herstellkosten von 6.200 € (54 %), wovon sich 2.200 € (19 %) auf die **Batterie**, 1.500 € (13 %) auf die **Leistungselektronik** und 2.500 € (22 %) auf den **Elektromotor** verteilen. Die Herstellkosten des Antriebs liegen demnach bei lediglich 27 km elektrischer Reichweite bereits mehr als doppelt so hoch wie die des konventionellen mit 5.200 €. So kostet im Beispiel jeder durch Hybridisierung erschlossene (potenziell stark nachhaltige) elektrische Reichweitenkilometer 230 € in der Herstellung.[1291]

Ebenso wie beim Full-Hybrid besteht auch beim Plug-In-Hybrid neben der parallelen Anordnung der Antriebe die Möglichkeit einer seriellen Verkettung der Module, was zum Konzept des **elektrischen Antriebs mit Plug-In und Range-Extender** führt. Anders ausgedrückt erweitert dieses Antriebsdesign die Konfiguration des *Full-Hybrid mit Range-Extender* um die *Plug-In-Funktionalität*. In der Literatur wird dieses Design zum Teil als *Serial Plug-In-Hybrid* bezeichnet, obwohl es den Vortrieb rein elektrisch erzeugt. Gemäß der hier geltenden Definition handelt es sich folglich nicht um einen hybriden Antrieb. Der *elektrische Antrieb mit Plug-In und Range-Extender* erfordert **modulseitig** Kraftstofftank (Energie-

[1289] Vgl. Abschnitt 3.3.2

[1290] Im Referenzfahrzeug ermöglicht der Einsatz einer kombiniert auf Energie- und Leistungsdichte ausgelegten Batterie mit einem Speichervermögen von 4,4 kWh bei 70 kW Leistung und 43 kg Gewicht eine elektrische Reichweite von 27 km. Für technische Details der Dimensionierung vgl. Anhang 3. Diese elektrische Reichweite deckt bereits etwa 95 % der realen Reichweitenanforderungen ab. Vgl. Absatz 3.3.3.3.

[1291] Diese Angabe bezieht sich auf die Mehrkosten im Vergleich zum konventionellen Antrieb.

speicher) und Verbrennungsmotor (Energiewandler), die direkt mit einem zusätzlichen Generator (Energiewandler) gekoppelt werden. Daran schließen sich Batterie (Energiespeicher), Leistungselektronik (Energiewandler), Elektromotor (Energiewandler) sowie ein einstufiges Getriebe (Energiewandler) an.[1292] Analog dem Plug-In-Hybrid kann auch hier eine **Energiezuführung** durch Betankung mit Kraftstoff oder elektrisches Laden der Batterie erfolgen. Während die Rekuperationsfunktion erhalten bleibt, entfällt aufgrund der seriellen Anordnung die Möglichkeit des Boostens.[1293] Analog dem *elektrischen Antrieb mit Range-Extender* kommt auch hier ein betriebspunktoptimierter Verbrennungsmotor mit reduziertem Kraftstoffverbrauch bzw. Schadstoffausstoß zum Einsatz. Der Wirkungsgrad der Verbrennungskraftmaschine ist erhöht, wobei die zusätzlichen energetischen Zwischenwandlungen diesen Effekt auf Antriebsebene zum Teil kompensieren. Aufgrund des bereits beim Plug-In-Hybrid weitgehend auf rein elektrischen Betrieb zugeschnittenen Antriebs können die kombiniert auf Energie- und Leistungsdichte ausgelegte Batterie (> 5 kWh) sowie Leistungselektronik und Elektromotor (> 40 kW) übernommen werden. Die im Vergleich mit dem konventionellen Antrieb realisierbare **Reduktion des Kraftstoffverbrauchs** hängt auch hier vom Anteil des verbrennungsmotorunabhängigen elektrischen Betriebs ab und kann bis zu 100 % betragen. Da der *elektrische Antrieb mit Plug-In und Range-Extender* ebenso wie der *Plug-In-Hybrid* die für den Antrieb benötigte Energie sowohl in Form von Kohlenwasserstoffen oder durch Aufladen der Batterie von Außen aufnehmen kann, fällt seine Nachhaltigkeitsbewertung ebenfalls zweigeteilt aus. Die Verbrennung von Kohlenwasserstoffen ist als **nicht nachhaltig**, der elektrische Betrieb aus erneuerbaren Energien als **stark nachhaltig** einzustufen, sodass auch dieses Antriebsdesign aufgrund seines Konsistenzpotenzials in den Antriebsvergleich in Teilkapitel 3.4 bzw. Tab. 3-3 einbezogen wird. Während der zusätzliche Generator (analog den Elektromotoren) eine hohe **technologische Reife** aufweist, entspricht die der übrigen Module den Ausführungen in den Absätzen 3.3.3.2 und 3.3.3.3. Mit Blick auf die **Herstellkosten** des Antriebs bei serieller Anordnung ergibt sich unter Bezug auf das Referenzfahrzeug des Segments D, im Vergleich zum Plug-In-Hybrid, insgesamt eine Reduktion um 900 € bzw. 8 %. Dieser Effekt ist das Ergebnis von Einsparungen im Bereich des anwendungsoptimierten **Verbrennungsmotors**, der an Stelle von 3.000 € (26 %) mit 2.000 € (19 %) eingeht und des **einstufigen Getriebes**, das Herstellkosten von lediglich 100 € (1 %) anstatt 2.000 € (19 %) verursacht. Diese Reduktionseffekte in Höhe von 2.900 € (25 %) werden allerdings durch die Herstellkosten des zusätzlichen **Generators** von 2.000 € (19 %) teilweise kompensiert, sodass bei serieller Anordnung **insgesamt Herstellkosten von 10.500 €** anfallen. Kos-

[1292] Die Module entsprechen bis auf Generator und einstufiges Getriebe denen des Plug-In-Hybrid.

[1293] Die bei paralleler Anordnung mögliche Umwandlung ungenutzter Rotationsenergie aus dem Betrieb des Verbrennungsmotors entfällt, da dieser bei serieller Anordnung direkt an den Generator gekoppelt ist und demnach die gesamte Bewegungsenergie dem Generator zugeführt wird.

ten und technische Daten der hier nicht erörterten Module entsprechen denen des Plug-In-Hybrid. Auch in diesem Beispiel liegt eine potenziell stark nachhaltige, batterieelektrische Reichweite von 27 km vor,[1294] wobei unter Bezug auf den konventionellen Antrieb erhöhte Herstellkosten von 196 €/km anfallen.

Abschließend bleibt zu betonen, dass hybride Antriebskonzepte eine durch die geringe technologische Reife elektrischer Energiespeicher auftretende, temporäre Kategorie von Antriebsdesigns sind. Während **Mild- und Full-Hybrid** als Konzepte der Effizienzsteigerung degenerativer Technologie und folglich als **nicht nachhaltig** zu bewerten sind, kombiniert der **Plug-In-Hybrid** die Effizienzstrategie mit ersten Konsistenzschritten, die zu einer Einstufung als **anteilig stark nachhaltig** führen.

3.4 Elektrifizierung des automobilen Antriebs als graduelle Rekonfiguration

Aus einem Wettbewerb der Basisdesigns automobilen Antriebs Anfang des 20. Jahrhunderts ging der mit fossilen Energieträgern betriebene **Hubkolben-Verbrennungsmotor** als technologisches Paradigma hervor. In den folgenden über 100 Jahren durchliefen Paradigma und Industrie die durch Massenproduktion geprägte Exploitations- bzw. Wachstumsphase und erreichten technologisch wie industriell die Reifephase. Dabei wurden umfangreiche technologische Opportunitäten erschlossen und es vollzog sich eine weitreichende Diffusion. Innerhalb des übergeordneten Rahmens globaler Industrialisierung und Bevölkerungswachstums ergeben sich indessen Destabilisierungswirkungen und Übernutzungseffekte. So verstärken der global steigende Fahrzeugbestand und dessen Nutzungsintensität **ökologische Schadwirkungen**, während die zunehmende Nachfrage nach Erdöl in Verbindung mit hoher geographischer und anbieterbezogener Konzentration der endlichen Reserven zu fortwährender **ökonomischer Destabilisierung** durch einen steigenden Rohölpreis führen. **Sozialer Druck** resultiert aus der übergreifenden Wertedynamik, der zunehmend negativen Wahrnehmung degenerativer Technik durch verstärktes Umweltbewusstsein und das Bedürfnis nach intergenerativer Verantwortungsübernahme. Das systemische Zusammenwirken dieser Aspekte führt zur Ausweitung **nachhaltigkeitsinduzierter Destabilisierung** und wachsendem Innovationsdruck, dem das bisherige technologische Paradigma aufgrund seines Funktionsprinzips bzw. der Erschöpfung intensiver technologischer Opportunitäten nicht folgen kann.[1295]

Die Auflösung des zentralen Bedürfniskonfliktes zwischen erschwinglicher Automobilität und lebenswerter Umwelt erfordert folglich eine Fokussierung auf neue Leistungsparameter.

[1294] Im Referenzfahrzeug ermöglicht der Einsatz einer kombiniert auf Energie- und Leistungsdichte ausgelegten Batterie mit einem Speichervermögen von 4,4 kWh bei 70 kW Leistung und 43 kg Gewicht eine batterieelektrische Reichweite von 27 km. Für technische Details der Dimensionierung vgl. Anhang 3.

[1295] Vgl. zur Konzeptualisierung und Dynamisierung von Nachhaltigkeit Teilkapitel 2.1. In diesem Kontext argumentiert auch Suarez, dass bei der Durchsetzung technologischer Paradigmen ökonomische, technologische und sozio-politische Faktoren entscheidend sind. Vgl. SUAREZ 2004, Seite 275 sowie Seite 279 ff.

Anzustreben ist ein **technologischer Paradigmenwechsel** im Antrieb bzw. eine radikale Rekonfiguration des techno-ökonomischen Mobilitätssystems. Eine am Grundprinzip **zyklischer Ressourcennutzung** ausgerichtete technologische Exploration muss dabei die effizienzorientierte Exploitation degenerativer Technologie ersetzen, was an Stelle einer *Lean-* eine *Clean-Philosophie* erfordert. Dabei bedarf es einer konsequenten Ausrichtung am Prinzip **nachhaltiger Konsistenz** unter der Zielsetzung quantitativer Vereinbarkeit erzeugter (Schad-) Stoffströme mit ökologischen Kreisläufen durch Kompatibilität technischer und natürlicher Metabolismen. Zielsetzung ist demnach die Etablierung einer **Backstop-Technologie** für den automobilen Antrieb, die den Verbrauch nicht-regenerativer Kapitalanteile beendet und sich auf die Nutzung des ökologisch-regenerativen Potenzials beschränkt (*Umweltinnovation*).[1296] Neben der Auflösung des zentralen Bedürfniskonfliktes in der Betriebsphase muss die Exploration jedoch auch Produktion und Entsorgung berücksichtigen, wobei der Schwerpunkt auch hier auf der Reduktion des Einsatzes nicht regenerativen Kapitals sowie auf dessen zyklischer Verwendung (*remanufacturing*, Recycling) liegen muss. Ausgehend von dieser Vision nachhaltiger Mobilität muss die Suche nach technologischen Alternativen bei der Energieversorgung ansetzen.

Der Vergleich fossiler, nuklearer und regenerativer Energieträger sowie erneuerbarer Energien macht deutlich, dass lediglich **erneuerbare Energien** als *vernünftig* bzw. *stark nachhaltig* einzustufen sind. Ihre Erschließung ermöglicht einerseits den Verzicht auf die Nutzung begrenzt verfügbarer Energieträger und vermeidet andererseits soziale Konflikte mit der Nahrungsmittelproduktion. Die hohe räumliche und zeitliche Angebotsvariation erneuerbarer Energien erzwingt jedoch in Kombination mit ihrer zur Versorgung des Antriebs unzureichenden, direkt auf Automobile einwirkenden Leistung die **Transformation von Energiesektor und Infrastruktur** (*intelligentes Stromnetz* bzw. *smart grid)*. Unter der Voraussetzung, dass nachhaltige Energie künftig flächendeckend zum Betrieb von Automobilen zur Verfügung steht, ist eine **Elektrifizierung des automobilen Antriebs als Backstop-Technologie** zur Erreichung nachhaltig konsistenter Mobilität geeignet. Um zwischen Phasen der Energieaufnahme eine netzunabhängige Bewegungsfähigkeit zu ermöglichen ist eine **Energiespeichertechnik im Fahrzeug** erforderlich, die das Antriebssystem bedarfsgerecht mit Energie versorgt. Aus der Kombination des volatilen Energieangebots eines auf erneuerbaren Energien basierenden Energiesektors mit elektrischen Energiespeichern in Fahrzeugen resultiert **intersektorales Synergiepotenzial**, da die Automobile innerhalb des Elektrizitätsnetzes eine Stabilisierungs- bzw. Pufferfunktion übernehmen können (*Netzglättung* bzw. *vehicle to grid).*

[1296] Vgl. Einstufung von Neuerungen als Umweltinnovation Absatz 2.2.1.2

Als Energiespeicher für elektrische Traktion sind bei aktuellem Stand der Technik einerseits Batterien und andererseits die Kombination aus Wasserstoff und Brennstoffzelle vielversprechend. Die Kombination dieser Module mit Leistungselektronik, Elektromotor und Getriebe führt zu den Basisdesigns **batterie- und brennstoffzellenelektrischen Antriebs**,[1297] die allerdings, trotz ihres Nachhaltigkeitspotenzials, bisher gegenüber dem etablierten verbrennungsmotorbasierten Antrieb **nicht wettbewerbsfähig** sind.[1298] Diesen Status verdeutlicht der Vergleich der Antriebsdesigns in Tab. 3-3, der technologische Reife und Herstellkosten auf Modulebene gegenüberstellt.[1299] Es fällt auf, dass der konventionelle Antrieb bei hohem bis sehr hohem technologischen Reifegrad Herstellkosten von 5.200 € verursacht. Die elektrischen Alternativen hingegen kosten in der Herstellung batterieelektrisch 19.600 € (+14.400 € bzw. +277 %) bzw. brennstoffzellenelektrisch 24.100 € (+18.900 € bzw. +363 %).[1300] Die technologische Reife der elektrischen Designs zeigt sich modulspezifisch heterogen. Das aus dem konventionellen Antrieb adaptierbare Getriebe und die aus anderen Industrien transferierbaren Module (Leistungselektronik und elektrische Maschinen) weisen bereits einen hohen bis sehr hoher Reifegrad auf. Demgegenüber fallen bei Batterie, Wasserstoffspeicher und Brennstoffzellensystem, die in der benötigten Ausprägung bisher auch in anderen Anwendungsgebieten nicht vorhanden sind, geringe technologische Reifegrade auf. Eben diese Kombination aus geringer technologischer Reife und gleichzeitig hohem Wertanteil von **Batterie (15.500 € von 19.600 € bzw. 79 %)** und **Brennstoffzellensystem (14.000 € von 24.100 € bzw. 58 %)** macht diese Module, wie in Absatz 3.3.3.3 dargelegt, zu den Schlüsselbausteinen ihrer Antriebsdesigns. Aus diesen Zusammenhängen wird deutlich, dass sich die absolute Wertschöpfung im Bereich des automobilen Antriebs in den kommenden Jahren massiv erhöhen wird.[1301] Zudem wird sich der Wertschöpfungsschwerpunkt von mechanischen Energiewandlungsfunktionen (Motor, Getriebe) auf Energiespeicher- und -versorgungsfunktionen verlagern (Batterie, Brennstoffzelle). Obwohl die Vorteile von Elektrofahrzeugen in Konsumentenkreisen bereits weitgehend akzeptiert sind,[1302] ist aufgrund hoher Kosten, geringer technologischer Reife, fehlender Infrastruktur und Standards sowie sozio-institutioneller Beharrungskräfte ein **technologischer Paradigmenwechsel kurzfristig**

[1297] Vgl. für eine detaillierte Vorstellung der elektrischen Antriebsdesigns auf Modulebene Absatz 3.3.3.3

[1298] Vgl. für eine detaillierte Vorstellung des konventionellen Antriebs auf Modulebene Absatz 3.3.3.2

[1299] Bezugsbasis ist das Fahrzeugsegment D der EU-Klassifikation von Personenkraftwagen. Die Angaben der Herstellkosten für Module des konventionellen Antriebs beziehen sich auf vorhandene Stückzahlen von etwa 500.000 p. a.. Da die Module des elektrischen Antriebs bisher nicht in Serie hergestellt werden, erfolgt hier eine Kostenprognose für 100.000 Stück p. a..

[1300] Im Beispiel batterieelektrischen Antriebs kostet (unter Bezug auf den konventionellen Antrieb) jeder potenziell stark nachhaltige, elektrische Reichweitenkilometer ca. 72 € in der Herstellung. Die Angabe eines Vergleichswertes für den brennstoffzellenelektrischen Antrieb ist nicht zielführend, da die Reichweite dort durch Dimensionierung des Wasserstoffspeichers nur geringen Einfluss auf die Herstellkosten hat.

[1301] Vgl. HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 177, die eine Verdoppelung bereits bis 2018 erwarten.

[1302] Vgl. PETERS/HOFFMANN 2011, Seite 52 f.

nicht zu erwarten.[1303] Elektrische Antriebe können den durch das konventionelle Antriebsparadigma geprägten Anforderungen an Automobilität bisher nicht gerecht werden, sodass sie, trotz konzeptioneller Superiorität hinsichtlich nachhaltiger Konsistenz, vorerst ein Nischenprodukt bleiben.[1304] Die heute, im Vergleich zum Beginn des 20. Jahrhunderts, anders gelagerte Destabilisierungsdynamik führt jedoch dazu, dass die technologische Trajektorie des elektrischen Automobilantriebs, unter zunehmend ausgewogener Nachhaltigkeitsorientierung, nunmehr ein höheres gesellschaftliches Nutzenniveau erreichbar macht, als die des konventionellen Antriebs.[1305] Eine Prinzipdarstellung des Verlaufs der technologischen Trajektorien in der technologischen Evolution automobiler Antriebe bietet Abb. 3-8, wobei die inhärente Bewertung des Nutzen-Kostenverhältnisses (Ordinate) lediglich auf Basis der aktuellen (bzw. künftig erwarteten) gesellschaftlichen Nachhaltigkeitsorientierung erfolgen kann.[1306]
Das dargestellte Spannungsfeld zwischen nachhaltigkeitsinduzierter Destabilisierung des konventionellen Antriebsparadigmas und dem unreifen Status vielversprechender Alternativen eröffnet einen Pfad **gradueller Rekonfiguration**.[1307] Im Rahmen dessen zeichnet sich an Stelle einer abrupten technischen Substitution eine Phase der **Hybridisierung automobilen Antriebs** ab, die zu einer Ergänzung des verbrennungsmotorbasierten Antriebs durch elektrische Antriebssysteme führt. Technologische Exploitation des bisherigen und technologische Exploration alternativer Designs vollziehen sich simultan, wobei der elektrische Anteil graduell an Bedeutung gewinnt. Ziel der Hybridisierung ist die Kombination der prinzipbedingten Vorteile der Einzelsysteme, die allerdings im Gegenzug zu einer massiven Steigerung der Kompliziertheit des Antriebs sowie zu einer deutlichen Ausweitung der zu seiner Erstellung erforderlichen Kompetenzen führt.[1308] Dieser Zusammenhang wird besonders anhand der Einordnung in den reife- und kostenbezogenen Vergleich der Antriebsdesigns in Tab. 3-3 deutlich. Aufgrund ihres in Absatz 3.3.3.4 dargestellten Nachhaltigkeitspotenzials konzentriert sich die Analyse auf die Basisdesigns des **Plug-In-Hybrids** sowie des **elektrischen Antriebs mit Plug-In und Range-Extender**.[1309]

[1303] Technologische Herausforderungen beziehen sich neben der Reduktion von Herstellkosten insbesondere auf Energie- und Leistungsdichte, Lebensdauer, Sicherheitsanforderungen, Betriebstemperaturbereiche sowie Druck- und Isolation in Fahrzeug und Infrastruktur. Vgl. Absatz 3.3.3.3 sowie Tab. 3-2

[1304] Zum Effekt des Dominierens inferiorer Technologien gegenüber konzeptionell überlegenen Alternativen aufgrund von pfadabhängigem *lock-in* vgl. Absatz 2.2.3.3 sowie DOSI/LABINI 2007, Seite 338

[1305] Vgl. zur Dynamik der dieser Untersuchung zu Grunde liegenden Nachhaltigkeitssystematik Abschnitt 2.1.4 sowie zur Dynamik der Stabilisierung des konventionellen Antriebsparadigmas Teilkapitel 3.2

[1306] Demgegenüber wurde zum Zeitpunkt der Durchsetzung des konventionellen Antriebs (TP_{CE}) auf Basis des damaligen Werte- und Anforderungssets der Nachfrage diesem Konzept ein höheres Leistungsniveau (Nutzen/Kosten) zugeschrieben. Vgl. Teilkapitel 3.1

[1307] Vgl. zur Ausprägung Transformation als graduelle Rekonfiguration umfangreicher technischer Systeme Absatz 2.2.1.4 sowie Absatz 2.2.3.5 und GEELS 2005, Seite 265 f.

[1308] Vgl. für eine detaillierte Vorstellung hybrider Antriebsdesigns auf Modulebene Absatz 3.3.3.4

[1309] Bezugsbasis ist das Fahrzeugsegment D der EU-Klassifikation von Personenkraftwagen. Die Angaben der Herstellkosten für Module des konventionellen Antriebs beziehen sich auf vorhandene Stückzahlen von ca.

Antriebskonzept \ Modulfunktion	Speicherung chemischer Energie	Wandlung in mechanische Energie	Wandlung in elektrische Energie (Gleichstrom)	Speicherung chemischer Energie	Wandlung in elektrische Energie (Wechselstrom)	Wandlung in mechanische Energie	Wandlung mechanischer Energie	Summe Herstellkosten (HK)
Konventioneller Antrieb	Kraftstofftank					Verbrennungsmotor A	Getriebe A	
HK (0,5 Mio. St./a)	200 € ●					3.000 € ◕	2.000 € ●	**5.200 €**
Plug-In-Hybrid	Kraftstofftank					Verbrennungsmotor A	Getriebe A	
HK (0,5 Mio. St./a)	200 € ●					3.000 € ◕	2.000 €	
	Batterie A				Leistungselektronik	Elektromotor		
HK (0,1 Mio. St./a)	2.200 € ◔				1.500 € ◕	2.500 € ◕	●	**11.400 €**
Elektr. Antrieb mit Plug-In und Range-Extender	Kraftstofftank	Verbrennungsmotor B	Generator	Batterie A	Leistungselektronik	Elektromotor	Getriebe B	
HK (0,5 Mio. St./a)	200 € ●	2.000 € ◕	2.000 € ◕	2.200 € ◔	1.500 € ◕	2.500 € ◕	100 € ●	**10.500 €**
HK (0,1 Mio. St./a)								
Batterieelektrischer Antrieb	Batterie B				Leistungselektronik	Elektromotor	Getriebe B	
HK (0,1 Mio. St./a)	15.500 € ◔				1.500 ◕	2.500 € ◕	100 € ●	**19.600 €**
Brennstoffzellenelektrischer Antrieb	Wasserstoffspeicher		Brennstoffzellensystem	Batterie C	Leistungselektronik	Elektromotor	Getriebe B	
HK (0,1 Mio. St./a)	5.000 € ◔		14.000 € ◔	1.000 € ◔	1.500 € ◕	2.500 € ◕	100 € ●	**24.100 €**

Technologischer Reifegrad ○ <10% ◔ ≈25% ◑ ≈50% ◕ ≈75% ● >90% ⬚ Modul bzw. Funktion nicht erforderlich

Übergreifende Erläuterungen und Anmerkungen zu Modulen mit antriebsspezifischen Versionen (für Details zu allen Modulen vgl. Abschnitt 3.3.3):

- Zu Grunde liegt das Fahrzeugsegment D der EU-Klassifikation von Pkw, beispielsweise die Modelle Audi A4, BMW 3er und Mercedes-Benz C-Klasse.
- Bei den Kostenangaben handelt es sich um Herstellkosten (HK) pro Einheit in Abhängigkeit der angegebenen Jahresstückzahlen (St./a).
- Verbrennungsmotor A ist ein üblicher Vierzylinder-Turbodiesel (ca. 2.000 cm³ bei 100 kW), Version B ist als Range-Extender betriebspunktoptimiert.
- Getriebe A ist als sieben- bzw. achtstufiges Automatikgetriebe ausgeführt, Getriebe B einstufig.
- Die Dimensionierung der Li-Ionen-Batterien ist wie folgt (Vgl. Anhang 1 bis 3): Batterie A kombiniert leistungs- und energiedichteoptimiert mit 4,4 kWh und 70 kW bei 43 kg und 27 km batterieelektrischer Fahrzeugreichweite, Batterie B energiedichteoptimiert mit 32 kWh und 73 kW bei 267 kg und 200 km batterieelektrischer Reichweite, Batterie C leistungsdichteoptimiert mit 2 kWh und 70 kW bei 24 kg und 12 km elektrischer Fahrzeugreichweite.

Tab. 3-3: Herstellkosten und Reife automobiler Antriebsdesigns auf Modulebene[1310]

500.000 p. a.. Da die Module des elektrischen Antriebs bisher nicht in Serie hergestellt werden, erfolgt hier eine Kostenprognose für 100.000 Stück p. a..

[1310] Eigene Darstellung auf Basis von Expertenbefragungen. Selektive Ergänzungen aus SEISENBERGER et al. 2012, Seite 76 und GERINGER et al. 2012, Seite 47 sowie WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 50, Seite

Dabei fällt auf, dass die Hybridisierung mit Plug-In-Funktionalität und lediglich 27 km batterieelektrischer Reichweite bereits Herstellkosten in Höhe von 11.400 € bzw. 10.500 € verursacht. Mit einem Aufschlag von 6.200 € (+119 %) bzw. 5.300 € (+102 %) verdoppeln sich die Herstellkosten im Vergleich zum konventionellen Antrieb. Dabei kostet jeder Kilometer potenziell stark nachhaltiger, batterieelektrischer Reichweite in der Herstellung 230 € bzw. 196 €. Mit Blick auf die technologische Reife kann den erforderlichen Modulen, mit Ausnahme der Batterie, ein hohes Niveau attestiert werden. Geringe Reife und hohe Kosten der Batterie wirken sich jedoch aufgrund ihrer, im Vergleich zum batterieelektrischen Antrieb, geringen Dimensionierung nicht maßgeblich aus. Der zum konventionellen Antrieb deutlich erhöhte Preis resultiert stattdessen aus der Kombinatorik der Antriebsdesigns bzw. der hohen Anzahl erforderlicher Module.

Ausgehend von der dargestellten Historie automobiler Antriebstechnik (Teilkapitel 3.1), den analysierten Destabilisierungswirkungen auf das aktuelle technologische Paradigma (Teilkapitel 3.2) und den untersuchten Perspektiven technischer Alternativen (Teilkapitel 3.3) entsteht das in Abb. 3-8 veranschaulichte, übergreifende Bild der **Evolution automobiler Antriebstechnik**. Dieses ermöglicht nicht nur ein Verständnis historischer Entwicklung, sondern eröffnet auch eine Perspektive pfadabhängiger, technologischer Folgedynamik.

Es wird deutlich, dass die Hybridisierung (ab $TS_{VA\text{-}HA}$) nicht nur ein Erreichen der neuen Trajektorie ohne (temporäre) Einbußen im Nutzen-Kosten-Verhältnis ermöglicht, sondern durch Kombination komplementärer technologischer Vorteile einen **graduellen Übergang zwischen den Trajektorien konventionellen und elektrischen Antriebs mit überlegener Produktleistung** bietet (gepunkteter Linienverlauf zwischen $TS_{VA\text{-}HA}$ und $TS_{HA\text{-}EA}$). Die Erschließung dieses Potenzials erfordert allerdings die Kombination technologisch extensiven Lernens (Exploration) mit technologisch intensivem Lernen (Exploitation) sowie die Fähigkeit zum Umgang mit der aus technologischem und organisationalem Dualismus resultierenden Komplexität in einem *systemintegrierten Netzwerkprozess von Innovation*.[1311] Die Rekonfiguration spielt sich folglich sowohl als **Koevolution technologischer und industrieller Ebene**, als auch innerhalb beider Ebenen in Interdependenz von bisherigem und neuem technologischem Paradigma sowie bisherigem und neuem technologischem Regime ab. Es entsteht ein Transformationspfad für Technik und Industrie, der allerdings, wie in Abb. 3-8 dargestellt, die Durchsetzung des elektrischen Antriebs verzögert bzw. den Lebenszyklus des Verbrennungsmotors verlängert.

115 f. und Seite 119 sowie WERHAHN 2009, Seite 153 f. und PWC 2012, Seite 63 sowie BLESL et al. 2009, Seite II und GRUDEN 2008, Seite 280 sowie batteriebezogen den in Anhang 1 bis 3 zitierten Quellen.

[1311] Vgl. zum simultanen Management inkrementeller und radikaler Innovationsströme (organisationale Ambidextrie) Abschnitt 2.3.7 sowie zu Innovation als systemintegrierter Netzwerkprozess Absatz 2.2.1.3.

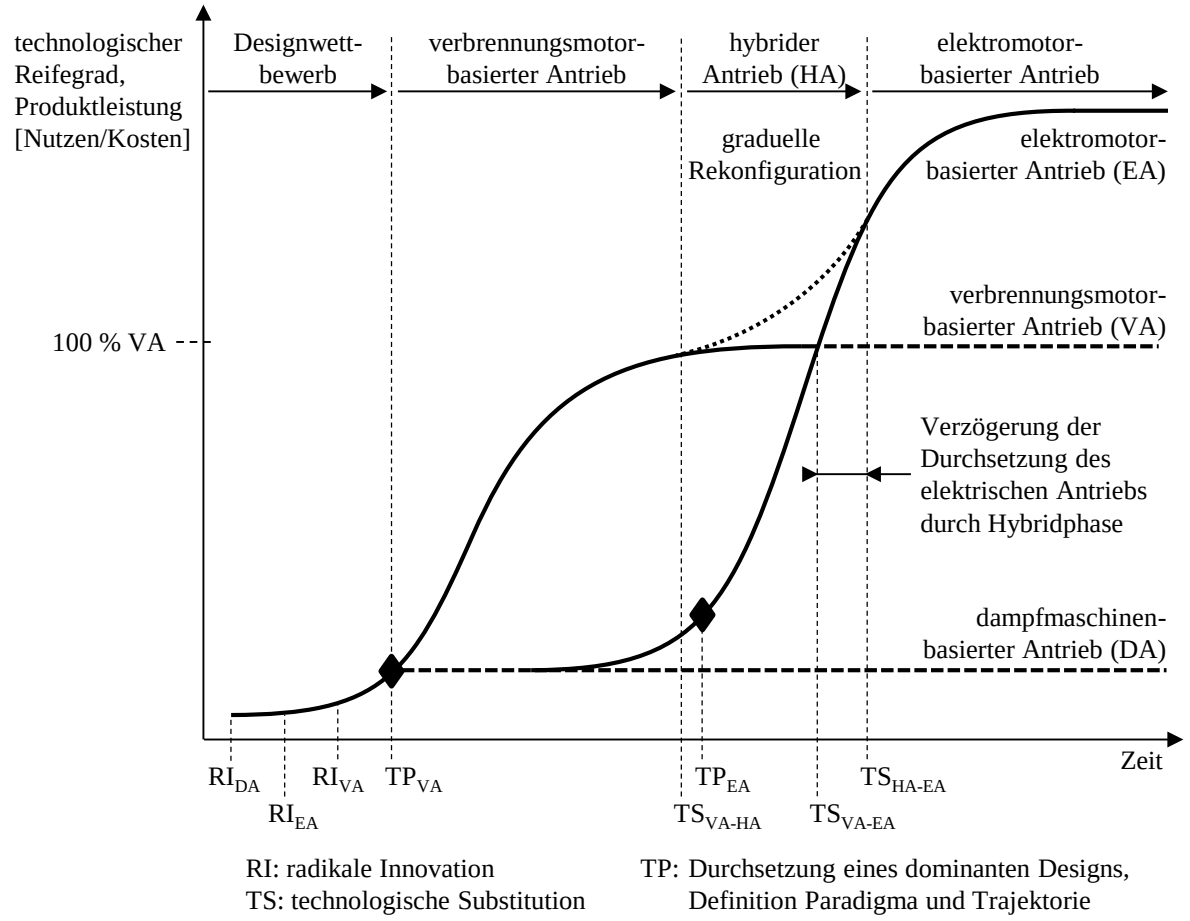


Abb. 3-8: Evolution automobiler Antriebe inkl. bevorstehendem Paradigmenwechsel[1312]

Dieser Effekt ergibt sich dadurch, dass die Nachteile des Verbrennungsmotors in hybriden Konfigurationen durch den elektrischen Antrieb teilweise kompensiert werden können, wobei die Vorteile in der Kombinatorik nutzbar bleiben. Diese Rekonfigurationscharakteristik eröffnet dem **technologischen Regime des konventionellen Antriebs** ein Zeitfenster für technologisches Lernen sowie organisationale Neuausrichtung unter weitgehender Aufrechterhaltung schützender Markteintrittsbarrieren und Produktgestaltung nach dem Ansatz des *Conversion-Design* (*modulare Innovation*).[1313] Der Wert historisch kumulierten technologischen Wissens und vorhandener Routinen bleibt auf diese Weise vorerst erhalten (*entrenching*).[1314] Neben der technologischen Exploitation ergibt sich dabei auch eine strukturelle Exploitationsebene, im Rahmen derer die Akteure die Vorzüge ihrer (noch) dominanten Position ausbeuten. Auf diese Weise bietet die graduelle Rekonfiguration Vertretern des etablierten Para-

[1312] Eigene Darstellung

[1313] Die Hybridisierung des Antriebs führt vorerst zur Erhaltung der bestehenden Fahrzeugarchitektur, wobei der elektrische Antrieb als *modulare Innovation* integriert wird. Vgl. zu *modularer Innovation* Absatz 2.2.1.2

[1314] Da in der Hybridisierungsphase sowohl der Wert kumulierter Kompetenzen als auch der vorhandener Kundenverbindungen erhalten bleibt, ergibt sich eine Einstufung als *regular Innovation*. Vgl. Absatz 2.2.1.2

digmas die Chance ihre technologische und wirtschaftliche Machtposition als Eintrittskarte in einen neuen Technologiezyklus zu nutzen. Explorationsbezogen befinden sich diese Unternehmen jedoch in einer pfadabhängig inferioren Ausgangssituation bei historisch eingeengtem Explorationsbereich, woraus die Gefahr technologischer Trägheit resultiert (*kompetenzbezogene Pathologie* bzw. *core rigidity*).[1315] Die unter diesen Bedingungen **reduzierte Anzahl in den Markt eintretender Herausforderer** richtet ihre Anstrengungen verstärkt auf die Exploration elektrischer Antriebe. Wesentliche Gründe dafür sind einerseits der Mangel an technologischen Kenntnissen zum konventionellen Antrieb (z. B. Tesla Motors) sowie andererseits vorhandene technologische Vorkenntnisse zum elektrischen Design (z. B. BYD Auto). Sie konzentrieren sich auf die neuen Leistungscharakteristika und befinden sich explorationsbezogen in vorteilhafter Ausgangssituation (*attacker's advantage*).[1316]

Wie in Abb. 3-8 ersichtlich endet der graduelle Rekonfigurationsprozess automobiler Antriebstechnik sobald der **elektrische Antrieb** die erforderliche technologische Reife erreicht, um sich als **technologisches Paradigma** auch gegen die hybriden Alternativen durchzusetzen. Dazu ist anzumerken, dass sich auch diese Substitution nicht punktuell (bei $TS_{HA\text{-}EA}$), sondern als graduelle Substitution vollzieht, wobei sich Elektrofahrzeuge aus Anwendungsnischen verbreiten, während sich konventionell und hybrid angetriebene Fahrzeuge zuerst in Nischen zurückziehen und aufgrund ihrer deutlich höheren Kompliziertheit auf Dauer komplett verschwinden.[1317] In der Konsequenz handelt es sich bei hybriden Antrieben um eine Übergangs- bzw. Brückentechnologie.[1318] Die Durchsetzung elektrischer Antriebe gegen konventionelle und hybride Alternativen wird einerseits kompetenzzerstörende Wirkung entfalten und andererseits die Möglichkeit zu grundlegender Veränderung der Fahrzeugarchitektur eröffnen (*architektonische Innovation* durch *Purpose-Design*).[1319] Unter der Voraussetzung einer Ausrichtung von Energieerzeugung und Infrastruktur auf erneuerbare Energien wird dann der angestrebte *Backstop*-Effekt erreicht (*Umweltinnovation*), der, sobald sich auch eine ökonomische Vorteilhaftigkeit gegenüber den Alternativen einstellt, zu einer Einstufung des Paradigmenwechsels als *Nachhaltigkeitsinnovation* führen kann.[1320]

[1315] Vgl. Abschnitt 2.3.7

[1316] Vgl. Abschnitt 2.3.7

[1317] So ist bspw. aufgrund der Reichweitenproblematik batterieelektrischer Antriebe und der Infrastrukturherausforderungen brennstoffzellenelektrischer Antriebe in Kombination mit der Teilinternalisierung von Übernutzungseffekten des konventionellen Paradigmas in Ballungsräumen davon auszugehen, dass sich Elektrofahrzeuge zuerst in diesem Umfeld durchsetzen und von dort weiter verbreiten.

[1318] Die Position wird teilweise auch in der Literatur vertreten. Vgl. HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 89

[1319] Während kompetenzseitig eine Entwertung erfolgt, zeigt sich bzgl. vorhandener Verbindungen zu Kunden eine bewahrende Wirkung, was insgesamt zu einer Einstufung als *revolutionäre Innovation* führt. Vgl. zur Kompetenzauswirkung von Innovation sowie zu *architektonischer Innovation* Absatz 2.2.1.2

[1320] Der noch weite Weg zu diesem Ziel wird z. B. daran deutlich, dass in Deutschland von einem Gesamtbestand von über 43 Mio. Personenkraftwägen im Jahr 2013 lediglich 72.000 einen hybriden oder elektrischen Antrieb aufweisen, was gegenüber dem Jahr 2012 einer Steigerung von 0,1 % auf 0,2 % entspricht. Vgl. KBA 2013. Zur Klassifikation von Innovation als *Nachhaltigkeitsinnovation* Vgl. Absatz 2.2.1.2.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass der systemische Entwicklungsbedarf in Energieerzeugung, -verteilung und -nutzung auf Ebene der Teilsysteme die Tragweite der Transformation *umfangreicher technologischer Systeme* erreicht, wobei auf übergeordneter Ebene das Aufkommen eines *techno-ökonomischen Paradigmas* nachhaltiger Konsistenz in einem postfossilen Wirtschaftssystem erkennbar wird.[1321] Unter diesen Rahmenbedingungen langfristiger Transformation auf technologischer, ökonomischer und sozialer Ebene rücken unter Abwesenheit von Gleichgewichtszuständen Lernprozesse und die Metafähigkeit zur Dynamisierung von Wissen (*dynamic capability*) in den Vordergrund.[1322]

[1321] Vgl. zu *technologischen Systemen* und *techno-ökonomischen Paradigmen* Absatz 2.2.1.2.

[1322] Vgl. Absatz 2.2.3.2. Die Langfristigkeit der Transformation wird in der Literatur mit bis zu 50 Jahren angegeben. Vgl. RENNINGS 2000, Seite 320

4 Kooperative Exploration im Rahmen des Paradigmenwechsels

Basierend auf der graduellen Rekonfigurationscharakteristik automobiler Antriebstechnik untersucht dieses Kapitel Potenzial und Niveau kooperativer Exploration mit Schwerpunkt auf der technologischen Lösungssuche der Anbieter. An eine kurze Darstellung der Eignung von Patenten als Lern-, Wissens- und Innovationsindikatoren (Teilkapitel 4.1) schließt sich dazu eine Analyse der Rekonfiguration der technologischen Wissensbasis an (Teilkapitel 4.2). Darauf aufbauend werden die Rollen von Nachfragern, Anbietern und öffentlichem Sektor im Rahmen der Transformation erörtert (Teilkapitel 4.3). Hierbei wird auch auf die bisherige Verteilung antriebsbezogenen Wissens unter Herstellern und Zulieferern eingegangen. Die anschließende empirische Untersuchung der technologischen Exploration der Anbieterseite analysiert unter Bezug auf die Schlüsselmodule Batterie und Brennstoffzelle den historischen Verlauf technologischer Such- und Lernaktivitäten von Automobilherstellern, Automobilzulieferern sowie Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern (Teilkapitel 4.4). Die abschließende Synthese fasst die Erkenntnisse, unter Bezug auf die Eignung kooperativer Koordination zur Exploration elektrischer Designs automobiler Antriebstechnik, zusammen (Teilkapitel 4.5).

4.1 Patente als Indikatoren technologischen Wandels

Indikatoren zur Messung technologischen und technischen Fortschritts lassen sich entlang des Innovationsprozesses in inputbezogene Ressourcenindikatoren (z. B. F&E-Personal, F&E-Aufwendungen), *throughput*-bezogene F&E-Ertragsindikatoren (z. B. wissenschaftliche Veröffentlichungen und Patente) und outputbezogene Fortschrittsindikatoren (z. B. Innovationszählung) typisieren.[1323] Während bei input- und outputbezogenen Indikatoren die Erhebung bzw. Verfügbarkeit einer objektiven Datengrundlage oftmals eine nicht zu überwindende Hürde darstellt, bieten Patente als korrelative F&E-Ertragsindikatoren eine hohe Datenverfügbarkeit.[1324] Aufgrund ihrer zusätzlich engen Korrelation mit dem Inventionsphänomen eignen sich Patente besonders zur **Analyse technologischen Wandels** sowie zur technologischen Vorschau (*technological forecasting*).[1325] Die vorliegende Untersuchung bedient sich zur empirischen Analyse technologischen Lernens, der Verteilung technologischen Wissens sowie der Untersuchung von kooperativem Niveau und Potenzial der Methode der Patentanalyse. Um eine Grundlage für dieses Vorgehen zu schaffen, wird im Folgenden auf Patente und ihre Funktion sowie auf die Vor- und Nachteile dieser Methode eingegangen.

[1323] Vgl. zu Messmethoden technischen Fortschritts mit korrelativen Indikatoren GRUPP 1997, Seite 143 ff.

[1324] Vgl. zur Patentanalyse übergreifend GRANSTRAND 2010, Seite 255 ff. sowie GRUPP 1997, Seite 158 ff.

[1325] Vgl. OECD 2009, Seite 30 und Seite 90 und DAIM et al. 2006, Seite 981 sowie BASBERG 1987, Seite 131 und HINGLEY/NICOLAS 2006. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine technologische Vorschau unter starker Unsicherheit keine Vorhersage sein kann.

Patente sind formale Schutzrechte, die dem Eigentümer temporär ein ausschließliches Verwertungsrecht (Monopol) für eine technische Erfindung zugestehen,[1326] öffentlich den Stand der Technik reflektieren sowie Ort, Zeit und Umstände der Entstehung technologischen Wissens offenlegen.[1327] Um **patentfähig** zu sein, muss eine Erfindung neu sein, auf einer erfinderischen Tätigkeit beruhen (Erfindungshöhe) und gewerblich einsetzbar sein.[1328] Der Ablauf der **Patentzulassungsverfahren** sieht global nahezu einheitlich 18 Monate nach der Anmeldung eine Offenlegung vor,[1329] auf die, abhängig von der Patentbehörde nach weiteren Prüfungen, letztlich die Erteilung oder Ablehnung erfolgt.[1330] Dabei ist es wesentlich zu berücksichtigen, dass aus der Gesamtheit der Inventionen lediglich eine **Teilmenge patentiert** und eine weitere Teilmenge zu Innovationen wird, wobei sich diese Mengen partiell überschneiden.[1331] Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass Erfindungen eher dann patentiert werden, wenn ihnen ein **kommerzielles Verwertungspotenzial** zugeschrieben wird.[1332] Patente stellen kodifiziertes, technologisches Wissen dar und eignen sich somit, insbesondere mit Bezug auf ihre Anmeldungsdynamik im Zeitverlauf, als **Indikatoren technologischen Wandels.**[1333] Da Patente in diesem Fall als Indikator für technologisches Lernen und Wissen im Rahmen von F&E-Vorgängen dienen, muss die Auswertung anstatt von Patenterteilungen auf Patentanmeldungen bzw. -offenlegungen abstellen.[1334]

Wesentliche **Vorteile von Patentdaten** sind, dass sie sich wie kein anderer Inventionsindikator über lange Zeiträume zurückverfolgen, einzelnen Wirtschaftssubjekten zuordnen und zeit-

---

[1326] Die neoklassische Begründung von Schutzrechten fußt darauf, dass externe Effekte von Invention und Innovation Aneignungsbedingungen und Anreize für F&E reduzieren und folglich das private F&E-Engagement unterhalb des sozialen Optimums verbleibt. Vgl. LINDAHL 1919, Seite 85 ff. bzw. Abschnitt 2.2.2. Weitere formale Schutzrechte sind bspw. Gebrauchs- und Geschmacksmuster oder Marken.

[1327] Vgl. GRUPP 1997, Seite 159 ff., der auf *rechts-, informations- und outputcharakter* eingeht sowie HARMANN 2003, Seite 85 ff., der sich auf *Schutz-, Informations- und Vermögensfunktion* bezieht.

[1328] Vgl. BMJV PatG 2013, § 1, Absatz 1 sowie EPO EPÜ 2007, Artikel 32, Absatz 1. Das Kriterium *neu* erfordert, dass die Erfindung bisher nicht *Stand der Technik* ist. Eine *erfinderische Tätigkeit* liegt vor, wenn sich die Neuerung für den Fachmann nicht in naheliegender Weise aus dem *Stand der Technik* ergibt. *Gewerbliche Anwendbarkeit* liegt vor, wenn sie auf irgendeinem gewerblichen Gebiet einschließlich der Landwirtschaft hergestellt oder benutzt werden kann. Vgl. BMJV PatG 2013, § 3, § 4 und § 5

[1329] Diese Offenlegungsfrist trifft auch für Deutschland, Japan und die USA zu. Vgl. OECD 2009, Seite 47 ff. sowie GRUPP 1997, Seite 165

[1330] Für eine ausführlichere Darstellung von Zulassungsverfahren vgl. GRANSTRAND 2010, Seite 219 sowie OECD 2009, Seite 53 ff. Auch bei internationalen Zulassungsverfahren erfolgt die Erteilung immer national.

[1331] Vgl. GRILICHES 1998, Seite 296. Gründe für ein Unterbleiben von Patentierung sind: (1) Erfindung ist rechtlich nicht patentfähig, (2) Kosten des Schutzes sind höher als der erwartete ökonomische Wert der Erfindung, (3) mögliches technologisches Umgehen des Patents durch Wettbewerber (*inventing around*, Vgl. TEECE 1986, Seite 237) und (4) Dauer des Patentschutzes ist zu gering. Vgl. BASBERG 1987, Seite 133 f. Stattdessen setzen Unternehmen häufig informelle Schutzmechanismen ein, wie z. B. schnellere Vermarktung (*time to market*, Vgl. Absatz 2.3.4.2), Geheimhaltung oder auch Komplexität in Produkt und Prozess.

[1332] Vgl. BASBERG 1987, Seite 133

[1333] Vgl. OECD 2009, Seite 26 ff. und Seite 84 sowie BECKER 2004, Seite 162

[1334] Vgl. GRUPP 1997, Seite 164 sowie SCHMOOKLER 1966, Seite 21 f. und DOSI et al. 1990, Seite 47 f. So wird jede subjektiv als Neuerung verstandene Erfindung berücksichtigt, die aus F&E-Anstrengungen hervorgeht, unabhängig davon, ob der Patentschutz letztlich erteilt wird. Dies führt zu Doppelzählungen von F&E, die aber realen Mehrfachentwicklungen entsprechen.

lich exakt verorten lassen.[1335] Darüber hinaus besteht eine sehr hohe Verfügbarkeit und Exaktheit der Daten bei großer räumlicher Abdeckung durch die nationalen und internationalen Patentbehörden. Die internationale Patentklassifikation (*International Patent Classification, IPC*) schafft überdies eine einheitliche Ordnungslogik und damit die Grundlage guter Aggregier- bzw. Disaggregierbarkeit bei breiter technologischer Abdeckung.[1336] Von besonderer Bedeutung für die Untersuchung technologischen Wandels ist die enge Korrelation von Patenten mit Invention und Innovation, da ein großer Teil der Erfindungen patentiert wird und ferner ein wesentlicher Anteil der Patente kommerziell genutzt wird.[1337] Patentschriften enthalten zudem detaillierte Informationen zur jeweiligen Invention, die bereits im Zulassungsverfahren veröffentlicht werden, wobei Neuheitsgrad und Anwendungsbezug der Neuerung durch das Verfahren abgesichert werden.[1338] Eine Übersicht der Vor- und Nachteile der Analyse von Patentdaten bietet Tab. 4-1.

Vorteile von Patentdaten	Nachteile von Patentdaten
+ hohe Verfügbarkeit und Exaktheit der Daten	– unvollständige Erfassung von Erfindungen
+ große räumliche Abdeckung	– keine Erfassung impliziten Wissens
+ umfangreiche zeitliche Abdeckung und exakte Zuordenbarkeit	– erschwerte Auswertung und Interpretation aufgrund international heterogener Patentsysteme
+ breite technologische Abdeckung	– Patentneigung zwischen Industrien verschieden
+ klare Zuordenbarkeit zu Wirtschaftssubjekten	– Patentneigung unternehmensbezogen heterogen
+ sehr gute Aggregier- bzw. Disaggregierbarkeit	– Patentverhalten und -neigung dynamisch
+ enge Korrelation mit Invention	– Erfindungen aufgrund von Patentstrategien teilweise durch mehrere Patente geschützt
+ detaillierte Informationen über Invention	– Technologischer und ökonomischer Wert von Patenten sehr unterschiedlich
+ enge Korrelation mit Innovation	– Datenstand liefert Momentaufnahme ohne Nachvollziehbarkeit historischer Veränderungen
+ gesicherter Neuheitsgrad und Anwendungsbezug durch Zulassungsverfahren	

Tab. 4-1: Vor- und Nachteile von Patentdaten als technologische Indikatoren[1339]

Nachteile der Analyse von Patentdaten als Indikatoren technologischen Wandels hingegen ergeben sich aus der unvollständigen Erfassung von Erfindungen, da nicht alle Neuerungen patentiert werden und implizites Wissen per se nicht schutzrechtsfähig ist.[1340] Zudem ist die Patentneigung zwischen Märkten, industriellen Sektoren und Unternehmen sehr unterschied-

[1335] Vgl. GRUPP 1997, Seite 158
[1336] Das Straßburger Abkommen aus dem Jahre 1971 legt eine international einheitliche Patentklassifikation fest, die aus acht Sektionen besteht und sich tiefergehend in Klassen, Unterklassen, Haupt- und Untergruppen untergliedert. Vgl. DPMA 2013, Abschnitt 1 sowie Abschnitt 19 bis Abschnitt 23
[1337] Vgl. OECD 2009, Seite 22 f. und Seite 26 f.
[1338] Die Informationen ermöglichen die Suche nach Schlagworten. Vgl. DAIM et al. 2006, Seite 983 sowie OECD 2009, Seite 87
[1339] Eigene Darstellung auf Basis von ARCHIBUGI 1992, Seite 358 ff. und SCHÖN 2013, Seite 200
[1340] Vgl. SCHMOCH 1999, Seite 114

lich und unterliegt einer Dynamik, die zu Veränderungen im Patentverhalten der Akteure führt.[1341] Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich, trotz internationaler Vereinheitlichung der Klassifizierung, aus verbleibenden Unterschieden zwischen den nationalen Patentsystemen, die sich auf das Zulassungsverfahren (z. B. Kriterien, Fristen und Offenlegungen) oder die Schutzrechte selbst (z. B. Anzahl abgedeckter Ansprüche bzw. *claims*) beziehen können.[1342] Für internationale Gegenüberstellungen zwischen den Patentbehörden werden deshalb Korrekturfaktoren vorgeschlagen. Aufgrund der in Japan verbreiteten defensiven Patentstrategien, der im japanischen Patentsystem geringeren Erfindungshöhe sowie der dort üblichen Aufteilung von Ansprüchen auf mehrere Patente wird für einen internationalen Vergleich japanischer Offenlegungen und Patente (JPO) ein Korrekturfaktor von 0,5 vorgeschlagen.[1343] Bei internationalen Vergleichen amerikanischer Offenlegungen ist zu berücksichtigen, dass die dortige Patentbehörde (USPTO) bis zum Jahr 2000 lediglich die Erteilungen veröffentlicht hat.[1344] Unter Berücksichtigung dieser Aspekte signalisieren Unterschiede in der Anzahl der Patentierungen pro Akteur Divergenzen in der Forschungsproduktivität.[1345] Der Einsatz von Patentstrategien führt überdies dazu, dass Erfindungen durch mehrere Patente geschützt werden, um eine Patentumgehung (*inventing around*) zu vermeiden.[1346] In der Folge ist besonders in Hochtechnologien seit Mitte der 1990er Jahre eine übergreifende Steigerung der Patentierungsaktivitäten festzustellen.[1347] Als weitere Problematik der Nutzung von Patentdaten als technologische Indikatoren zeigt sich, dass Patente zwar auf technologisches Wissen hinweisen, jedoch keine Aussage über dessen Qualität und ökonomischen Wert machen.[1348] In der Literatur werden deshalb zusätzliche Methoden zur Berücksichtigung der Qualität bzw. des Wertes von Patenten vorgeschlagen, so z. B. internationale Mehrfachanmeldungen (z. B. *Triadische Patente*), Zitationen, Patentfamilien, Verlängerungen oder Anfechtungen.[1349] Weiter-

[1341] Vgl. BAUDRY/DUMONT 2006, Seite 324 ff. sowie FRIETSCH et al. 2005, Seite 21 ff. und DE RASSENFOSSE/VAN POTTELSBERGHE 2009, Seite 779 ff. Um industrielle Divergenzen auszublenden, wird zum Teil eine sektorale Eingrenzung vorgeschlagen. Vgl. BASBERG 1987, Seite 135

[1342] Vgl. ARCHIBUGI 1992, Seite 362 f. und OECD 2009, Seite 47 ff. In der Folge wird teilweise eine analytische Beschränkung auf jeweils eine Patentbehörde angeraten. Vgl. BASBERG 1987, Seite 135

[1343] Vgl. STERNITZKE/BARTKOWSKI 2005, Seite 226 sowie SCHRAMM et al. 1997, Seite 48 und ARCHIBUGI 1992, Seite 363 sowie BEUCKER/FICHTER 2007, Seite 33 und HARMANN 2003, Seite 52 ff.

[1344] Vgl. USPTO 2000. Um in den Jahren bis 2000 auf die Summe der Anmeldungen zu schließen, werden zum Teil Korrekturfaktoren vorgeschlagen. Aus stichprobenartig ermittelten Erteilungsquoten von 65 % (1970er Jahre) sowie 67 % (2000er Jahre) wird bspw. ein Faktor von 1,5 abgeleitet, wobei unter Einbezug weiterer Argumente die hohe Unsicherheit dieses Faktors betont wird. Vgl. GRILICHES 1998, Seite 289 sowie STERNITZKE/BARTKOWSKI 2005, Seite 227. Qualitätsbezogen wird angeführt, dass die geringere Prüfqualität am USPTO zu überhöhten Erteilungszahlen führt, was mehr Anmeldungen mit niedriger Qualität bedingt. Vgl. JAFFE/LERNER 2004, Seite 175 f. sowie VAN POTTELSBERGHE DE LA POTTERIE 2011, Seite 2. Die Berücksichtigung der Qualität spricht demnach eher für einen niedrigen Faktor.

[1345] Vgl. DE RASSENFOSSE/VAN POTTELSBERGHE 2009, Seite 788

[1346] Vgl. zu Patentstrategien GRANSTRAND 2010, Seite 220 ff. sowie SCHRAMM et al. 1997, Seite 47 ff.

[1347] Vgl. FRIETSCH et al. 2005, Seite 1 f. sowie OECD 2009, Seite 66 ff.

[1348] Vgl. GRILICHES 1998, Seite 296 sowie AUDRETSCH/KEILBACH 2011, Seite 249

[1349] Vgl. VAN ZEEBROECK 2011, Seite 33 ff. und DAIM et al. 2006, Seite 981 und OECD 2009, Seite 135 ff.

hin muss bei Patentdaten berücksichtigt werden, dass der Datenstand eines Auswertungszeitpunktes eine Momentaufnahme abbildet, sodass historische Veränderungen durch Eigentümerwechsel oder Verflechtungen der Eigentümer gesondert zu berücksichtigen sind.
Abschließend bleibt festzuhalten, dass Patente, auch wenn sie nicht das gesamte organisationale Wissen erfassen, dennoch ein verbreiteter und geeigneter **Indikator für technologisches Lernen und Wissen** sind. Aufgrund der vollständigen Auflistung aller Patentanmelder bzw. Erfinder ermöglichen sie auch die **Analyse kooperativer Verflechtungen**.[1350] In den für die Elektrifizierung des automobilen Antriebs wesentlichen technologischen Feldern der chemischen Industrie, der Elektrotechnik und des Maschinenbaus wurde zudem eine hohe (80 %) bzw. in der Automobilindustrie eine mittlere (66 %) Patentierungsneigung festgestellt.[1351]

4.2 Rekonfiguration der technologischen Wissensbasis

Der technologisch diskontinuierliche Wandel vom konventionellen zum elektrischen Antrieb erzwingt eine tiefgreifende Transformation der technologischen Wissensbasis. Wie in Kapitel 3 herausgearbeitet, sieht sich das bisherige technologische Regime dabei einem graduellen Rekonfigurationsprozess gegenüber, während sich Herausforderer, zum Teil auf Grundlage von wesentlichen Vorkenntnissen, auf die Exploration elektrischer Alternativen fokussieren. Das systemische Verständnis der Designhierarchie des Automobils verdeutlicht indessen die vorübergehend exponierte Bedeutung des Teilsystems Antrieb bzw. dessen technologischer Entwicklung.[1352] Die Elektrifizierung des automobilen Antriebs ist in diesem Kontext auf Gesamtsystem- bzw. Fahrzeugebene als modulare Innovation sowie auf Teilsystem- bzw. Antriebsebene als eine architektonische Innovation zu interpretieren.[1353] Ein vertieftes Verständnis der bevorstehenden Transformation der technologischen Wissensbasis lässt sich insbesondere durch eine Untersuchung auf Teilsystem- und Modulebene des Antriebs gewinnen.[1354]
Der direkte **Vergleich zwischen konventionellem und elektrischem Antriebsdesign** verdeutlicht, dass zahlreiche Module und Komponenten entfallen, sich verändern oder neu hinzukommen, wobei sich die Anzahl der Bauteile vom konventionellen zum batterieelektrischen Antrieb von 1.400 auf 200 reduzieren wird.[1355] Wie Tab. 4-2 verdeutlicht, sind neben den in Abschnitt 3.3.3 erörterten Modulen auch abhängige Systeme (Nebenaggregate und Komponenten) betroffen.

[1350] Vgl. OECD 2009, Seite 26
[1351] Vgl. MANSFIELD 1986, Seite 177. Die Prozentsätze beziehen sich auf den Anteil der patentierten an den patentfähigen Lösungen der jeweiligen Industrie.
[1352] Vgl. zu interdependenten technologischen Zyklen auf System- und Teilsystemebene Absatz 3.3.3.1
[1353] Vgl. Absatz 2.2.1.2. Diese Argumentation geht von einem *Conversion-Design* aus.
[1354] Vgl. zu Funktionsprinzip und Modularität des konventionellen Antriebs Absatz 3.3.3.2, des elektrischen Antriebs Absatz 3.3.3.3 und hybrider Antriebe Absatz 3.3.3.4
[1355] Vgl. BERNHART/ZOLLENKOP 2011, Seite 287

Modul- und komponentenbezogene Auswirkung der Elektrifizierung des Antriebs (Beispiele)		
entfällt	stark verändert	neu
Kraftstofftank inkl. - Tankgefäß - Kraftstoffpumpe - Leitungssystem	Lenkung inkl. - hydraulische Pumpe - hydraulischer Aktuator - Hydraulikleitungen	Wasserstoffspeicher inkl. - Tankgefäß - Isolation - Drucktechnik inkl. Ventile
Verbrennungsmotor inkl. - Starter - Kurbelgehäuse und -welle - Kolben, Pleuel und Laufbuchsen - Einspritzsystem und Ventile - Nockenwellen - Zylinderkopf - Ölpumpe - Lager und Schmierung - Kühler und Kühlkreislauf - Turbolader bzw. Kompressor - Motorsteuerung	Getriebe inkl. - Gehäuse - Zahnräder - Schaltung - Kugellager - Schmierung	Traktionsbatterie inkl. - Zellen - Batteriemanagement - Gehäuse - Kühl- und Heizsystem - Ladegerät - Sicherheitssysteme
	Bremse inkl. - Bremskraftverstärker - mechanische Pedalerie	Brennstoffzellensystem inkl. - Brennstoffaufbereitung - Brennstoffzuführung - Brennstoffzellenstack - unterstützende Komponenten
Abgasanlage inkl. - Krümmer und Rohre - Abgasnachbehandlung	Heizung, Klimatisierung und thermische Isolation	Leistungselektronik inkl. - Stromrichter - Spannungswandler
Kupplung		Elektrische Maschinen inkl. - Rotor - Stator
Lichtmaschine		
…	…	…

Tab. 4-2: Entfallende, veränderte und neue Module sowie Komponenten[1356]

So entfällt bspw. die Kupplung, weil Elektromotoren ihr Drehmoment bereits aus dem Stillstand zur Verfügung stellen können. Auch die herkömmliche Abgasanlage ist nicht mehr erforderlich, da eine Gasführung nur bei Brennstoffzellen benötigt wird, dort jedoch gänzlich andere Anforderungen hat. Aufgrund der hohen Verfügbarkeit elektrischer Energie im System entfällt auch der riemengetriebene Generator (Lichtmaschine). Hydraulische Lenkung und Bremsanlage werden durch elektrische Systeme ersetzt.[1357] Eine weitreichende Anpassung erfahren auch Heizung und Klimatisierung, die ebenfalls elektrisch ausgeführt werden müssen.[1358] Da diese thermischen Komfortfunktionen erhebliche Energiemengen benötigen, kommt dem bisher weitgehend vernachlässigten Aspekt der thermischen Isolation des Automobils künftig größere Bedeutung zu. So reduziert sich die Reichweite von Elektrofahrzeugen

[1356] Eigene Darstellung

[1357] Eine Bremsanlage bleibt trotz Rekuperation erforderlich, da die benötigte Bremsleistung die Rekuperationsleistung elektrischer Systeme übersteigt. Zudem sei angemerkt, dass die Bremsanlage als Beispiel gradueller Rekonfiguration von Nebenaggregaten dienen kann, da hier ein Wandel von hydraulischen, über elektrohydraulische zu elektrischen Systemen zu erwarten ist. Vgl. WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 144

[1358] Die bisher zum Heizen des Innenraums genutzte Abwärme des Verbrennungsmotors entfällt.

im Stadtverkehr durch den Betrieb von Nebenaggregaten, wie z. B. thermischen Komfortsystemen, im Sommer um ca. 40 % und im Winter sogar um ca. 50 %.[1359]

Da innerhalb dieser Dynamik hydraulische und mechanische **Wirkprinzipien** vielfach durch elektromagnetische und -chemische ersetzt werden, verlieren Kompetenzen insbesondere in den Bereichen Thermodynamik und Werkstoffe an Bedeutung, wohingegen die technisch-naturwissenschaftlichen Qualifikationsbereiche der Chemie, der Elektronik, der Mechatronik sowie der Steuerungs- und Regelungstechnik massiv an Relevanz gewinnen.[1360] Mit Blick auf die Batterieentwicklung ist v. a. der Kompetenzbereich der Elektrochemie von exponierter Bedeutung.[1361] Diese Veränderungen erfordern eine **Transformation der technologischen Wissensbasis** von konventionellem zu elektrischem Antrieb. Das dazu benötigte Wissen liegt jedoch außerhalb des klassischen Kompetenzkerns der Automobilhersteller.[1362] Relevante Vorkenntnisse liegen eher bei den Automobilzulieferern oder außerhalb der Automobilindustrie, was die Hersteller zu einer strategischen Neuausrichtung ihrer Technologieportfolios zwingt.[1363] Übergreifend ist zu berücksichtigen, dass die graduelle Rekonfigurationscharakteristik über die hybride Zwischenphase, an Stelle einer reinen Verschiebung, zu einer vorübergehenden **Ausweitung der technologischen Wissensbasis** führt. Während die Exploitation des bisherigen technologischen Antriebsparadigmas eine Fortführung der **Vertiefung** dieses Kompetenzfeldes erfordert, bedingt die parallele Exploration elektrischer Alternativen sowohl eine **Verbreiterung** als auch technologiespezifische Vertiefungen in den genannten Kompetenzbereichen.[1364] Insgesamt ergibt sich somit eine deutliche **Vergrößerung** der Basis benötigten technologischen Wissens, die durch die hybride Kombinatorik eine zusätzliche Erweiterung auf architektonischer Ebene erfährt. Die **Durchsetzung des elektrischen Antriebs als technologisches Paradigma** wird dieser Ausweitungsdynamik letztlich ein Ende bereiten, wobei eine Eingrenzung der relevanten Wissensbasis auf das Kompetenzfeld des neuen Paradigmas erfolgt, deren exploitative Vertiefung dann wiederum im Mittelpunkt steht. Dieser Schritt wirkt auf die technologische Wissensbasis zum konventionellen Antrieb schließlich entwertend (*competence destroying*).[1365] Der radikale technologische Wandel zu elektrischen

---

[1359] Vgl. HESSE et al. 2012, Seite 101. Bezogen auf den Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) ergeben sich Reichweitenreduktionen von ca. 20 % im Sommer bzw. etwa 40 % im Winter.

[1360] Vgl. BERNHART/ZOLLENKOP 2011, Seite 286 f. und BARTHEL et al. 2010, Seite 34 sowie WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 137 und Seite 152

[1361] Vgl. HEYMANN et al. 2011, Seite 9 f.

[1362] Vgl. KLOSE et al. 2011, Seite 54

[1363] Vgl. KASPERK 2012, Seite 392

[1364] Die Tiefe einer technologischen Wissensbasis bezieht sich auf das Wissen zu einer Technologie (technologische Spezialisierung), ihre Breite auf das Wissen zu verschiedenen Technologien (technologische Interdisziplinarität) und ihre Größe auf den Gesamtumfang.

[1365] Vgl. Absatz 2.2.1.2. Besonders anschaulich lässt sich dieser Verlauf am Beispiel des Getriebes nachvollziehen, dessen mehrstufige Ausprägung bereits im konventionellen Antrieb umfangreiches technologisches Wissen erfordert. Aufgrund der getriebebasierten Koppelung der Antriebssysteme in hybriden Designs er-

Antrieben erfährt durch die graduelle Rekonfiguration somit eine Inkrementalisierung. Diese technologische Dynamik verdeutlicht sowohl die Bedeutung der **Dynamisierung von Fähigkeiten und organisationalen Wissensbasen** als Selektionskriterien technologischen Wandels, als auch die Fähigkeit zu **organisationaler Beidhändigkeit** aus Exploration und Exploitation.

Die dargestellte Verschiebung des technologischen Schwerpunkts im automobilen Antrieb deutet sich bereits in früher Phase der Elektrifizierung an und wird im Folgenden **empirisch veranschaulicht**.[1366] Dazu wird die Anzahl der Patentoffenlegungen eines etablierten Automobilherstellers, hier beispielhaft der Daimler AG, hinsichtlich ihres Bezugs auf konventionellen und elektrischen Antrieb ausgewertet. Das zu Grunde liegende Datenset enthält alle Erstveröffentlichungen des Automobilherstellers der Jahre 1991 (397), 2001 (1210) und 2011 (1911) am Deutschen Patent- und Markenamt (DPMA).[1367] Der technologische Bezug zu konventionellem und elektrischem Antrieb wird durch eine Kombination aus IPC-Klassenzuordnung und abstractbezogener Schlagwortsuche hergestellt.[1368] Dabei fokussiert die **klassenbezogene Auswertung (Schritt 1)** auf die Kompetenzfelder, welche für Forschung, Entwicklung und Herstellung konventioneller oder elektrischer Antriebssysteme maßgeblich sind. Kompetenzen, die für beide Systeme relevant sind, werden ebenso wie die Bereiche des Abbaus und der Aufbereitung von Rohstoffen sowie Mess- und Prüfverfahren nicht einbezogen. Während bei Entwicklung und Herstellung konventioneller Antriebe Kompetenzen in den Klassen *Kraft- und Arbeitsmaschinen* (F01) sowie *Brennkraftmaschinen* (F02) wesentlich sind, erfordern elektrische Antriebe einen Schwerpunkt in den Klassen *grundlegender elektrischer Bauteile* (H01) sowie der *Erzeugung, Umwandlung oder Verteilung von elektrischer Energie* (H02).[1369] Die **ergänzende Schlagwortsuche (Schritt 2)** bezieht sich sowohl auf die Teilsystem- als auch die Modulebene konventionellen und elektrischen Antriebs.[1370] Eine Mehrfacherfassung wird durch eine Schlagwortsuche nur außerhalb der IPC-Klassen F01, F02, H01 und H02 sowie, im Falle von schlagwortbasierten Mehr-

---

weitern sich die für dieses Modul erforderlichen technologischen Kompetenzen temporär, wohingegen sie sich zur einstufigen Ausführung im elektrischen Antrieb letztlich massiv reduzieren.

1366 Vgl. zur Eignung von Patentdaten als Lern-, Wissens- und Innovationsindikatoren Teilkapitel 4.1

1367 Die akteursbezogene Filterung erfolgt durch Anwendung der Suchworte *Daimler* und *Mercedes* auf das Feld *Patentanmelder*, die Beschränkung auf die selektierten Jahre durch das Feld *Publikationsjahr*. Um alle Erstveröffentlichungen (*Publikationstyp*) zu erfassen und dabei Doppelzählungen zu vermeiden, erfolgt eine Einschränkung auf Offenlegungen (*A1*) sowie Erteilungen ohne Vorab-Offenlegung (*B3* und *C1*). Vgl. DPMA 2009, Seite 11 f. und 19 f. sowie 24 f.

1368 Diese Vorgehensweise wird auch in der Literatur empfohlen. Vgl. OECD 2009, Seite 88

1369 Die klassenbezogene Auswertung liefert mit Bezug auf die konventionellen Kompetenzfelder Trefferzahlen von 85 (1991), 210 (2001) und 269 (2011), bezogen auf die elektrischen Kompetenzfelder 34 (1991), 129 (2001) und 251 (2011). Für eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse vgl. Anhang 4

1370 Die schlagwortbezogene Auswertung liefert mit Bezug auf die konventionellen Kompetenzfelder Trefferzahlen von 34 (1991), 98 (2001) und 129 (2011), bezogen auf die elektrischen Kompetenzfelder 6 (1991), 26 (2001) und 140 (2011). Für Details, inkl. einer Aufstellung der verwendeten Schlagworte, vgl. Anhang 4

fachtreffern, durch eine abstractbasierte Einzelzuordnung sichergestellt. Das Kompetenzfeld der Getriebetechnik wird aufgrund dessen höherer Komplexität im konventionellen Antrieb diesem zugeordnet.[1371] Das aggregierte Ergebnis der Untersuchung veranschaulicht Abb. 4-1. Eine detaillierte Aufstellung der Trefferzahlen auf IPC-Klassen- und Schlagwortebene findet sich in Anhang 4.

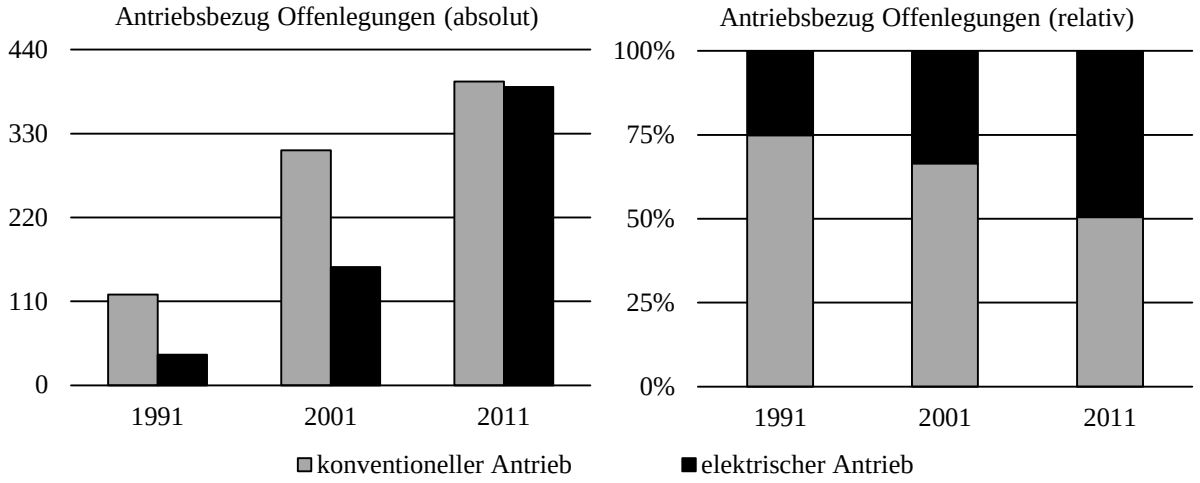


Abb. 4-1: Dynamik antriebsbezogener Offenlegungen am Beispiel der Daimler AG[1372]

Im Ergebnis fällt auf, dass die Anzahl der Patentoffenlegungen zu beiden Alternativen stark ansteigt. Obwohl der Anteil der auf den elektrischen Antrieb bezogenen Veröffentlichungen in den ersten zehn Jahren um 115 (288 %) zunimmt, fällt der Zuwachs bezogen auf den konventionellen Antrieb mit 189 (159 %) absolut höher, prozentual jedoch geringer aus. Die in diesem Zeitraum noch rein relative Aufholcharakteristik verstärkt sich in der zweiten Dekade soweit, dass der Zuwachs bzgl. des elektrischen Antriebs mit nun 236 Offenlegungen (152 %) gegenüber dem konventionellen mit 90 (29 %) nun auch relativ deutlich höher ausfällt. Es ist demnach eine **abnehmende Dynamik der Vertiefung der Wissensbasis zum konventionellen Antrieb** und eine **exponentielle Verbreiterung und Vertiefung zum elektrischen Antrieb** festzustellen. Der relative Anteil der auf den elektrischen Antrieb bezogenen Erstveröffentlichungen steigert sich von 25 % (1991) über 33 % (2001) auf 50 % (2011), wobei mittlerweile von einem Übergewicht der auf den elektrischen Antrieb bezogenen Aktivitäten auszugehen ist. Diese Dynamik verdeutlicht, dass Automobilhersteller den bevorstehenden technologischen Paradigmenwechsel bereits durch aktive Exploration zu gestalten suchen. Trotz der noch frühen Phase der technischen Rekonfiguration, die beispielhaft am geringen Anteil

[1371] Die hohe Relevanz des Getriebes bei der Hybridisierung und die resultierend hohe Patentierungsneigung und -aktivität zu diesem Modul verleiht dieser Analyse einen eher konservativen, d. h. auf den konventionellen Antrieb bezogenen, Zuordnungscharakter.

[1372] Eigene Darstellung. Für Details vgl. Anhang 4

hybrid und elektrisch angetriebener Fahrzeuge von 0,2 % (72.000 von 43 Mio.) in Deutschland deutlich wird, weiten sich die technologischen Anstrengungen der Industrie unter Verlagerung des Schwerpunktes bereits aus.[1373] Eine besondere Rolle nehmen in diesem Kontext Batterie und Brennstoffzelle ein, die aufgrund geringer technologischer Reife und hoher Kosten die Dynamik technischen Wandels reduzieren.[1374] Die für Funktionsprinzip, Entwicklung und Herstellung dieser Module maßgeblichen Kompetenzfelder der Elektrochemie und -technik spielten innerhalb des bisherigen Paradigmas automobilen Antriebs eine stark untergeordnete Rolle, sodass dem Aufbau entsprechenden Wissens nun eine strategische Bedeutung zukommt. Die auf diese Schlüsselmodule bezogenen Anstrengungen der Automobilhersteller können ebenfalls anhand der **Explorationsaktivitäten** der Daimler AG verdeutlicht werden. So zeigt eine Schlagwortsuche über das oben beschriebene Datenset für die **Batterie** einen massiven Anstieg der Erstveröffentlichungen von 4 (1991) über 10 (2001) auf 143 (2011), mit Zuwächsen von 6 (150 %) sowie 133 (1330 %).[1375] Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der **Brennstoffzelle**, bei der das Aktivitätsniveau ausgehend von keiner Offenlegung (1991) über 21 (2001) auf 127 (2011) ansteigt, mit Zuwächsen von 21 sowie 106 (505 %). Diese Dynamik unterstreicht beispielhaft sowohl die Bedeutung beider Module innerhalb der Transformation, als auch die Explorationsintensität der Automobilhersteller zur strategischen Verbreiterung ihrer technologischen Wissensbasis. Insgesamt steigt die Anzahl an Erstveröffentlichungen zu konventionellem und elektrischem Antrieb, wobei letzterer komparativ an Bedeutung gewinnt.[1376] Dies bestätigt die erörterte technologische Rekonfigurationscharakteristik, im Rahmen derer sich die erforderliche Wissensbasis einerseits zum konventionellen Antrieb vertieft und andererseits zum elektrischen Antrieb ausweitet.

Aus der Transformation der technologischen Wissensbasis resultieren, in Verbindung mit den Phänomenen des Entfalls, der Veränderung und der Neueinführung technischer (Teil-) Systeme, umfangreiche Veränderungen in den **Qualifikationsanforderungen an die Beschäftigten**.[1377] Prognosen gehen bis 2031 von weltweit 420.000 zusätzlichen Arbeitsplätzen im Bereich automobiler Antriebstechnik aus (davon 110.000 in Europa), wobei der Zuwachs nahezu ausschließlich auf die Kompetenzbereiche der Chemie und Elektrotechnik entfällt, während die erforderliche Anzahl an Beschäftigten mit Schwerpunkten in den Bereichen Mechanik

[1373] Dies entspricht gegenüber dem Jahr 2012 bereits einer deutlichen Steigerung von 0,1 %. Vgl. KBA 2013
[1374] Vgl. Absatz 3.3.3.3 sowie Tab. 3-3
[1375] Die modulbezogen verwendeten Suchworte entsprechen denen in Anhang 4.
[1376] Vgl. STAHLECKER et al. 2011, Seite 68 f., die bei einer Analyse am Europäischen Patentamt (EPA) sinkende Aktivitätsraten zu konventionellen und steigende Aktivitätsraten zu hybriden Antrieben feststellen.
[1377] Vgl. zur Interdependenz von Innovation und Beschäftigung EBERSBERGER/PYKA 2002, die, unter Differenzierung zwischen intensiver Exploitation und extensiver Exploration, eine Untersuchung der Sichtweisen der *Beschäftigung trotz Innovation* und *Beschäftigung durch Innovation* vornehmen. Zu technologischer Arbeitslosigkeit vgl. HAGEMANN 1995, Seite 36 ff. Für eine tiefergehende Analyse der Beschäftigungsauswirkungen der Elektrifizierung des automobilen Antriebs vgl. SPATH et al. 2012

und Produktion stagniert.[1378] Mit Blick auf die Automobilzulieferer wird bis 2020 global die Entstehung eines Komponentenmarktes mit einem Volumen von 75 Mrd. € und 250.000 neuen Arbeitsplätzen vorhergesagt, wobei im Gegenzug 14 Mrd. € Jahresumsatz und 46.000 Arbeitsplätze im Bereich des konventionellen Antriebs entfallen werden.[1379] In Deutschland sieht die *Nationale Entwicklungsplattform Elektromobilität (NPE)* im Bereich der Elektromobilität bis 2020 ein Potenzial von bis zu 30.000 zusätzlichen Arbeitsplätzen.[1380]

Es bleibt festzuhalten, dass die analysierte technologische Diskontinuität mit massiven **Auswirkungen auf die erforderliche technologische Wissensbasis** einhergeht, da thermodynamische und hydraulische Wirkprinzipien überwiegend durch elektrochemische und -magnetische ersetzt werden. Die Charakteristik der hybriden Übergangsphase führt durch die Simultanität exploitativer Vertiefung und explorativer Verbreiterung zu einer temporären Ausweitung der technologischen Basis, die durch die Kombinatorik der Antriebe eine zusätzliche Erweiterung auf architektonischer Ebene erfährt. Diese Dynamik konnte beispielhaft anhand der Patentierungsaktivitäten eines etablierten Automobilherstellers nachgewiesen werden. Die Durchsetzung des elektrischen Antriebs als technologisches Paradigma wird jedoch langfristig wieder zu einer Eingrenzung der technologischen Wissensbasis führen, was mit kompetenzentwertenden Wirkungen hinsichtlich des konventionellen Antriebs einhergeht.[1381] Speziell für die Akteure des etablierten technologischen Regimes ergeben sich daraus die Anforderungen der Dynamisierung der organisationalen Wissensbasis sowie organisationaler Beidhändigkeit, um die Rekonfigurationsphase als Lernplattform für den Eintritt in einen neuen technologischen Zyklus unter Erhaltung ihrer dominanten Position nutzen zu können.

4.3 Das Zusammenspiel von Nachfragern, Anbietern und öffentlichem Sektor

Im Rahmen des technischen Wandels automobiler Antriebstechnik vollzieht sich zwischen Nachfragern, Anbietern und öffentlichem Sektor ein interdependent-koevolutorisches Wechselspiel auf Basis ökonomischer, sozialer und ökologischer Parameter. Innerhalb dieses Systems entstehen in Phasen technologischer Diskontinuität besondere Spannungen durch Beharrungskräfte, destruktive Wirkungen und Veränderungsdruck. Während die Dynamik der Nachfrage einen *market pull* verursacht (Abschnitt 4.3.1), vollziehen die Anbieter eine tech-

---

[1378] Vgl. SPATH et al. 2012, Seite 11 sowie MCKINSEY 2011, Seite 15

[1379] Vgl. BMU 2009, Seite 5. Von den Reduktionseffekten entfallen ca. 25 % auf deutsche Zulieferer, die sich somit der Herausforderung gegenübersehen, diesen Effekt durch Potenzialerschließung zu kompensieren.

[1380] Vgl. NPE 2012, Seite 7

[1381] Bezogen auf die Transilienzdimensionen von Innovation ergibt sich ein differenziertes Bild. Während sich durch die Antriebselektrifizierung technologisch eine Ab- bzw. Entwertung vorhandener Kompetenzen vollzieht, zeigt sich bzgl. vorhandener Verbindungen zu Kunden eine bewahrende Wirkung, was insgesamt eine Einstufung als revolutionäre Innovation führt. Auf der Ebene der Elektromobilität erfolgt hingegen oftmals eine verkettete Betrachtung der Elektrifizierung des Antriebs mit dem Trend zu einer integrierten Vermarktung von Mobilität, woraus sich zusätzlich eine kundenbeziehungsentwertende Wirkung ergibt. Resultat dessen ist eine architektonische Neuerung im Sinne von ABERNATHY/CLARK 1985. Vgl. Absatz 2.2.1.2

nologische Lösungssuche bzw. einen *technology push* (Abschnitt 4.3.2).[1382] Der öffentliche Sektor hingegen verfolgt die Zielsetzung politischer Stimulation der Transformation durch *regulatory catalysis* (Abschnitt 4.3.3). Abb. 4-2 veranschaulicht die Interdependenz dieser Akteure im Rahmen technischen Wandels.

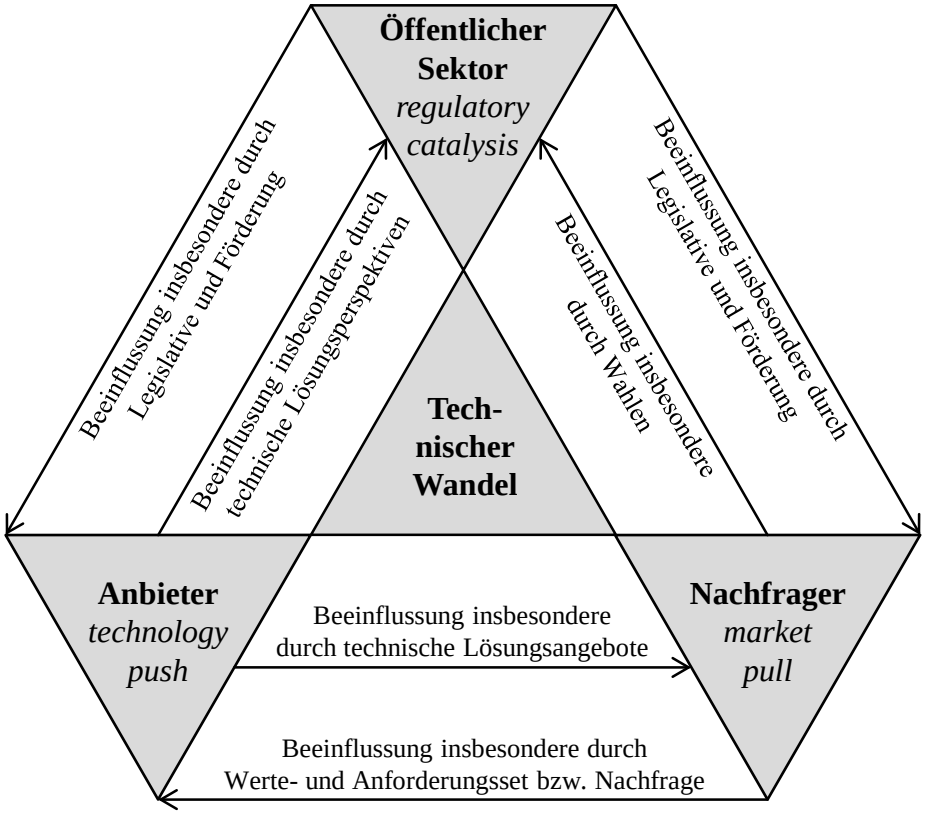


Abb. 4-2: Technischer Wandel aus *market pull*, *technology push* und *regulatory catalysis*[1383]

4.3.1 Werte- und Anforderungsset der Nachfrage (*market pull*)

Der Nachfrage kommt im Rahmen von technischem Wandel und Innovation die Rolle des *market pull* bzw. *demand pull* zu,[1384] wobei enge Wechselwirkungen mit Anbietern und öffentlichem Sektor bestehen. Bezogen auf die hier untersuchte technologische Diskontinuität entstehen nachfrageseitige Veränderungsimpulse sowohl aus der übergeordneten Ebene sozialen Wandels als auch aus den Übernutzungseffekten des etablierten technologischen Paradigmas.[1385] Die resultierende Dynamik des Werte- und Anforderungssets der Nachfrage erzeugt

[1382] Vgl. zur prozessualen Dimension von Innovation sowie den Modellen des *technology push*, *market pull*, *coupling model*, *integrated model* und *systems integration and networking model* Absatz 2.2.1.3
[1383] Eigene Darstellung
[1384] Vgl. zur Rolle der Nachfrage im Innovationsprozess Absatz 2.2.1.3
[1385] Vgl. Abschnitt 3.2.1

Innovations- und Handlungsdruck auf Anbieter und Politik.[1386] Das etablierte Paradigma wird ökologisch, ökonomisch und sozial destabilisiert, seine Nachhaltigkeit schwindet. Da sich Konsumentscheidungen jedoch primär an der technisch-ökonomischen Ebene des Kosten-Nutzen-Verhältnisses ausrichten, ist der Nachfrage eine grundsätzliche Technologieoffenheit zu attestieren. Dennoch wirkt sich die Selektion von Technik auf die zu Grunde liegenden Technologien aus, sodass indirekt auch auf der technologischen Ebene eine Auswahl erfolgt, die zur Durchsetzung einer technologischen Paradigma-Trajektorie-Kombination führt. Im Rahmen technologischer Diskontinuitäten müssen alternative Basisdesigns demnach aus Nachfragesicht ein besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis als das bisherige technologische Paradigma anbieten, um sich durchzusetzen. Dabei sind **Kosten und Nutzen dynamisch** und hängen u. a. von technologischer Reife, technischen Funktionsprinzipen, institutionellen und sozialen Aspekten ab. Während das etablierte Antriebsparadigma durch steigenden Ölpreis und institutionelle Regelungen eine zunehmende ökonomische Destabilisierung erfährt,[1387] sinken im Gegenzug die Kosten der elektrischen Basisdesigns durch technologischen Fortschritt und institutionelle Faktoren.[1388] Zudem reduziert sich der wahrgenommene Nutzen des konventionellen Antriebsparadigmas aufgrund ökologischer und sozialer Aspekte,[1389] wohingegen der des elektrischen Basisdesigns aufgrund von technischem Fortschritt, Wertewandel, Demographie, Umwelt- und Nachhaltigkeitsorientierung steigt. Neben dieser Dynamik ist allerdings auch die **Heterogenität der Nachfrage** zu berücksichtigen, die sich entsprechend des wirtschaftlichen Entwicklungsstands von Volkswirtschaften gliedern lässt. So besteht in Dienstleistungsgesellschaften (Triade) die Forderung nach einer qualitativen Umwälzung des Fahrzeugmarktes von degenerativer zu nachhaltiger Technik, wobei der Fahrzeugbestand nur geringfügig zunehmen wird.[1390] Demgegenüber zeichnet sich in den Schwellenländern (*emerging markets*, *BRIC-Staaten*) eine kombiniert quantitative wie qualitative Entwicklung des Automobilmarktes ab, wobei sich der Fahrzeugbestand massiv erhöht und zunehmend auch qualitative Aspekte Berücksichtigung finden.[1391] In den Entwicklungsländern bezieht sich die Nachfrage auf die grundlegende Befriedigung des Bedürfnisses nach Mobilität, wobei techno-ökonomische Aspekte wie Kosten und Zuverlässigkeit dominieren und somit von einer quantitativen Entwicklung des Fahrzeugbestandes auszugehen ist.

[1386] Vgl. DOSI/NELSON 2009, Seite 21

[1387] Vgl. zur ökonomischen Destabilisierung durch die Ölpreisentwicklung Absatz 3.2.1.3

[1388] Vgl. zum technologischen Status und den Herstellkosten elektrischer Antriebe Absatz 3.3.3.3

[1389] Vgl. zu ökologischen und sozialen Destabilisierungswirkungen Absatz 3.2.1.2 und Absatz 3.2.1.4

[1390] Vgl. HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 33. Die Einkommensstrukturen dieser Gesellschaften verbreitern sich in den oberen und unteren Bereichen, während sie in der Mitte zusammengedrückt bzw. erodiert werden. An Stelle der Form einer Pyramide entsteht die Form einer Sanduhr, welche die Nachfrage nach gehobenen Mittel- und Oberklassefahrzeugen sowie nach Low-Cost-Fahrzeugen steigen lässt.

[1391] Vgl. HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 33 und zur Entwicklung des Fahrzeugbestandes Teilkapitel 3.1

Im Rahmen technologischer Diskontinuitäten steht die Nachfrage überdies in engem Zusammenhang mit der **Etablierung technischer Standards**. Inkompatibilitäten mit vorhandener Technik sowie innerhalb neuer technischer Systeme mindern in Kombination mit Qualitäts- und Sicherheitsaspekten den Verbrauchernutzen. Da die Durchsetzung eines technischen Standards abweichende Lösungen ab- bzw. entwertet,[1392] besteht für Nachfrager eine standardbezogene Unsicherheit, die zu Konsumzurückhaltung führt. Dieser Effekt tritt auch bei Elektrofahrzeugen auf und wird durch die Erfordernis von Infrastrukturinvestitionen verstärkt. Eine übergreifende, nachfrageseitige Akzeptanz von Elektrofahrzeugen setzt demnach ein grundlegendes Niveau technischer Standardisierung voraus.[1393]

4.3.2 Technologische Lösungssuche der Anbieter (*technology push*)

Die zunehmende Destabilisierung des etablierten Paradigmas automobilen Antriebs und die korrelierende Dynamik auf Nachfrageseite erzeugen einen wachsenden Innovationsdruck auf die Anbieter,[1394] denen im Rahmen technischen Wandels die Rolle des *technology push* zukommt. Dieser schließt neben der technologischen Lösungssuche (Invention) auch die Kommerzialisierung ein, wobei technologischer Fortschritt in neue Technik inkorporiert und in den Markt gebracht wird (*technology push* durch Innovation), was wiederum die Nachfrage sowie den öffentlichen Sektor beeinflusst. Das Suchverhalten der Anbieter wird sowohl durch ihr Gewinnstreben (Positivmotivation) als auch durch die Bedrohung der Ausselektion durch den Marktmechanismus (Negativmotivation) stimuliert. Es orientiert sich an Werten, Problemen, Anforderungen und Präferenzen der Nachfrage.[1395] So reagiert das technologische Regime des konventionellen Antriebs auf dessen schwindende Nachhaltigkeit vorerst mit **paradigmenspezifischen Stabilisierungsbemühungen** (exploitativer *technology push*).[1396] Diese sind jedoch aufgrund von Funktionsprinzip und technologisch intensiver Erschöpfung zur Bekämpfung der Destabilisierungsursache ungeeignet.[1397] Folglich entsteht ein Zwang zur **Aufweitung des technologischen Suchfeldes** unter der Zielsetzung der Erschließung neuer Felder technologischer Opportunitäten als Grundlage einer alternativen Paradigma-Trajektorie-Kombination (explorativer *technology push*).[1398] In Phasen technologischen Paradigmenwechsels ist es für Anbieter entscheidend, die technologische Diskontinuität zu erkennen und ihre Ursachen zu verstehen, alternative Basisdesigns inkl. deren technologischer Probleme (*trade-offs*) zu identifizieren, die Erfolgsfaktoren der Durchsetzung eines Folgeparadigmas zu

---

[1392] Nicht standardgemäße Technik erfährt im Markt zudem ein geringeres Angebotsniveau an Unterstützungsleistungen, das sich bei Automobilen bspw. auf Werkstätten, Ersatzteile und Zubehör bezieht.
[1393] Vgl. BECKS et al. 2010, Seite 31
[1394] Vgl. Abschnitt 3.2.1
[1395] Vgl. DOSI/NELSON 2009, Seite 21
[1396] Vgl. zu exploitativer Stabilisierung (*sailing ship effect)* Abschnitt 2.3.7
[1397] Vgl. Absatz 3.2.1.5
[1398] Vgl. zu den Auswirkungen auf die Wissensbasis Abschnitt 4.2

ermitteln und die Charakteristik möglicher Transformation abzuleiten.[1399] Im Falle automobilen Antriebs führt dieses Vorgehen unter konsequenter Ausrichtung am Leitbild nachhaltiger Entwicklung bei bisherigem Stand von Wissenschaft und Technik dazu, dass die technologisch noch unreifen, elektrischen Antriebsdesigns auch auf Anbieterseite als vielversprechende Alternative akzeptiert sind.

Um jedoch einer künftigen Destabilisierung dieser Designs vorzubeugen, muss die technologische Exploration die sich abzeichnende **Verschiebung des Rohstoffbedarfs** einbeziehen, wobei zusätzlich zu technologisch-funktionalen Aspekten auch ökonomische, ökologische und soziale (inkl. politische) Aspekte zu berücksichtigen sind.[1400] Ausgehend von einer nachhaltigen Energieversorgung von Elektrofahrzeugen rücken dabei an Stelle des Energieträgers die zum Aufbau des Antriebs erforderlichen Werkstoffe in den Fokus.[1401] Mit Schwerpunkt auf kritische Rohstoffe verfolgen Anbieter einerseits Strategien der Substitution, der Reduktion, der Wiederaufbereitung sowie des Recyclings und versuchen andererseits ihre Versorgung strategisch zu sichern.[1402]

Mit Blick auf ihre technologische Exploration fällt zudem die **Heterogenität der Anbieter** auf, wobei zwischen dem technologischen Regime des bisherigen technologischen Paradigmas und den während der technologischen Diskontinuität in den Markt eintretenden Herausforderern zu unterscheiden ist. Bei den **etablierten Automobilherstellern und -zulieferern** sind Explorationsfähigkeit und -bereich pfadabhängig eingeschränkt.[1403] Dieser Umstand wird, insbesondere unter erhöhter Unsicherheit, durch routine- und strukturbezogene Beharrungskräfte gestützt. Größe und Exploitationsorientierung dieser Unternehmungen führen zu unflexiblen, mechanistischen Zügen, die den Handlungsspielraum interner Entrepreneure einschränken.[1404] Explorationshemmend wirken zudem die bei machtbasierter Verhaltensanweisung geringe Anpassungsfähigkeit sowie der eingeschränkte Zugang zu Informationen bei Partnern außerhalb des Machtbereichs.[1405] Die statische Strukturierung und reduzierte Anreizintensität dieses Koordinationsmechanismus vermindern ferner die (Re-) Aktionsfreudigkeit

---

[1399] Vgl. DOSI 1982, Seite 161

[1400] Ein umfassendes Bewertungskonzept für Rohstoffe bietet die *Kritikalität*. Diese integriert einerseits angebotsseitige Aspekte wie Reservemenge, Abbaukosten und -auswirkungen sowie Versorgungsreichweite und -risiken (geologisch, politisch, ökonomisch, technisch). Andererseits wird auch die Bedeutung auf Nachfrageseite, d. h. Nachfragemenge, Substituierbarkeit sowie Verletzlichkeit von Unternehmen, Branchen und Volkswirtschaften bei Versorgungsausfall berücksichtigt. Vgl. ERDMANN et al. 2011, Seite 11 ff.

[1401] Bei aktuellem technologischem Status weisen unter Bezug auf elektrische Antriebe insbesondere Lithium und Kobalt für Batterien, Neodym und Dysprosium (Seltene Erden) für Permanentmagneten in elektrischen Maschinen sowie Platin, Rhodium und Palladium (Platingruppenmetalle) als Katalysatoren in Brennstoffzellen eine hohe Kritikalität auf. Vgl. ANGERER 2010, Seite 37 f. sowie Abschnitt 4.3.3

[1402] So beteiligte sich bspw. BYD an einem chinesischen Lithiumhersteller, während sich Toyota den Zugang zu argentinischen Lithiumvorkommen sicherte. Vgl. FOURNIER et al. 2012, Seite 414 sowie Abschnitt 3.3.1

[1403] Vgl. zur fokussierenden Wirkung technologischer Paradigmen bzw. trajektoriegeleiteter technologischer Entwicklung Absatz 2.2.3.4 und Absatz 2.2.3.5 sowie Abschnitt 2.3.7

[1404] Vgl. BETSCHINGER 2010, Seite 25 ff. und ROTHWELL 1992, Seite 228

[1405] Vgl. Absatz 2.3.6.2

und die -fähigkeit. Eine hohe Informationsdichte besteht aufgrund technologisch lokalen Lernens bisher lediglich zum konventionellen Antrieb. Das fehlende Vorwissen und die unzureichenden absorptiven Fähigkeiten im technologischen Zielbereich erschweren die explorative Lösungssuche und können zu folgenschweren Fehleinschätzungen hinsichtlich Dynamik und Auswirkungen der technologischen Diskontinuität führen.[1406] Die Verteilung des antriebsbezogenen Wissens in der Automobilindustrie veranschaulicht Abb. 4-3.

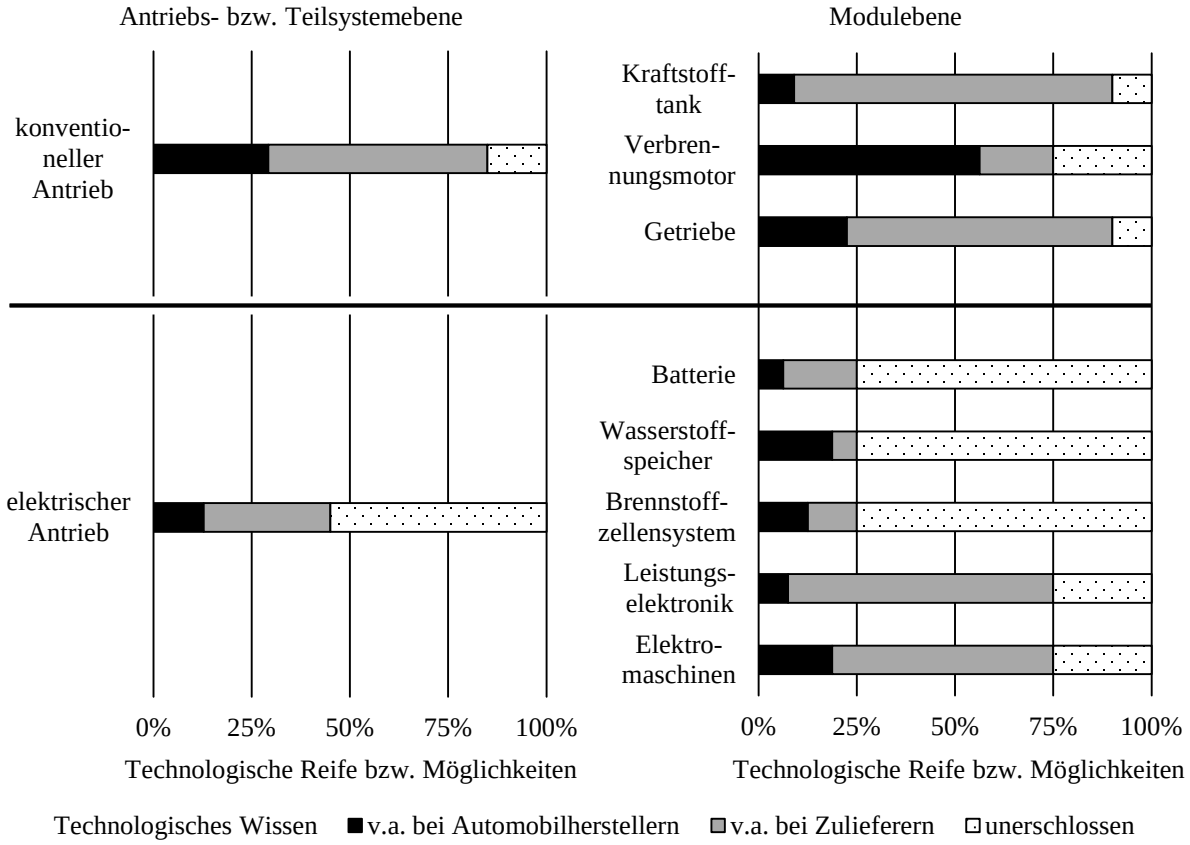


Abb. 4-3: Antriebsbezogene Verteilung des Wissens in der Automobilindustrie[1407]

Es fällt auf, dass der konventionelle Antrieb auf Teilsystem- und Modulebene bereits einen sehr hohen technologischen Reifegrad aufweist. Bei den Automobilherstellern ist eher verbrennungsmotorbezogenes Wissen vorhanden, die Automobilzulieferer verfügen vorwiegend über Wissen bzgl. des Kraftstofftanks und Getriebes.[1408] Ein völlig anderes Bild ergibt sich mit Blick auf den elektrischen Antrieb und seine Module. Während auf Teilsystemebene be-

[1406] Vgl. Teilkapitel 4.2

[1407] Eigene Darstellung auf Basis von Expertenbefragungen sowie WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 138 f. und GERINGER et al. 2012, Seite 26 ff.

[1408] Die modulbezogene Dominanz der Automobilzulieferer wird beispielhaft daran deutlich, dass der Markt für konventionelle Kraftstofftanks international durch vier Zulieferer dominiert wird. Vgl. GERINGER et al. 2012, Seite 30

reits ein durch die Automobilzulieferer dominierter, mittlerer Reifegrad festzustellen ist, zeigt sich die Modulebene heterogen. Leistungselektronik und Elektromaschinen weisen, historisch geprägt durch technologischen Fortschritt außerhalb automobiler Anwendung, bereits einen hohen Reifegrad auf, wobei das entsprechende Wissen maßgeblich bei diversifizierten Zulieferern zu verorten ist. Die technologische Reife von Batterie, Brennstoffzellensystem und Wasserstoffspeicher ist hingegen gering. Während batteriebezogenes Wissen vornehmlich unabhängig vom Automobil erschlossen wurde und ebenfalls bei diversifizierten Zulieferern liegt, ist dieser Zusammenhang beim Wasserstoffspeicher umgekehrt. Das geringe technologische Wissen zu mobilen Brennstoffzellensystemen ist gleichwertig unter Automobilherstellern und -zulieferern verteilt. Insgesamt wird deutlich, dass innerhalb des bisherigen technologischen Regimes zu den techno-ökonomischen Schlüsselmodulen der Batterie und des Brennstoffzellensystems lediglich geringe Vorkenntnisse vorhanden sind. Explorationsbezogen drohen demnach, unter geringen absorptiven Fähigkeiten, *technologische Blindheit*, *not invented here*-Verhalten sowie *kompetenzbezogene Pathologien*. Es bleibt festzuhalten, dass die historische Prägung etablierter Automobilhersteller und -zulieferer im Widerspruch zu den Anforderungen des explorativen Innovationsmodus steht, was krisenhafte Anpassungsprozesse auslösen kann und den Wettbewerb mit den in den Markt eintretenden Herausforderern erschwert.[1409]

In engem Zusammenhang mit der Verteilung technologischen Wissens zwischen Herstellern und Zulieferern steht auch die **Verteilung der Wertschöpfung,** die auf Fahrzeugebene aktuell zu etwa zwei Drittel bei den Zulieferern liegt.[1410] Dieses Verhältnis bestätigt sich auch im konventionellen Antrieb, wo es von 2012 bis 2025 als weitgehend stabil prognostiziert wird, während sich, bezogen auf den elektrischen Antrieb, kompetenzgetrieben eine weitere Steigerung des ohnehin hohen Anteils der Zulieferer von 80 % auf 90 % abzeichnet.[1411] Die zunehmende Elektrifizierung des Antriebs führt zudem von 2008 bis 2018 zu einer Verdoppelung der Wertschöpfung in der Antriebstechnik.[1412] Langfristig wird sich der Wertschöpfungsschwerpunkt aus dem Bereich thermodynamischer Energiewandlung (Metall und Mechanik) in den Bereich elektrochemischer und -magnetischer Energiespeicherung und -wandlung (Chemie, Elektrik und Elektronik) verschieben.[1413] Die Transformation relevanten Wissens zeichnet auch eine Verschiebung von Entwicklungs- und Wertschöpfungsanteilen zu den Herausforderern vor.[1414] Für die bisherige Automobilindustrie lässt sich resümieren, dass sich

[1409] Vgl. DOLATA 2008a, Seite 49 sowie zu den Anforderungen von Exploration Abb. 2-8
[1410] Vgl. WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 145
[1411] Vgl. VDA 2013, Seite 37
[1412] Vgl. HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 177
[1413] Vgl. SPATH et al. 2012, Seite 167
[1414] Vgl. BERNHART/ZOLLENKOP 2011, Seite 287 sowie zur Rekonfiguration der technologischen Wissensbasis von konventionellem zu elektrischem Antrieb für Automobile Teilkapitel 4.2

aus der Kombination von techno-ökonomischem Status mit der Perspektive gradueller technologischer Rekonfiguration zu elektrischen Antrieben (insbesondere für die Automobilhersteller) eine **existenzielle**, **explorative Herausforderung** ergibt. Organisationale Beidhändigkeit, absorptive Fähigkeiten sowie die Dynamisierung von Wissen und Routinen werden dabei zu Erfolgsfaktoren technologischer Neuausrichtung. Kernziel ist der Aufbau einer tragfähigen Wissensbasis zum elektrischen Antrieb, bevor das Wissen zum konventionellen Antrieb entwertet wird.[1415] So erlaubt die hybride Übergangsphase dem technologischen Regime eine Inkrementalisierung radikalen technologischen Wandels unter vorübergehender Aufrechterhaltung ihrer Machtposition und gewährt ein Zeitfenster zur Transformation der trägen Großkonzerne.

Die im Rahmen der technologischen Diskontinuität in den Markt eintretenden **Herausforderer** orientieren sich verstärkt an den veränderten Werten, Problemen, Anforderungen und Präferenzen der Nachfrage und fokussieren auf den explorativen *technology push*. Dabei sind zwei Strategien zu unterscheiden. (1) Bei der ersten wird ein **Überspringen der hybriden Phase des Antriebs** (*technological leapfrogging*) bzw. die direkte Kommerzialisierung von Elektrofahrzeugen angestrebt.[1416] Diese Strategie, die bspw. durch Tesla Motors verfolgt wird, ermöglicht eine Spezialisierung bei reduzierter technologischer und organisationaler Komplexität. Zudem vermeidet sie den kurzfristigen Aufbau von Kompetenzen zum konventionellen Antrieb und zu dessen Kombinatorik mit dem elektrischen, die durch die langfristige Durchsetzung des elektrischen Antriebsparadigmas entwertet werden. Stattdessen erfolgt direkt eine technologisch lokale Kumulation von Wissen bzw. eine Vertiefung der Wissensbasis zum elektrischen Antrieb. (2) Eine zweite Gruppe von Herausforderern verfolgt eine **kombinierte Strategie** der Kommerzialisierung von Elektrofahrzeugen mit dem Angebot von konventionell und hybrid angetriebenen Automobilen. Vertreter dieser Strategie, wie bspw. BYD Auto, streben neben einer dominanten Rolle im zukünftigen Markt für Elektrofahrzeuge auch ein Profitieren vom verbleibenden Wachstum im Bereich verbrennungsmotorbasierter Automobilität, v. a. in den Entwicklungs- und Schwellenländern, an.[1417] Neben dem folglich stärkeren Explorationsfokus sind den Herausforderern gegenüber dem etablierten technologischen Regime jedoch auch überlegene Explorationsvoraussetzungen zu attestieren. Diese ergeben sich einerseits aus dem Besitz technologischer Vorkenntnisse, insbesondere mit Bezug auf die techno-ökonomischen Schlüsselmodule der Batterie und Brennstoffzelle, wie bspw. bei BYD Auto. Vorteile resultieren andererseits oftmals aus geringerer Unternehmensgröße und nicht vorhandener Vorprägung nach technologischer und industrieller Reifecharakteristik,

[1415] So investiert allein die deutsche Automobilindustrie bis 2017 ca. 10 Mrd. € in die Entwicklung elektrischer Antriebe. Vgl. NPE 2012, Seite 8

[1416] Vgl. Absatz 2.3.4.3 sowie HAGEDOORN 1993, Seite 373

[1417] Vgl. zur quantitativen und qualitativen Entwicklung der Nachfrage nach Automobilen in Schwellen- und Entwicklungsländern Abschnitt 4.3.1 sowie zum Wachstum des globalen Fahrzeugbestandes Absatz 3.2.1.2.

woraus sich eine höhere externe Lernorientierung, ein besserer Informationszugang bei unverbundenen Partnern sowie eine höhere Anpassungsfähigkeit ergeben. Insgesamt ist den Herausforderern demnach eine **höhere Explorationsfähigkeit** zu bescheinigen.[1418]

4.3.3 Die Rolle des öffentlichen Sektors (*regulatory catalysis*)

Die Dynamik von Technologie und Technik ist insbesondere in diskontinuierlichen Phasen von techno-ökonomischen, sozio-kulturellen und institutionellen **Beharrungskräften** geprägt, die pfadabhängig *lock-in*-Effekte hervorrufen.[1419] Bezogen auf technologische Diskontinuitäten führen diese Zusammenhänge zu einer erhöhten Resistenz des bisherigen technologischen Paradigmas und Regimes gegenüber Destabilisierungsimpulsen. Aus dieser Trägheit des sozio-technischen Gefüges eröffnet sich ein politisches Handlungsfeld,[1420] im Rahmen dessen **Technologie- und Innovationspolitik** wirksame Veränderungsimpulse und Innovationsanreize erzeugen,[1421] die Überwindung verfestigter Entwicklungspfade fördern und technologische Pfadwechsel begünstigen können.[1422] Im Verlauf technischen Wandels kommt dem öffentlichen Sektor somit eine Mittlerrolle zu, die hier als **regulatory catalysis** bezeichnet wird und sowohl auf Anbieter- als auch auf Nachfragerseite ansetzt.[1423] Politische Maßnahmen sollten dabei als Transformationsrahmen wirken, der eine technologieoffene Stimulation selbstorganisierender und eigendynamischer Such- und Selektionsprozesse ermöglicht, ohne den Wandel zu steuern.[1424] Zur Überwindung von Beharrungskräften bzw. zum Ausbruch aus pfadabhängigem *lock-in* in nicht nachhaltige Technologien und technische Systeme muss die Politik demnach technologische, ökonomische, strukturelle und kulturelle Veränderungsimpulse integrieren.[1425] Dabei ist zu beachten, dass sich die geeigneten politischen Maßnahmen in Such- und Selektionsphasen neuer technologischer Paradigmen deutlich von denen während einer trajektoriegeleiteten Entwicklung unterscheiden.[1426] Ausschlaggebend ist die Förderung dreier institutioneller Faktoren:[1427] (1) Akkumulation wissenschaftlichen und anwendungsorientierten Wissens sowie dessen Kombination durch verbindende Institutionen

---

[1418] Vgl. Abschnitt 2.3.7

[1419] Vgl. zu technischem Wandel Absatz 2.2.1.4

[1420] Vgl. KEMP 1997, Seite 327

[1421] Vgl. CRABB/JOHNSON 2007, Seite 15. Die Autoren weisen nach, dass erhöhte Erdöl- bzw. Energiepreise einen wirksamen Anreiz für effizienzbezogene technologische Anstrengungen bieten.

[1422] Vgl. LINSCHEIDT 1999, Seite 19 sowie DOLATA 2008b, Seite 274

[1423] Auf die in der Literatur verbreitete Bezeichnung des *regulatory push* wird verzichtet, da sie begrifflich eine größere Nähe zum *technology push* der Anbieterseite signalisiert. Die Benennung als *regulatory catalysis* lehnt sich an die chemische Funktion eins Katalysators an, der die Dynamik einer Reaktion durch Senkung der Aktivierungsenergie erhöht, jedoch selbst im Reaktionsverlauf nicht verbraucht wird.

[1424] In der Literatur wird betont, dass politische Förder- und Regulierungsansätze unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten jeweils technikspezifisch zugeschnitten werden müssen. Vgl. DOLATA 2008b, Seite 274 f.

[1425] Vgl. MULDER et al. 1999, Seite 30 und DOLATA 2007, Seite 15 f.

[1426] Vgl. DOSI 1982, Seite 160, der dies mit der Berücksichtigung der *Bürde des Vorreiters* begründet.

[1427] Vgl. DOSI 1982, Seite 160. Zur zentralen Rolle institutioneller Innovationen als Grundlage nachhaltiger Entwicklung im gesellschaftlichen Innovationsprozesses vgl. auch KRÜGER/BIZER 2009, Seite 12

(*bridging institutions*), (2) politische Stimulation von akteurs- und technologiebezogener Heterogenität bei weitreichender Exploration und (3) Einbringen von Selektions- und Fokussierungseffekten als Entwicklungsleitplanken aus nicht-ökonomischen Interessen.[1428] Insgesamt kann der öffentliche Sektor durch *regulatory catalysis* sowohl den *technology push* als auch den *market pull* stimulieren und somit die Dynamik technologischen wie technischen Wandels erhöhen.[1429] Im Gegenzug besteht die **Gefahr politischer Fehllenkung** bzw. der Einengung von Explorationsbereich und -dynamik, die zur Fehlallokation von Ressourcen, zu asymmetrischer Regionalentwicklung sowie zum Abrücken von Grundlagenforschung zu Gunsten anwendungsorientierter Forschung führen kann.[1430] Diese Tendenzen werden v. a. bei diskontinuierlicher Entwicklung durch institutionelle Pfadabhängigkeiten und Beharrungskräfte sowie den Einfluss von Interessengruppen (Lobbying) gestützt. Negative Konsequenzen können sowohl institutionelle Stabilisierung als auch Selektion technologisch inferiorer Pfade sein.[1431]

Stimulation des *technology push*

Bezogen auf *technology push* und Angebot stehen einerseits die technologische Exploration (Inventionsbezug) und andererseits die Kommerzialisierung (Innovationsbezug) im Fokus. Ein grundlegendes Konzept ist die finanzielle **Förderung von F&E**,[1432] der v. a. als Anreiz für Umwelt- und Nachhaltigkeitsinnovationen ein zentraler Stellenwert zukommt.[1433] Die übliche Veröffentlichung des in subventionierten Forschungsprojekten erschlossenen Wissens begünstigt zudem den vorwettbewerblichen Wissenstransfer (*Spillover*) sowie *cross-fertilization*-Effekte und erschließt Synergien. Während der öffentliche Sektor Grundlagenforschung und verbindende Institutionen zu erheblichen Anteilen finanziert oder selbst betreibt, ist bei der durch privatwirtschaftliche Akteure betriebenen, anwendungsorientierten F&E eine anteilige finanzielle Förderung zur Stimulation ausreichend. Die Subvention der technologischen Exploration alternativer Antriebe für Automobile erfolgt mittlerweile, aus den in Teilkapitel 3.3 dargelegten Gründen, weltweit technologiefokussiert auf den elektri-

[1428] Die politische Berücksichtigung nicht-ökonomischer Interessen kann bspw. durch eine Ausrichtung am Leitbild der Nachhaltigkeit erfolgen, um ökonomische, soziale und ökologische Faktoren auszubalancieren.

[1429] Vgl. NEMET 2009, Seite 702 und OLTRA/SAINT JEAN 2009, Seite 570 f. sowie MOWERY/ROSENBERG 1979, Seite 147. In der Literatur wird zudem betont, dass ein Ansetzen auf nur einer Seite des Marktes insbesondere dann nicht erfolgversprechend ist, wenn die Ziele Wachstum und Beschäftigung gleichermaßen erreicht werden sollen. Vgl. SEITER 2005b, Seite 41 ff.

[1430] Vgl. LINSCHEIDT 1999, Seite 19 und DOLATA 2008b, Seite 272

[1431] Beispiel institutioneller Stabilisierung inferiorer Entwicklungspfade ist die globale Subvention fossiler Energieträger, die in den letzten Jahren auf 300-500 Mrd. USD geschätzt wurde. Vgl. WBGU 2011, Seite 4

[1432] Der relative Beitrag der Wissenschaft zur technologischen Entwicklung stieg seit der industriellen Revolution, wobei die vorhandene Wissensbasis zu erheblichen Teilen aus öffentlich geförderter Forschung entstand. Vgl. DOSI/NELSON 2009, Seite 19

[1433] Vgl. FOXON/KEMP 2006, Seite 127 ff.

schen Antrieb. So förderte die Europäische Union im Rahmen der *Green Cars Initiative* die Entwicklung umweltfreundlicher Automobile im Zeitraum von 2011 bis 2013 mit 1 Mrd. €, wobei weitere 4 Mrd. € als Kredite zur Verfügung gestellt wurden.[1434] In den USA werden seit 2008 Kredite in Höhe von 25 Mrd. USD für Produktionsanlagen umweltfreundlicher Automobile zur Verfügung gestellt, die Forschung zur Batterietechnologie mit 2 Mrd. USD subventioniert und Demonstrationsvorhaben zur Infrastruktur mit 400 Mio. USD gestützt.[1435] Japan förderte alleine in den Jahren 2011 und 2012 die Batterieforschung mit 200 Mio. USD.[1436] In Deutschland wurde die F&E zur Elektromobilität im Zeitraum von 2009 bis 2011 mit 500 Mio. € unterstützt.[1437] Bis 2017 sind unter Koordination der *Nationalen Entwicklungsplattform Elektromobilität (NPE)* themengebunden folgende öffentlich geförderte Projektvolumina geplant:[1438] (1) 601 Mio. € für Traktionsbatterien, (2) 840 Mio. € für Antriebstechnologien und deren Fahrzeugintegration, (3) 300 Mio. € für Leichtbau, (4) 90 Mio. € für Recyclingverfahren und (5) 300 Mio. € für Informations- und Kommunikationstechnologien sowie Infrastruktur. Zur Demonstration und Diffusionsförderung werden seit 2012 ergänzend Modellregionen zur Erprobung der Kombination von Fahrzeug-, Verkehrs- und Energietechnik gefördert.[1439]

Neben der Subventionierung von F&E bietet die **Bildungspolitik** einen Ansatzpunkt langfristiger Stimulation des *technology push*, wobei die Weiterentwicklung des Bildungssystems unter Berücksichtigung künftig erforderlicher Qualifikationen im Fokus steht.[1440] Mit Blick auf die Elektromobilität besteht die bildungspolitische Herausforderung in der Zusammenführung und Vernetzung des in den betroffenen Disziplinen vorhandenen Wissens.[1441]

Ein Feld indirekter Stimulation des *technology push* bilden politische Maßnahmen zur **Internalisierung externer Effekte** des konventionellen Antriebs, v. a. seines Schadstoffausstoßes. Um einen Einblick in dieses weltweit angewandte Instrument zu gewähren, wird beispielhaft auf die in der Europäischen Union eingesetzten Flottenvorgaben an die Automobilhersteller zur Emission von Kohlenstoffdioxid eingegangen.[1442] Im Jahr 2007 lag der durchschnittliche

---

[1434] Vgl. SPATH et al. 2010, Seite 35 sowie SPATH et al. 2011, Seite 46

[1435] Vgl. NEE 2009, Seite 15 und SPATH et al. 2011, Seite 46 sowie NPE 2012, Seite 57

[1436] Vgl. SPATH et al. 2010, Seite 35 und NPE 2012, Seite 59 sowie SPATH et al. 2011, Seite 46

[1437] Vgl. NPE 2012, Seite 4. Die Förderung war Bestandteil des Programms *Schlüsseltechnologien für Elektromobilität* im Rahmen des Konjunkturpaketes II und beinhaltete auch Kredite.

[1438] Vgl. NPE 2012, Seite 15 ff. Der *Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität (NEE)* in Deutschland zeigt exemplarisch die enormen Anstrengungen, die die Politik unternimmt, um nationale Interessen zu vertreten. Vgl. NEE 2009 sowie NPE 2013. Ziel dieser Initiative ist es, Deutschland bis zum Jahr 2020 sowohl zum Leitanbieter als auch zum Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln. Vgl. NPE 2012, Seite 2

[1439] Vgl. NPE 2012, Seite 41 ff.

[1440] Vgl. NPE 2012, Seite 30 ff. sowie zu den für elektrische Antriebe benötigten Qualifikationen Teilkapitel 4.2

[1441] Vgl. HEYMANN et al. 2011, Seite 9

[1442] Im konventionellen Antrieb kann der Ausstoß von Kohlenstoffdioxid (im Gegensatz zu anderen Schadstoffen) prinzipbedingt nicht entkoppelt vom Kraftstoffverbrauch reduziert werden. Vgl. Absatz 3.2.1.5 sowie zur Forderung eines internationalen Handelssystems für Kohlenstoffdioxid WBGU 2011, Seite 11

Kohlenstoffdioxidausstoß europäischer Fahrzeugflotten der Automobilhersteller bei ca. 160 g/km, was etwa 6,9 l/100 km Otto- oder 6,1 l/100 km Dieselkraftstoff entspricht.[1443] Im Jahr 2008 verfehlten die europäischen Automobilhersteller die in ihrem Verband (*Association des Constructeurs Européens d'Automobiles*, ACEA) getroffene Selbstverpflichtung, die für dieses Jahr einen Durchschnitt von 140 g/km vorsah, was ca. 6 l/100 km Otto- oder 5,3 l/100 km Dieselkraftstoff entspricht.[1444]

In der Folge erließ die Europäische Union, abgeleitet aus ihrer Zielsetzung die Emission von Treibhausgasen bis 2020 um 20 % zu reduzieren, eine Verordnung zur Reduktion der Kohlenstoffdioxidemissionen von Personenkraftwagen.[1445] Die Absenkung des Grenzwertes erfolgt, unter Berücksichtigung der Produktlebenszyklen von Automobilen, in zwei Phasen sowie gestuft. Die erste Phase sieht vor, dass der Grenzwert von 130 g/km (ca. 5,6 l/100 km Otto- oder 4,9 l/100 km Dieselkraftstoff) im Zeitraum von 2012 bis 2015 von einem steigenden Anteil der Neuzulassungen der Fahrzeuge pro Hersteller eingehalten werden muss.[1446] Eine zusätzliche Reduzierung um 10 g/km soll durch Einsatz im standardisierten Prüfzyklus nicht erfassbarer Verbesserungen, wie z. B. Rekuperation von Energie aus dem Abgas oder regenerative Kraftstoffe, erreicht werden.[1447] In der zweiten Phase gilt ein **europäischer Grenzwert von 95 g/km** (ca. 4,1 l/100 km Otto- oder 3,6 l/100 km Dieselkraftstoff), der im Jahr 2020 von 95 % sowie im Jahr 2021 von 100 % der neu zugelassenen Fahrzeuge pro Hersteller einzuhalten ist.[1448] Dabei ist festzustellen, dass das europäische Reduktionsziel mit 35 g/km im Zeitraum von 2015 bis 2020 (7 g/Jahr) einerseits ambitionierter ist als die von 2006 bis 2015 erreichte Reduktion um 30 g/km (3,3 g/Jahr) und andererseits für das Jahr 2020 einen niedrigeren Grenzwert definiert als die **USA (121 g/km)**, **Japan (105 g/km)** und **China (117 g/km)**.[1449] In Europa werden Fahrzeuge mit besonders geringem oder keinem Kohlendioxidausstoß jedoch zusätzlich gefördert, indem sie bei der Ermittlung des Flottenverbrauchs vorübergehend mehrfach eingehen, woraus sich ein Kompensationseffekt ergibt.[1450] Strafzahlungen richten sich nach dem durchschnittlichen, herstellerspezifischen Ausstoß von Kohlenstoffdioxid im Verhältnis zum Durchschnittsgewicht seiner Fahrzeugflotte.[1451] Es bleibt fest-

[1443] Vgl. EC 2014
[1444] Vgl. DETERS 2010, Seite 11 f. und BARTHEL et al. 2010, Seite 14 sowie GOLLOCH 2005, Seite 1
[1445] Vgl. FOURNIER et al. 2012, Seite 408 f.
[1446] Die Staffelung erstreckt sich von 65 % (2012) über 75 % (2013) und 80 % (2014) auf 100 % im Jahr 2015. Vgl. EG 443/2009, Artikel 1 und Artikel 4 sowie VDA 2013, Seite 65
[1447] Vgl. EG 443/2009, Artikel 1 sowie Artikel 12, Absatz 2c und WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 6
[1448] Vgl. EG 443/2009b, Ergänzung zu Artikel 4 bzw. Seite 12 sowie VDA 2013, Seite 68
[1449] Vgl. VDA 2013, Seite 66
[1450] Fahrzeuge mit einem Kohlendioxidausstoß von unter 50 g/km werden in den Jahren 2012 und 2013 3,5-fach, im Jahr 2014 2,5-fach und im Jahr 2015 1,5-fach berücksichtigt. Vgl. EG 443/2009, Artikel 5. Analog gehen Fahrzeuge mit einem Kohlendioxidausstoß von unter 7,5 g/km im Jahr 2020 2-fach, im Jahr 2021 1,67-fach sowie im Jahr 2022 1,33-fach ein. Vgl. EG 443/2009b, Ergänzung zu Artikel 5 bzw. Seite 12 f.
[1451] Vgl. EG 443/2009, Artikel 9 und WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 6 f. sowie DETERS 2010, Seite 8. Im Zeitraum von 2012 bis 2018 sind die Strafen nach der Überschreitung des Grenzwertes gestaffelt, wobei

zuhalten, dass der europäische **Grenzwert von 95 g/km technologisch intensiv nicht erreichbar** ist,[1452] was spätestens bei den nach 2020 zu erwartenden Grenzwerten der anderen genannten Märkte ähnlich sein wird.

Ein weiteres, eng mit dem *technology push* und dem Nachhaltigkeitspotenzial des elektrischen Antriebsparadigmas korrelierendes Handlungsfeld ergibt sich im Bereich der **Rohstoffpolitik** daraus,[1453] dass Versorgungsengpässe zum Engpass technischer Entwicklung werden und technologische Paradigmen destabilisieren können.[1454] Zielsetzung der Rohstoffpolitik ist folglich die Sicherung der Versorgung, wobei langfristige Lieferabkommen, internationale Partnerschaften und supranationale Rohstoffstrategien etabliert werden und eine Integration von Rohstoff-, Entwicklungs-, Außen- und Wirtschaftspolitik erfolgt. Um die Bedeutung dieses Handlungsfeldes für elektrische Fahrzeugantriebe zu verdeutlichen, wird im Folgenden exemplarisch auf einige **Rohstoffe mit hoher Kritikalität** eingegangen.[1455] **Neodym und Dysprosium** gehören zu den Seltenen Erden, sind von großer Bedeutung für Permanentmagnete in elektrischen Maschinen und lediglich unter hohem Wirkungsgradverlust substituierbar.[1456] Versorgungsrisiken ergeben sich aus der politischen Verteilung der Vorkommen (> 35 % China, > 20 % Russland und > 10 % USA),[1457] der enormen Konzentration der Förderung (> 95 % China) sowie der Konzentration auf die drei größten Anbieter (> 90 %), wobei aus China maximal 1/3 der Produktionsmenge unter Erhebung von Zöllen exportiert werden darf.[1458] **Kobalt** kommt eine wesentliche Bedeutung als Kathodenmaterial für Lithium-Ionen-Batterien zu, wobei eine Substitution lediglich unter Inkaufnahme geringerer Produktleistung möglich ist. Die weltweiten Vorkommen konzentrieren sich zu 55 % in der politisch fragilen Demokratischen Republik Kongo, sowie zu 15 % in Kuba.[1459] Die Vorkommen des für Lithium-Ionen-Batterien unverzichtbaren **Lithiums** sind weltweit zu über 80 % in den Salzseen Südamerikas bzw. zu 75 % innerhalb eines Radius von ca. 300 km im Grenzgebiet zwischen Chile, Bolivien und Argentinien konzentriert.[1460] Die globale Förder-

für das erste Gramm 5 €, für das zweite 15 €, für das dritte 25 € und ab dem vierten Gramm jeweils 95 € pro zugelassenem Fahrzeug zu zahlen sind. Ab 2019 gilt der Satz von 95 € bereits ab dem ersten Gramm. Vgl. EG 443/2009, Artikel 9. Ausnahmeregelungen bestehen für Klein- und Nischenhersteller mit Zulassungszahlen unter 300.000 Fahrzeugen. Vgl. EG 443/2009, Artikel 11

1452 Vgl. VDA 2013, Seite 67

1453 Vgl. zur rohstoffbezogenen Rolle der Anbieter im Rahmen des *technology push* Abschnitt 4.3.2

1454 Vgl. Abschnitt 3.2.1

1455 Vgl. zum Konzept der Kritikalität von Rohstoffen Abschnitt 4.3.2

1456 Vgl. BEM 2011, Seite 74 sowie ANGERER et al. 2010, Seite 10 ff.

1457 Vgl. ABRAHAM 2012, Seite 8

1458 Vgl. ANGERER et al. 2010, Seite 13 und 38 sowie ABRAHAM 2012, Seite 3 und BEM 2011, Seite 74 und WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 122. Die chinesischen Anbieter streben überdies nach Mehrheitsbeteiligungen an Unternehmen, die ebenfalls Seltene Erden fördern und aufbereiten.

1459 Vgl. ANGERER et al. 2009b, Seite 258 ff.

1460 Vgl. KAISER et al. 2011, Seite 37 und HEYMANN et al. 2011, Seite 4. Der Abbau aus diesen Salzseen ist deutlich günstiger als die Alternativen. Vgl. zur Kritikalität von Lithium unter Berücksichtigung der Elektromobilität ANGERER et al. 2009a

menge stammt bereits zu 50 % aus dieser Region,[1461] die fünf größten Anbieter vereinen weltweit über 80 % des bisherigen Marktvolumens auf sich.[1462] Als abschließendes Beispiel sollen die **Platingruppenmetalle** (Platin, Palladium, Rhodium) angeführt werden, die wesentliche Bedeutung als Katalysatoren, bspw. in Brennstoffzellen und Abgasanlagen, haben und kaum substituierbar sind. Nahezu 90 % der weltweiten Reserven dieser Metalle konzentrieren sich in Südafrika, weitere fast 10 % in Russland, wobei die größten drei Anbieter einen globalen Marktanteil von nahezu 75 % erreichen.[1463] Insgesamt werden anhand dieser Beispiele mit hoher Kritikalität die **rohstoffinduzierten Versorgungs-, Destabilisierungs- und Nachhaltigkeitsrisiken** deutlich. Die Dominanz weniger Länder oder Anbieter begünstigt das Aufkommen von Anbieterkartellen analog der OPEC,[1464] die in der Literatur teilweise bereits mit Akronymen wie LiPEC (Lithium) oder REPEC (Seltene Erden) bezeichnet werden.[1465] Rohstoffpolitik bietet einen Hebel, um derartigen Entwicklungen vorzubeugen und zu vermeiden, dass Länder mit großen Reserven an kritischen Rohstoffen dies als Wettbewerbsvorteil für die eigene Industrie ausspielen.[1466]

Stimulation des *market pull*

Die *regulatory catalysis* des öffentlichen Sektors kann auch auf Seiten des *market pull* bzw. der Nachfrage angreifen, um die Überwindung von Beharrungskräften und technischem *lock-ins* zu stimulieren. Ein Ansatzpunkt dazu ist die **Aufklärung der Bevölkerung** über die Notwendigkeit eines technischen Systemwechsels, welche die Werteebene adressiert und somit zur Veränderung der Nutzenbewertung technischer Systeme beiträgt.[1467] Die Subvention des **Aufbaus erforderlicher Infrastruktur** kann überdies eine wesentliche Grundlage zur Diffusion neuer Technik schaffen, z. B. durch Ladestationen für Elektroautos oder eine Wasserstoffinfrastruktur für Brennstoffzellenfahrzeuge.[1468] Darüber hinaus kann der gezielte Einsatz **staatlicher Nachfrage** Nischen zur Erprobung und Entwicklung neuer Technik schaffen,[1469] z. B. durch die Integration von Elektrofahrzeugen in staatliche Flotten.[1470]
Kerninstrument zur Stimulation des *market pull* sind jedoch **Bonus-Malus-Systeme**, die gesellschaftliche Konsum- und Verhaltensmuster durch monetäre und nicht-monetäre Anreize

[1461] Vgl. WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 127
[1462] Vgl. HEYMANN et al. 2011, Seite 4, Die Autoren betonen die statische Reichweite von über 500 Jahren.
[1463] Vgl. ANGERER et al. 2009b, Seite 288 ff.
[1464] Vgl. zur OPEC Absatz 3.2.1.3
[1465] Vgl. RÜTTINGER/FEIL 2010, Seite 35
[1466] Während China bereits eine ausgeprägte Rohstoffpolitik betreibt und sich bspw. in Afrika systematisch Rohstoffzugänge sichert, sind auf der europäischen Ebene bisher kaum politische Anstrengungen zur Sicherung der Rohstoffversorgung für elektrische Antriebe erkennbar. Vgl. ANGERER 2010, Seite 38
[1467] Vgl. Absatz 3.2.1.4 sowie Abschnitt 4.3.1
[1468] Vgl. Absatz 3.3.3.3
[1469] Vgl. OLTRA/SAINT JEAN 2009, Seite 571
[1470] Vgl. KAISER et al. 2011, Seite 34

beeinflussen. Als **positive Motivatoren** sind im Bereich finanzieller Absatzförderung v. a. Kaufprämien anzuführen, die Konsumenten zum Kauf von Elektrofahrzeugen anregen. Diese belaufen sich pro Fahrzeug bspw. in Dänemark und Norwegen auf bis zu 20.000 €, in Frankreich auf bis zu 5.000 €, in den USA auf bis zu 5.000 USD sowie in Japan auf bis zu 4.000 €.[1471] Finanzielle Entlastungen werden hingegen durch niedrigere bzw. entfallende Besteuerung von Elektrofahrzeugen, wie z. B. in Deutschland, USA und Japan, sowie die Befreiung von Maut- und Parkgebühren gewährt.[1472] Nicht-monetäre Anreize sind bspw. dezidierte Parkplätze, die Erlaubnis zur Nutzung von Bus- und Taxispuren sowie zur Einfahrt in Innenstädte und Umweltzonen. **Negative Motivatoren** internalisieren durch Malus auf den Konsum von Technik deren externe Effekte. Hauptinstrumente in diesem Bereich sind Steuern, die sowohl auf fossile Energieträger (z. B. Mineralölsteuer) als auch auf den Betrieb von Maschinen zu deren Verbrennung (z. B. hubraumbasierte Kraftfahrzeugsteuer) erhoben werden.[1473] Um automobilbezogen die Steuer direkt auf die Externalität zu beziehen, wird diese in Deutschland seit 2009 anteilig direkt auf den Kohlenstoffdioxidausstoß erhoben. Zusatzmaßnahmen in Ballungsräumen sind auf monetärer Seite Stadtmautsysteme, wie z. B. in Singapur oder London, sowie auf nicht-monetärer Seite Einfahrverbote, wie z. B. Umweltzonen.[1474]

Als abschließendes politisches Handlungsfeld zur Stimulation des *market pull* ist die **Etablierung von Standards** anzuführen, an denen wegen ihrer Relevanz für die Diffusion von Technik sowie ihrer gesamtwirtschaftlich positiven Auswirkungen ein gesellschaftliches Interesse besteht.[1475] Während fehlende Standards den Diffusionsprozess verzögern, kann verfrühte Standardisierung in technologisch inferiorem *lock-in* münden.[1476] Speziell bei der Durchsetzung großer technischer Systeme ist die Vermeidung von wohlfahrtsschädigenden Standardkriegen eine zentrale politische Zielsetzung.[1477] Grundsätzlich stehen dem öffentlichen Sektor zwei Verhaltensstrategien zur Verfügung. Eine erste Möglichkeit ist das beobachtendstimulierende Verhalten mit dem Ziel einer freiwilligen Etablierung von Standards, wobei die

---

[1471] Vgl. GNANN/PLÖTZ 2011, Seite 13 f. und BECKER 2010, Seite 42 sowie für eine Übersicht internationaler Absatzförderung PWC 2012, Seite 101

[1472] Vgl. VDA 2013, Seite 124 f. sowie PWC 2012, Seite 101

[1473] Vgl. BARTHEL et al. 2010, Seite 14. In der Literatur werden zum Teil deutlich höhere Mineralölsteuern in Kombination mit Umrüstungssubventionen vorgeschlagen, um externe Umwelteffekt zu internalisieren und technische *lock-ins* zu überwinden. Vgl. HOLZHAUSEN 2004, Seite 150

[1474] Vgl. WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 13 ff. und TERPORTEN et al. 2012, Seite 368

[1475] Vgl. Abschnitt 4.3.1

[1476] Solange das Leistungspotenzial eines Produkts nicht den Anforderungen entspricht, sind interdependente Innovationen auf Architektur-, Modul- und Komponentenebene erforderlich. Da Wirkungsmechanismen und Schnittstellen des Produkts in dieser Phase noch nicht feststehen, schränkt verfrühte Standardisierung technologische Entwicklung übermäßig ein, was zu inferioren Ergebnissen führt. Vgl. CHRISTENSEN 1997, Seite 118 sowie ZOLLENKOP 2006, Seite 214 f.

[1477] Vgl. SLOWAK 2012, Seite 14. Ein Beispiel eines Standardkrieges ist der Wettbewerb zwischen dem *Video Home System (VHS)* von JVC, *Betamax* von Sony und *Video 2000* von Grundig und Philips in den 1980ern.

Politik **Impulse für eine standardbezogene Kooperation** der Anbieter setzt. Führt diese Vorgehensweise nicht zum Erfolg, verbleibt als zweiter Ansatz das **regulative Eingreifen durch Vorgaben**.[1478] Unter Bezug auf die Elektrifizierung des automobilen Antriebs erstreckt sich der Standardisierungsbedarf von der Antriebsebene über dessen Fahrzeugintegration bis zur Infrastruktur. So existiert z. B. für das Laden batterieelektrischer Fahrzeuge weder ein Standard bei Steckern, noch bei der Identifikation, Authentifizierung oder Ladesteuerung.[1479] Fehlende Sicherheitsstandards betreffen auch Unfallsituationen, in denen Schädigungen durch Elektrizität oder austretende Batterieflüssigkeiten zu vermeiden sind.[1480]

4.4 Empirische Untersuchung der technologischen Exploration der Anbieter

Vor dem Hintergrund der Elektrifizierung des automobilen Antriebs untersucht dieses Teilkapitel die technologische Exploration der Anbieter empirisch mit dem Schwerpunkt auf kooperativem Lernen. Dazu wird die Methode der Patentanalyse eingesetzt,[1481] die sich aufgrund der techno-ökonomischen Schlüsselrolle von Batterie und Brennstoffzellensystem auf diese beiden Module fokussiert. An die Darstellung von Ziel und Aufbau der Untersuchung in Abschnitt 4.4.1 schließt sich mit Abschnitt 4.4.2 die Vorstellung des zu Grunde liegenden Patentdatensets an, wobei auf Selektion, Bereinigung und Zusammensetzung der Daten eingegangen wird. Die zur Auswertung entwickelten globalen Akteursgruppen der Automobilhersteller, Automobilzulieferer sowie Batterie- und Brennstoffzellenentwickler werden in Abschnitt 4.4.3 vorgestellt. Aufbauend auf Patentdatenset und Akteursgruppen stellt Abschnitt 4.4.4 die verknüpfende Logik der Auswertung vor. Abschnitt 4.4.5 schließt das Teilkapitel durch Veranschaulichung und Interpretation der Ergebnisse auf Technologie-, Akteurs- und Regionenebene ab.

4.4.1 Zielsetzung der Patentanalyse

Zielsetzung der Patentanalyse ist die empirische Verifikation der Erkenntnisse zum technologischen Paradigmenwechsel im automobilen Antrieb sowie zu Eignung und Potenzial kooperativer Exploration bei technologischer Diskontinuität.[1482] Fokus ist die **technologische Lösungssuche der Anbieter** zu den techno-ökonomischen Schlüsselmodulen Batterie- und

[1478] Ein Beispiel regulativen Eingreifens ist die ab 2017 in der Europäischen Union geplante Vereinheitlichung von Ladegeräten für mobile Elektrogeräte, wie z. B. Mobiltelefone, welche die Kompatibilität erhöhen, Kosten reduzieren und Elektromüll im Umfang 51.000 Tonnen p. a. einsparen soll. Vgl. EU 2014

[1479] Vgl. AHA/RADEMACHER 2011, Seite 183 f.

[1480] Weitere Beispiele fehlender Sicherheitsstandards finden sich im Umgang mit Traktionsbatterien als Gefahrengut im Bereich des Transports oder auch mit dem v. a. für Fußgänger gefährlichen, geräuscharmen Betrieb von Elektrofahrzeugen. Vgl. AHA/RADEMACHER 2011, Seite 184 und PWC 2012, Seite 146

[1481] Vgl. zur Eignung von Patentdaten als Lern-, Wissens und Innovationsindikatoren Teilkapitel 4.1

[1482] Vgl. zum Zusammenspiel von Technologie, Innovation und Koordination Kapitel 2 sowie zum technologischen Paradigmenwechsel im automobilen Antrieb und resultierender Eignung kooperativer Exploration Kapitel 3.

Brennstoffzellensystem. Untersucht werden sowohl die Explorationsaktivitäten des etablierten technologischen Regimes aus **Automobilherstellern und -zulieferern** zur Verbreiterung der Wissensbasis als auch die Anstrengungen der führenden **Batterie- und Brennstoffzellenentwickler**. Dieses Vorgehen erlaubt Rückschlüsse auf die technologiespezifischen **Wissensbasen** und **absorptiven Fähigkeiten** der Akteursgruppen sowie die Ableitung intra- und intersektoraler **Kooperationspotenziale** im experimentellen Lernprozess. Die zusätzliche Erfassung der vorhandenen intra- und interindustriellen **Kooperationsniveaus** ermöglicht eine argumentative Verknüpfung mit den Potenzialen und letztlich die Deduktion strategischer Handlungsempfehlungen. Aus einer ergänzenden Auswertung der Entwicklung **automobilbezogener** Offenlegungen lassen sich überdies Rückschlüsse auf die schrittweise Integration der Batterie- und Brennstoffzellentechnologie in die Wissensbasis der Automobilindustrie ziehen.

4.4.2 Patentdatenset zur Batterie- und Brennstoffzellentechnik

Um die im vorherigen Abschnitt vorgestellten Ziele zu erreichen, sind bereits bei der Erhebung eines Patentdatensets der Technologiebezug, die regionale Ebene bzw. die adressierten Patentbehörden, der Untersuchungszeitraum sowie die analysierten Publikationstypen entscheidend. Dieser Abschnitt erörtert die Selektion dieser Parameter sowie die durchgeführten Schritte zur Bereinigung der Rohdaten und gibt abschließend einen Überblick über die Zusammensetzung des erzeugten Patentdatensets.

Selektion der Patentdaten

Die **technologische Eingrenzung** erfolgt auf Basis der internationalen Patentklassifikation, in der sowohl Batterie als auch Brennstoffzellensystem der Sektion *Elektrotechnik* (H), der Klasse *Grundlegende elektrische Bauteile* (H01) sowie der Unterklasse *Verfahren oder Mittel für die direkte Umwandlung chemischer in elektrische Energie* (H01M) zugeordnet sind. Eine Möglichkeit der Differenzierung bietet die Ebene der Hauptgruppen. Während für Batterien die Hauptgruppen *Elektroden* (H01M 4/00), *Primärelemente* (H01M 6/00), *Sekundärelemente* (H01M 10/00) und *Hybridzellen* (H01M 12/00) wichtig sind, ist für Brennstoffzellensysteme die Hauptgruppe *Brennstoffelemente* (H01M 8/00) maßgeblich.[1483] Die Beschränkung auf diese Hauptgruppen, einschließlich ihrer Untergruppen, sorgt für die technologische Eingrenzung der Patentanalyse.

Eine wichtige Rolle spielt auch die **regionale Eingrenzung** bzw. die Festlegung der Untersuchungsebene auf Patentbehörden. Aufgrund der Globalität der Automobilindustrie sowie der maßgeblichen Batterie- und Brennstoffzellenentwickler ist für einen repräsentativen Erkenntnisgewinn eine zu starke Fokussierung zu vermeiden. Da sich zahlreiche technologische Zen-

[1483] Vgl. zur Hierarchie der IPC DPMA 2013, Abschnitt 19 ff.

tren der Automobilindustrie in Deutschland, Japan und den USA befinden, und diese Länder darüber hinaus wesentliche Absatzmärkte für Automobile darstellen, bietet sich eine Untersuchung anhand ihrer Patentbehörden an. Die Gegenüberstellung und Kombination der Daten des *Deutschen Patent- und Markenamts* (DPMA), des *Japan Patent Office* (JPO) und des *United States Patent and Trademark Office* (USPTO) schafft zudem die Grundlage für technologie- und akteursbezogene Analysen auf globaler und nationaler Ebene.

Ein weiterer Selektionsparameter ist die **zeitliche Eingrenzung** der Analyse. Dabei bieten längere Zeiträume bessere Möglichkeiten zur Untersuchung von Aktivitäts- und Verhaltensmustern sowie zur Identifikation technologischer Wissensbasen. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass sich mit der historischen Spannweite Verfügbarkeit, Qualität und Vergleichbarkeit der Daten reduzieren, wobei insbesondere die IPC erst seit Mitte der 1970er Jahre angewandt wird.[1484] Unter Berücksichtigung dieser Rahmenbedingungen erstreckt sich der Untersuchungszeitraum der Patentanalyse auf die Publikationsjahre 1980 bis 2011.[1485]

Abschließender Selektionsschritt der Zusammenstellung des Patentdatensets ist die **Eingrenzung auf Publikationstypen**. Wie bereits dargelegt bieten sich zur Analyse technologischen Lernens im Rahmen von F&E-Vorgängen insbesondere Offenlegungsschriften an, da diese bereits nach 18 Monaten veröffentlicht werden und auch die Erfindungen umfassen, für die letztlich kein Patent erteilt wird.[1486] Sie beziehen folglich jede subjektiv als Neuerung empfundene und zur Patentierung angemeldete Erfindung ein. Dieser Zusammenhang ist insbesondere für die Untersuchung technologischen Wandels vorteilhaft, da auch Einreichungen aus denen kein Patent resultiert, auf Lernprozesse, Wissen und absorptive Fähigkeiten hindeuten. Resultierende Mehrfachzählungen gleicher Erfindungen durch unterschiedliche Akteure entsprechen realen Mehrfachentwicklungen in F&E und sind demnach erwünscht. Ein qualitätssichernder Aspekt der Analyse von Offenlegungsschriften entsteht dabei dadurch, dass bei diesem Publikationstyp überwiegend bereits eine Offensichtlichkeitsprüfung inkl. einer Klassifikation durch die Behörden durchgeführt wurde. Um über die 18-Monats-Offenlegungsschriften hinaus alle Erstveröffentlichungen zu erfassen und dabei patentbehördeninterne Mehrfachzählungen derselben Erfindung durch denselben Akteur zu vermeiden, werden neben den Offenlegungen auch die Erteilungen ohne Vorab-Offenlegung einbezogen.[1487] Patentbehördenübergreifende Mehrfachzählungen derselben Erfindung durch denselben Akteur hingegen werden dadurch vermieden, dass pro Behörde ausschließlich diejenigen Erstveröffentlichungen berücksichtigt werden, die nicht mit einer Priorität an einer der beiden anderen untersuchten Behörden versehen sind. Entsprechend werden auch Prioritäten bei der

[1484] Vgl. Teilkapitel 4.1

[1485] Da der Datenabzug im Jahr 2012 erfolgte, ist dieses Jahr nur teilweise erfasst und muss entfallen.

[1486] Vgl. Teilkapitel 4.1

[1487] Zur Erfassung der Offenlegungen dienen die Schriftenartencodes (PCOD) A und A1, zur Identifikation von Erteilungen ohne Vorab-Offenlegung B3 und C1. Vgl. DPMA 2009, Seite 11 f. und 19 f. sowie 24 f.

World Intellectual Property Organization (WIPO) sowie am *European Patent Office* (EPO) ausgeschlossen. Im weiteren Verlauf werden die Begriffe Erstveröffentlichung, Offenlegung und Publikation zur Bezeichnung der untersuchten Publikationstypen synonym verwendet. Abschließend bleibt im Hinblick auf die spätere Interpretation der Ergebnisse anzumerken, dass am USPTO erst seit dem Jahr 2000 eine Offenlegung aller Anmeldungen nach 18 Monaten erfolgt, während vor diesem Zeitpunkt lediglich die Erteilungen veröffentlicht wurden.

Bereinigung der Patentdaten

Über die bereits ausgeschlossenen Mehrfachzählungen hinaus können auch durch Prioritäten an anderen nationalen Patentbehörden Mehrfacherfassungen derselben Erfindung durch denselben Akteur entstehen, sodass diesbezüglich eine **prioritätsbezogene Bereinigung** erfolgen muss.[1488] Da dadurch lediglich Redundanzen vermieden werden sollen und keine Einschränkung auf ausschließlich nationale Patentanmelder angestrebt wird, erfolgt eine Bereinigung auf Basis von Kontinenten. Den Patentbehörden bleiben nur diejenigen der nachrangigen Offenlegungen zugeordnet, die mit Priorität in einer nationalen Patentbehörde auf dem selben Kontinent versehen sind, d. h. europäische am DPMA, asiatische am JPO und amerikanische am USPTO. Dieser Bereinigungsschritt reduziert die batteriebezogenen Offenlegungen am DPMA um 68, am JPO um 65 und am USPTO um 1198.[1489] Brennstoffzellenbezogen ergeben sich Reduktionen von 114 Offenlegungen am DPMA, 49 am JPO und 1141 am USPTO.[1490] Eine Mehrfacherfassung derselben Erfindung durch denselben Akteur ist somit ausgeschlossen.

Eine weitere Datenbereinigung wird aufgrund der **Zerschlagung der Varta Batterie AG** ab dem Jahr 2000 notwendig, da dieses Unternehmen mit 190 Offenlegungen zur Batterietechnologie am DPMA mit 12,5 % den größten Anteil der Offenlegungen zu dieser Technologie und an dieser Behörde ausmacht. Der automobilbezogene Unternehmensbereich wurde durch *Johnson Controls Inc*, der Bereich Mikrobatterien durch die *Montana Tech Components AG* und der Bereich Consumer-Batterien durch *Spectrum Brands Inc* übernommen.[1491] Der Um-

[1488] Vgl. OECD 2009, Seite 63 sowie zum unternehmensstrategischen Wert von Auslandsanmeldungen GRUPP 1997, Seite 165 ff.

[1489] Bei der Batterietechnologie ergeben sich 68 Bereinigungen am DPMA v. a. aus Prioritäten in Südkorea (29) und Südafrika (24), 65 Bereinigungen am JPO v. a. aus Prioritäten in Frankreich (23), Deutschland (12), dem Vereinigten Königreich (10) und Kanada (10) sowie 1.198 Bereinigungen am USPTO v. a. aus Prioritäten in Südkorea (780), China (114), Frankreich (101), dem Vereinigten Königreich (75) und Taiwan (69).

[1490] Im Hinblick auf die Brennstoffzellentechnologie resultieren 114 Bereinigungen am DPMA v. a. aus Prioritäten in Südkorea (71) und Taiwan (37), 49 Bereinigungen am JPO v. a. aus Prioritäten in Frankreich (21) und Dänemark (11) sowie 1.141 Bereinigungen am USPTO v. a. aus Prioritäten in Südkorea (629), Taiwan (126), Frankreich (126), dem Vereinigten Königreich (93) und China (35).

[1491] Zu *Johnson Controls Inc* gehören heute die *Varta Automotive Systems GmbH*, die *Varta Autobatterie GmbH* und die *VB Autobatterie GmbH*. Die *Varta Microbattery GmbH*, die *Varta Storage GmbH* und die *Varta Micro Innovation GmbH* sind Bestandteil der *Montana Tech Components AG*, die *Varta Gerätebatterie GmbH* und *VARTA Consumer Batteries GmbH & Co. KgaA* der *Spectrum Brands Inc*. Vgl. VARTA 2014

fang des Patentportfolios der *Varta Batterie AG* macht eine Zuordnung zu diesen Unternehmungen erforderlich, insbesondere da es sich im Sinne der Patentanalyse um Vertreter unterschiedlicher Akteursgruppen handelt. Die Verteilung des Patentportfolios auf die Folgegesellschaften erfolgte primär durch Recherche der Patentübertragungen und sekundär durch inhaltliche Prüfung der Schriften.[1492]
Abschließend ist zu erwähnen, dass in 18 Datensätzen des USPTO das Feld Publikationsjahr nicht befüllt war, was jedoch durch Rückgriff auf die in diesen Fällen vorhandene Information zum Publikationsdatum, das ebenfalls das Jahr enthält, ergänzt wurde.

Zusammensetzung des Patentdatensets

Gemäß der vorgestellten technologischen, regionalen, zeitlichen und publikationsbezogenen Selektionsparameter setzt sich das Patentdatenset aus den batterie- und brennstoffzellenbezogenen Erstveröffentlichungen in den genannten IPC-Haupt- und Unterklassen im Zeitraum von 1980 bis 2011 an den Patentbehörden DPMA, JPO und USPTO zusammen. Um internationale Aktivitätsvergleiche zwischen den Patentbehörden anstellen zu können, wird für das JPO zudem ein Korrekturfaktor von 0,5 eingeführt, der Besonderheiten des japanischen Patentsystems gegenüber dem DPMA und dem USPTO weitgehend kompensiert.[1493] Aufgrund der hohen Unsicherheit, Widersprüchlichkeit und zeitlichen Beschränkung der in der Literatur für das USPTO angeführten Argumente wird auf die Anwendung eines Korrekturfaktors für diese Behörde verzichtet.[1494] Bei der Interpretation der Daten muss jedoch berücksichtigt werden, dass durch das USPTO bis zum Jahr 2000 lediglich Patenterteilungen veröffentlicht wurden. Eine Übersicht der Zusammensetzung des Patentdatensets mit und ohne Einbezug des Korrekturfaktors für das JPO bietet Abb. 4-4. Dabei fällt eine ähnliche Verteilung der Publikationen in Batterie- und Brennstoffzellentechnologie auf. Die hohe Anzahl der Offenlegungen am JPO führt dazu, dass der Anteil dieser Behörde trotz Anwendung des Korrekturfaktors bei über 60 % verbleibt, während das USPTO im Bereich von ca. 30 % und das DPMA unterhalb von 10 % liegen. Da grundsätzlich davon auszugehen ist, dass Erfindungen prioritär bei der für das Territorium des Erfinders zuständigen Patentbehörde angemeldet werden,[1495] liefert bereits diese statische Sicht einen ersten Eindruck der Stärke der japanischen Industrie im Bereich der Batterie- und Brennstoffzellentechnologie.

[1492] Zur Ermittlung der neuen Patentinhaber bei übertragenen Schutzrechten diente die online-Patentsuche des Europäischen Patentamtes.
[1493] Vgl. zur Ableitung dieses Korrekturfaktors aus der Literatur Teilkapitel 4.1
[1494] Vgl. Teilkapitel 4.1
[1495] Vgl. GRUPP 1997, Seite 165

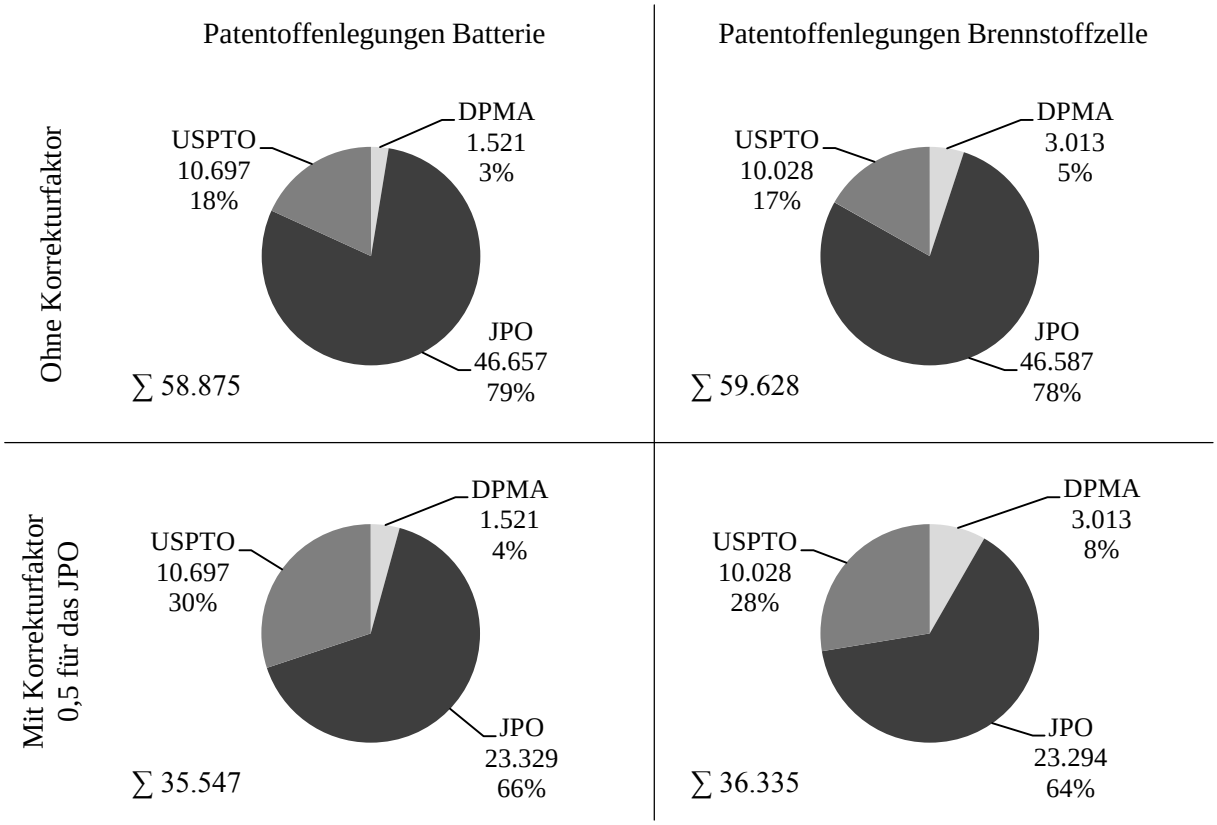


Abb. 4-4: Zusammensetzung des Patentdatensets mit und ohne Korrekturfaktor[1496]

4.4.3 Sektor- und technologiespezifische Akteure und Gruppen

Zur Auswertung der Offenlegungen dienen drei überschneidungsfreie, weltweite Akteursgruppen.[1497] Die Gruppe der **Top 30 Automobilhersteller** (*original equipment manufacturer*, OEM) umfasst die 30 Unternehmen mit der größten durchschnittlichen Produktionsstückzahl der Jahre 2011 und 2012 und damit mehr als 98 % der globalen Automobilproduktion. Die Kategorie der **Top 100 Automobilzulieferer** (*automotive supplier*, SUP) hingegen setzt sich aus den weltweit 100 umsatzstärksten Lieferanten der Jahre 2011 und 2012 zusammen. Die globale Akteursgruppe der **Top 200 Batterie- und Brennstoffzellenentwickler** (*battery and fuel cell developer*, BFD) besteht aus den 200 (patentseitig) aktivsten Unternehmen der Batterie- und Brennstoffzellentechnologie.[1498] Die **Identifikation der Unternehmen** erfolgte auf Basis von Markt- und Technologiestudien, Veröffentlichungen von Verbänden, Fachkongress- und Tagungsinformationen sowie Veröffentlichungen der Unternehmungen.[1499] Zum

[1496] Eigene Darstellung
[1497] Vgl. zu den Akteursgruppen Anhang 5, Anhang 6 und Anhang 7
[1498] Bestandteil dieser Gruppe sind ausschließlich Unternehmen, die nicht bereits als Automobilhersteller oder -zulieferer kategorisiert sind. Aufgrund der hohen Dynamik in dieser Akteursgruppe wurden für die Selektion von Unternehmen Kriterien hinsichtlich Existenz und technologischer Aktivität definiert. Vgl. Anhang 7
[1499] Vgl. für detaillierte Quellenangaben zur Unternehmensidentifikation Anhang 5, Anhang 6 und Anhang 7

Aufbau der Suchstrings wurden Jahresabschlüsse und weitere Veröffentlichungen der Unternehmen sowie die *Thomson Reuters DWPI Patent Assignee Codes (PACO) Lookup Facility* herangezogen und mit einer Analyse des Zieldatensets kombiniert.[1500] Dabei wurden aktuelle, regionenspezifische (v. a. japanische) und historische Unternehmensnamen berücksichtigt und auf diese Weise eine korrekte Zuordnung der in den Offenlegungen angeführten Patentanmelder zu den Unternehmen gewährleistet.[1501] Die **Zuordnung von Unternehmen** zu deren Muttergesellschaften erfolgte nach Beteiligungsanteilen, wobei ab 50 % untergeordnet (Aggregation) und bei paritätischen Joint Ventures mit jeweils 50 % Anteil der Partner doppelt zugeordnet wurde.[1502] Die resultierende Mehrfachzählung wird dadurch begründet, dass beide Muttergesellschaften über Zugriff auf das Wissen des Joint Ventures verfügen. Einen besonderen Umgang erfordern allerdings die japanischen Unternehmensverbünde, die als *Keiretsu* bezeichnet werden.[1503] Sie zeichnen sich durch langfristige, kooperative Ausrichtung der Geschäftsbeziehungen mit hohem gegenseitigem Commitment und Vertrauen sowie durch das Anstreben gemeinsamen Erfolgs aus, wobei oftmals kapitalseitige Verflechtungen bestehen.[1504] Die den *Keiretsu* inhärente Vertrauenskultur begünstigt technologische Kooperation auch über die Akteursgruppen hinweg in besonderem Maße. Die Trennung dieser, sich über alle untersuchten Akteursgruppen erstreckenden Verbünde erfolgte ebenfalls anhand der Eigentumsverhältnisse. Die automobilhersteller- und -zuliefererbezogenen Anteile wurden isoliert und diesen Akteursgruppen zugeordnet, die verbleibenden Anteile aufgrund mangelnder Abgrenzbarkeit in die Gruppe der Batterie- und Brennstoffzellenentwickler integriert.[1505] Abschließend ist zu konstatieren, dass sich für 30 Automobilhersteller insgesamt 594, für 100 Automobilzulieferer in Summe 2259 sowie für die Batterie- und Brennstoffzellenentwickler übergreifend 457 Suchstrings ergeben, um diese Akteure als Patentanmelder zu identifizieren. Den Akteursgruppen der Automobilhersteller und -zulieferer ist technologieunabhängig eine **Erfassungsgenauigkeit** von nahezu 100 % zu bescheinigen. Der technologiefokussierte Aufbau der Akteursgruppe der Batterie- und Brennstoffzellenentwickler hingegen ermöglicht eine vergleichbare Genauigkeit für die untersuchten Wissensbereiche, führt jedoch zu eingeschränkter Übertragbarkeit auf andere Technologien.

[1500] Die zur Identifikation der Patentanmelder eingesetzten Kombinationen aus Buchstaben, Zahlen, Zeichen und Leerzeichen werden als Suchstrings bezeichnet.

[1501] Dieses Vorgehen trägt der Herausforderung Rechnung, dass eine Zuordnung der in Offenlegungen angeführten Patentanmelder zu den heutigen Unternehmen teilweise durch Veränderungen der Unternehmensnamen und Eigentumsverhältnisse im Untersuchungszeitraum erschwert wird.

[1502] Vgl. CAINARCA et al. 1992, Seite 48, die ein analoges Vorgehen einsetzten.

[1503] Vgl. NOOTEBOOM 2004, Seite 177 sowie HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 223 ff. und SCHONERT 2008, Seite 42

[1504] Vgl. HÜTTENRAUCH/BAUM 2008, Seite 20. Der Autor betont am Beispiel der *Toyota Motor Corp* die auf diese Weise enge Anbindung ausgegliederter Unternehmensbereiche wie bspw. der *Denso Corp*.

[1505] Betroffen sind folgende Keiretsu: Furukawa, Mitsui, Sumitomo, Mitsubishi und Toyota. Vgl. Anhang 5 und Anhang 6 sowie insbesondere Anhang 7

4.4.4 Auswertungslogik

Die Logik der Auswertung beinhaltet einerseits die Zuordnung von Patentanmeldern zu Akteursgruppen und andererseits die Identifikation des Automobilbezugs der Offenlegungen. Für die **Zuordnung von Patentanmeldern zu Akteursgruppen** erfolgt ein Abgleich der Patentanmelder der 118.503 Erstveröffentlichungen mit den 3.310 akteursbezogenen Suchstrings. Gemeinsame Anmeldungen unverbundener bzw. maximal über Minderheitsbeteiligungen verbundener Unternehmungen deuten dabei auf **kooperative F&E-Anstrengungen** hin und werden entsprechend klassifiziert. Dieser Fall liegt sowohl dann vor, wenn beide Kooperationspartner als Patentanmelder auftreten, als auch dann, wenn ein paritätisches Joint Venture der Partner die Anmeldung vornimmt. Keine Kooperation besteht hingegen, wenn zwei über Mehrheitsbeteiligung verbundene Gesellschaften desselben Machtbereichs gemeinsam als Patentanmelder auftreten, zumal dann keine Eigenständigkeit gemäß der hier geltenden Kooperationsdefinition vorliegt.[1506] Auf diese Weise wird sichergestellt, dass pro Unternehmensgruppe bzw. Machtbereich maximal eine einfache Zuordnung zu einer Publikationsschrift erfolgt, wohingegen kooperationsbezogene Mehrfachzuordnungen sowohl durch mehrere Akteure einer Akteursgruppe als auch gruppenübergreifend entstehen können. Ferner ist anzumerken, dass die durch kooperative F&E bzw. Patentanmeldung induzierten Mehrfachzuordnungen von Akteuren zu Offenlegungen dazu führen, dass die Summe der Anmelderaktivitäten die Summe der Offenlegungen übersteigt.

Ein zweiter Auswertungsschritt identifiziert den **Automobilbezug der Erstveröffentlichungen** und bedient sich dazu einerseits der zusätzlichen Registrierung der Offenlegung in automobilbezogenen IPC-Klassen sowie andererseits einer Schlagwortsuche im Abstract der Publikationen.[1507] Dabei wird die Erfüllung bereits eines Prüfkriteriums als hinreichendes Indiz für einen Automobilbezug definiert. Die **klassenbezogene Auswertung** fokussiert auf die für Automobile im Allgemeinen wesentlichen Patentklassen inkl. deren Haupt- und Untergruppen, wobei es sich um die der Sektion *Arbeitsverfahren, Transportieren* (B) zugeordneten Klassen *Fahrzeuge allgemein* (B60) und *gleislose Fahrzeuge* (B62) handelt.[1508] Die **abstractbezogene Schlagwortsuche** bedient sich der Suchstrings *vehicle, _car_, Fahrzeug,* und *Kraftwagen*. Die Kombination aus klassenbezogener Auswertung und Schlagwortsuche identifizierte insgesamt 3.756 (3,20 %) Offenlegungen als automobilbezogen.[1509]

[1506] Derartige Fälle sind dem Koordinationsmechanismus machtbasierter Verhaltensanweisung in Hierarchien zuzuordnen. Vgl. zur Definition von Kooperation Abschnitt 2.3.1 sowie zur Unterordnung von Unternehmensbeteiligungen ab 50 % Abschnitt 4.4.3

[1507] Diese Vorgehensweise wird auch in der Literatur empfohlen. Vgl. OECD 2009, Seite 88

[1508] Die Auswertung bezieht sich auf die IPC-Haupt- und Nebenklassifikation (ICM und ICS).

[1509] Die Auswertung ergab für das Datenset mit 118.503 Publikationen (ohne Korrekturfaktor) Trefferzahlen von 2.146 (1,81 %) für die Klasse B60, 155 (0,13 %) für die Klasse B62, 157 (0,13 %) für das Schlagwort *_car_* (Unterstriche stehen für Leerzeichen), 2196 (1,85 %) für das Schlagwort *vehicle*, 384 (0,32 %) für das

4.4.5 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

Dieser Abschnitt umfasst die Ergebnisdarstellung und -interpretation der Analyse der Erstveröffentlichungen zur Batterie- und Brennstoffzellentechnologie am DPMA, JPO und USPTO im Zeitraum von 1980 bis 2011. Die Argumentation verläuft technologieorientiert, wobei mit analogem Aufbau zuerst die Batterie und anschließend das Brennstoffzellensystem erörtert werden. Die Untersuchung erstreckt sich auf die **Dynamik der Offenlegungen und Anmelderaktivitäten** sowie deren **kooperative und automobilbezogene Anteile**. Um Vergleiche zu vereinfachen, werden die Ergebnisse in einer einheitlichen Abbildungsstruktur durch zeilenweise Kombination der Aktivitätsrate p. a. mit einer kumulativen Sicht veranschaulicht. Der argumentative Einstieg erfolgt sowohl für Batterie- als auch für Brennstoffzellentechnologie auf **globaler Ebene**, die, unter Anwendung des für Japan definierten Korrekturfaktors, durch Summation der drei Patentbehörden gebildet wird.[1510] Auf dieser Ebene erstreckt sich die Untersuchung einerseits auf die **Publikationen nach Patentbehörden** und andererseits auf die **Anmeldeaktivität der Akteursgruppen**, wobei in Absatz 4.4.5.1 batterie- (Abb. 4-5 und Abb. 4-6) und in Absatz 4.4.5.3 brennstoffzellenbezogen (Abb. 4-11 und Abb. 4-12) jeweils eine integrierte Argumentation und Interpretation erfolgt. Die nachgelagerte **patentbehördenspezifische Analyseebene** fokussiert ausschließlich auf die **Aktivität der Akteursgruppen als Patentanmelder**.

<table>
<tr><th rowspan="3">Akteursgruppen</th><th rowspan="3">Untersuchungs-parameter</th><th colspan="6">Erstveröffentlichungen im Zeitraum 1980 bis 2011</th></tr>
<tr><th colspan="3">Batteriebezogen</th><th colspan="3">Brennstoffzellenbezogen</th></tr>
<tr><th>DPMA</th><th>JPO</th><th>USPTO</th><th>DPMA</th><th>JPO</th><th>USPTO</th></tr>
<tr><td>Akteursunabhängige Analyse</td><td>Dynamik aller, kooperativer und automobilbezogener Offenlegungen</td><td colspan="3">Abb. 4-5</td><td colspan="3">Abb. 4-11</td></tr>
<tr><td>Automobilhersteller (OEM)</td><td rowspan="3">Anmeldeaktivität von Akteursgruppen und kooperativen Paarungen in allen sowie in automobilbezogenen Offenlegungen</td><td colspan="3" rowspan="3">Abb. 4-6
Abb. 4-8 | Abb. 4-9 | Abb. 4-10</td><td colspan="3" rowspan="3">Abb. 4-12
Abb. 4-14 | Abb. 4-15 | Abb. 4-16</td></tr>
<tr><td>Automobilzulieferer (SUP)</td></tr>
<tr><td>Batterie- und Brennstoffzellenentwickler (BFD)</td></tr>
</table>

Tab. 4-3: Übersicht der Ergebnisdarstellungen der Patentanalyse[1511]

Schlagwort *fahrzeug* und 8 (0,00 %) für das Schlagwort *kraftwagen*. Insgesamt ergeben sich nach Bereinigung der Mehrfacherfüllung dieser Kriterien 3.756 (3,20 %) automobilbezogene Offenlegungen.

[1510] Alle Angaben der folgenden Absätze schließen sowohl auf globaler als auch auf patentbehördenbezogener Ebene einen Korrekturfaktor von 0,5 für das JPO ein. Vgl. Teilkapitel 4.1 und Abschnitt 4.4.2

[1511] Eigene Darstellung

Die Auswertungsergebnisse werden in Absatz 4.4.5.2 mit Batteriefokus (Abb. 4-8, Abb. 4-9 und Abb. 4-10) sowie in Absatz 4.4.5.4 mit Brennstoffzellenfokus (Abb. 4-14, Abb. 4-15 und Abb. 4-16) erörtert. Eine Übersicht des Zusammenhangs zwischen Akteursgruppen, Untersuchungsparametern, Technologien und Patentbehörden mit dem grafischen Ergebnisdarstellungen der folgenden Absätze bietet Tab. 4-3.

4.4.5.1 Globale Offenlegungen zur Batterie nach Akteuren und Behörden

In diesem Absatz werden die in Abb. 4-5 und Abb. 4-6 veranschaulichten Ergebnisse der Auswertung der Erstveröffentlichungen zur Batterietechnologie nach Patentbehörden und Akteursgruppen auf globaler Ebene, d. h. aggregiert über DPMA, JPO und USPTO, erörtert.
Mit Blick auf die jährliche **Summe der Offenlegungen** (Abb. 4-5) fällt, ausgehend von einer weitgehend konstanten jährlichen Rate, ab Mitte der 1990er Jahre eine deutliche Steigerung auf, die im Jahr 2007 mit 2.068 Offenlegungen ihr Maximum erreicht, was nahezu dem Vierfachen des Startniveaus von 1980 entspricht. Die Reduktion um über 40 % zum Folgejahr 2008 wird durch die 2007 einsetzende Finanz- und Wirtschaftskrise beeinflusst, wobei sich bereits ab 2009 eine Stabilisierung bzw. moderate Erholung zeigt.[1512] Im Zeitraum von 1980 bis 2011 summieren sich die batteriebezogenen Offenlegungen auf 35.547, was als Indikator der Tiefe der globalen Wissensbasis gelten kann. Hinsichtlich der **Anmeldeaktivität der Akteursgruppen** (Abb. 4-6) fällt auf, dass sowohl Batterie- und Brennstoffzellenentwickler als auch Automobilzulieferer über den gesamten untersuchten Zeitraum sehr aktiv sind.[1513] Während erstere die Ausweitung der weltweiten Erfindungstätigkeiten bereits von 1995 bis 2000 prägen, ist die weitere Steigerung der Rate jährlicher Erstveröffentlichungen ab dem Jahr 2000 auf Automobilhersteller und sonstige Akteure zurückzuführen.[1514] Die Kumulation der Anmeldeaktivitäten macht überdies deutlich, dass Batterie- und Brennstoffzellenentwickler über 46 %, Automobilzulieferer über 26 % und Automobilhersteller lediglich über 6 % der globalen Wissensbasis zur Batterietechnologie verfügen.[1515] Folglich ist festzustellen, dass überwiegende Anteile des technologischen Vorwissens außerhalb der Automobilindustrie liegen. Technologische Kooperationspotenziale bestehen demnach insbesondere auf interindust-

[1512] Am DPMA vollzieht sich bereits ab 2004 eine Reduktion der Offenlegungsrate, an die sich ab 2008 eine Steigerung anschließt. Diese Entwicklung beginnt somit deutlich vor der Finanz- und Wirtschaftskrise und wird durch eine Rekonfiguration der Akteursstruktur ausgelöst, d. h. die ab 2008 dynamikprägenden Unternehmungen spielten im Jahr 2004 noch eine untergeordnete Rolle oder waren nicht existent.

[1513] Es ist zu beachten, dass kooperative Patentanmeldung Mehrfachzuordnungen von Akteuren zu Offenlegungen induziert, sodass die Summe der identifizierten Anmelder die Summe der Offenlegungen übersteigt.

[1514] Die Gruppe der sonstigen Akteure umfasst alle, die nicht Bestandteil einer der analysierten Gruppen sind. Dies sind u. a. Forschungseinrichtungen, freie Erfinder und kleinere Unternehmungen.

[1515] Das Verhältnis der Anzahl des Auftretens von Akteursgruppen als Patentanmelder kann im Verhältnis zur Summe der Offenlegungen als Indikator des Anteils der Gruppe an der Wissensbasis dienen, wobei kooperative Anmeldungen den Anteil vergrößern. Eine vernachlässigbare Unschärfe entsteht bei dieser Methode durch die geringe Anzahl kooperativer Anmeldungen innerhalb der betrachteten Gruppe.

rieller Ebene. Der Vergleich der **Anteile der Patentbehörden** (Abb. 4-5) lässt trotz Korrekturfaktor eine Dominanz der japanischen Industrie bzw. des JPO gegenüber der amerikanischen Industrie bzw. dem USPTO und insbesondere der deutschen Industrie bzw. dem DPMA erkennen, deren jährlicher Anteil im Untersuchungszeitraum von 11 % auf 5 % absinkt. Hinsichtlich der Dynamik der jährlichen Offenlegungen fallen zudem drei Phasen auf. Im Zeitraum bis 2001 dominieren Publikationen am JPO mit einem durchgängigen Anteil von 60 % bis 80 % die Entwicklung, und damit auch den Zuwachs der 1990er Jahre. Von 2001 bis einschließlich 2007 prägt eine Vervierfachung der jährlichen Offenlegungsrate am USPTO von 236 auf 978 die Gesamtdynamik, deren Umfang sich allerdings von 2007 auf 2008 wieder drittelt und bis 2011 auf etwa das doppelte Niveau von 2001 erholt. Über den gesamten Analysezeitraum ergeben sich kumulativ behördenbezogene Anteile von 66 % am JPO, 30 % am USPTO und 4 % am DPMA.[1516] Ausgehend von prioritärer Anmeldung bei der für das Territorium des Erfinders zuständigen Patentbehörde, deutet dieses Verhältnis auf eine relative Stärke bzw. Tiefe der Wissensbasis japanischer Unternehmen im Bereich der Batterietechnologie hin.[1517]

Die jährliche **Summe kooperativer Offenlegungen** (Abb. 4-6) zeigt sich im untersuchten Zeitraum als überaus volatil. Ausgehend von einer sehr geringen Anzahl im Jahr 1980 zeigen sich lokale Maxima in den Jahren 1987, 2001 und 2007, wobei sich seit 2000 ein erhöhtes Niveau stabilisiert. Die insgesamt 910 Offenlegungen gemeinsamer Anmeldungen der analysierten Akteure entsprechen einem Anteil von ca. 2,6 % an den gesamten Offenlegungen. Da jedoch einerseits nur ein Teil aller Erfindungen zur Patentierung angemeldet wird und bei kooperativen Lernprozessen überdies die Möglichkeit der Anmeldung durch nur einen Partner besteht, indizieren kooperative Anmeldungen eine deutlich höhere Zusammenarbeitsrate.[1518]

Das Auftreten **kooperativer Anmelderpaarungen** (Abb. 4-6) der betrachteten Akteure spiegelt die hohe Volatilität auch auf der Akteursebene wieder, wobei auffällt, dass die Rate intersektoraler gemeinsamer Patentanmeldung von Automobilzulieferern und Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern historisch hoch ist und ein lokales Maximum im Jahr 1987 bedingt. Die Automobilhersteller hingegen meldeten von 1985 bis 1995 verstärkt miteinander Patente an und substituierten dieses Verhalten erst ab 2000 durch intrasektoral-vertikale sowie inter-

---

[1516] Vgl. auch Abb. 4-4

[1517] Die überwiegend prioritäre Anmeldung bei der für das Territorium des Erfinders zuständigen Behörde wird auch in der Literatur bestätigt. Vgl. GRUPP 1997, Seite 165. Die Stärke Japans im Bereich anwendungsorientierter Chemie wurde ebenfalls bereits empirisch nachgewiesen. Vgl. FRIETSCH et al. 2005, Seite 21 ff.

[1518] Wie in Teilkapitel 4.1 erörtert, wird nur ein Teil aller Erfindungen zur Patentierung angemeldet. Die Vielfalt der tatsächlichen technologischen Lernprozesse ist folglich höher als durch die Erstveröffentlichungen der Behörden indiziert. Hinsichtlich gemeinsamer Patentierung ist dieses Argument dadurch zu erweitern, dass bei kooperativer F&E die Patentanmeldung oftmals nur durch einen Partner durchgeführt wird. Es ist demnach davon auszugehen dass die reale Anzahl kooperativer Lernprozesse um einen höheren Faktor oberhalb der gemessenen liegt, als die Anzahl aller Lernprozesse oberhalb der gemessenen Offenlegungen.

sektorale (laterale) Kooperationen mit Zulieferern sowie Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern.[1519] Unter Letzteren sind seit Mitte der 1980er Jahre ebenfalls durchgängig gemeinsame Anmeldungen festzustellen. Kumulativ wird deutlich, dass die untersuchten kooperativen Anmelderpaarungen in den 910 kooperativen Offenlegungen insgesamt 944 mal auftreten.[1520] Innerhalb dieser Gesamtmenge kooperativer Paarungen zeigt sich, dass intrasektoralkooperative Patentanmeldungen der Automobilindustrie mit 18 % der gemeinsamen Anmeldungen unterhalb des kooperativen Anteils innerhalb der Batterie- und Brennstoffzellenentwickler mit 26 % verbleibt. Der wesentliche Anteil von 56 % der gemeinsamen Anmeldungen hingegen resultiert aus intersektoralen technologischen Kooperationen, wobei die Zusammenarbeit zwischen Automobilzulieferern und Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern mit 42 % dominiert.[1521] Diese Konstellation kooperativer Exploration erscheint auch aufgrund der wesentlichen Anteile dieser Akteursgruppen an der Wissensbasis zur Batterietechnologie (BFD: 46 %, SUP: 26 %) als besonders vielversprechend. Die seit Anfang der 1980er Jahre etablierte intersektorale Zusammenarbeit dieser Akteure bietet überdies eine Grundlage relationalen Kapitals der heterogenen Akteure zur Erschließung unternehmensübergreifender Lerneffekte (*cross-firm economy of learning*). Innerhalb des kooperativen Lernprozesses eröffnen diese Aspekte im Zusammenspiel mit kooperativen Wissensbasen und absorptiven Fähigkeiten die Möglichkeit zur Erschließung extensiver technologischer Möglichkeiten mit hohem Innovationswert, z. B. durch *cross-fertilization*-Effekte.[1522] Verglichen mit den Automobilzulieferern befinden sich die Automobilhersteller bzgl. kooperativer Exploration in einer inferioren Ausgangssituation, da sie sowohl eine geringere eigene Wissensbasis zur Batterietechnologie besitzen als auch weniger relationales Kapital (kooperative Wissensbasis und Verbindungen) zu den technologisch dominanten Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern aufweisen. Die Veranschaulichung der **Anteile der Patentbehörden** (Abb. 4-5) an den kooperativen Offenlegungen verdeutlicht erneut die dominante Rolle des JPO, das über den gesamten Zeitraum die Offenlegungsrate prägt und kumulativ einen Anteil von 77 % erreicht, während USPTO und DPMA bei 15 % und 8 % verbleiben. Im Vergleich zur Perspektive aller Erstveröffentlichungen verstärkt sich das Übergewicht des JPO auf kooperativer Ebene um 11 %, während sich der Anteil des USPTO um 15 % verringert und der des DPMA um 4 % steigert. Bei diesen Verschiebungen ist von einem engen Zusammenhang mit den kooperationsorientierten japanischen Keiretsu und der starken Wettbewerbsorientierung amerikanischer Unternehmen auszugehen. Diese regionenspezifischen Unterschiede in der Kooperationsneigung führen zu heterogener Ausprägung relationalen Kapitals.

[1519] Kooperative Anmeldungen zwischen Automobilzulieferern sind demgegenüber insgesamt kaum vorhanden.
[1520] Die Abweichung ergibt sich aus einer geringen Anzahl von Kooperationen mit mehr als 2 Akteuren, die in der Auswertungslogik der paarweisen Anmelderkonstellationen mehrfach erfasst werden.
[1521] Der Anteil gemeinsamer Anmeldungen zwischen Automobilherstellern und -zulieferern liegt bei 14 %.
[1522] Vgl. Absatz 2.3.4.3

Die **Summe automobilbezogener Offenlegungen** (Abb. 4-5) stagnierte bis einschließlich 1994 mit durchschnittlich 2 Publikationen p. a. auf sehr geringem Niveau. Seit 1995 ist jedoch ein starker Anstieg der Aktivitäten zu verzeichnen, der im Jahr 2011 zu insgesamt 47 Offenlegungen mit Automobilbezug führte, was die zunehmende Relevanz der Batterietechnologie für das Automobil bzw. insbesondere seinen Antrieb andeutet. Kumulativ wird über den Untersuchungszeitraum ein Volumen von 321 automobilbezogenen Offenlegungen erreicht, was einem Anteil von etwa 0,9 % entspricht. Mit Blick auf die **Anteile der Akteursgruppen** (Abb. 4-6) fällt auf, dass der verhaltene Anstieg der jährlichen Offenlegungsrate von 1996 bis 2001 durch die Batterie- und Brennstoffzellenentwickler sowie ab 2004 durch die Automobilhersteller geprägt war. Im Jahr 2011 traten die Automobilhersteller bereits bei 37 % der automobilbezogenen Offenlegungen zur Batterietechnologie als Anmelder auf und erreichten in nur 8 Jahren einen kumulativen Anteil von 27 % der automobilbezogenen Erstveröffentlichungen. Die Automobilzulieferer sowie Batterie- und Brennstoffzellenentwickler verfügen über 13 % und 24 %. Mit Blick auf die **Anteile der Patentbehörden** (Abb. 4-5) zeigt sich, dass das geringe Niveau automobilbezogener Erstveröffentlichungen historisch durch JPO und USPTO geprägt ist, die kumulativ Anteile von 50 % und 42 % erreichen. Nennenswerte Aktivitäten am DPMA sind erst ab 2008 zu verzeichnen, woraus sich insgesamt ein behördenspezifischer Anteil von 8 % ergibt. Die Gegenüberstellung mit der Ebene aller Offenlegungen zeigt, dass USPTO und DPMA bei den automobilbezogenen Publikationen um 12 % und 4 % an Bedeutung gewinnen, während sich der Anteil des JPO um 16 % reduziert.

Abschließend ist zu erwähnen, dass über die drei Patentbehörden im Untersuchungszeitraum lediglich 7 batteriebezogene **kooperative Anmeldungen mit Automobilbezug** der betrachteten Akteure erfolgten, sodass auf diese Teilmenge nicht näher eingegangen wird.[1523]

[1523] Diese 7 Offenlegungen entfallen auf das JPO, wobei 5 durch Automobilzulieferer und Batterie- und Brennstoffzellenentwickler sowie 2 zwischen letzteren gemeinsam angemeldet wurden.

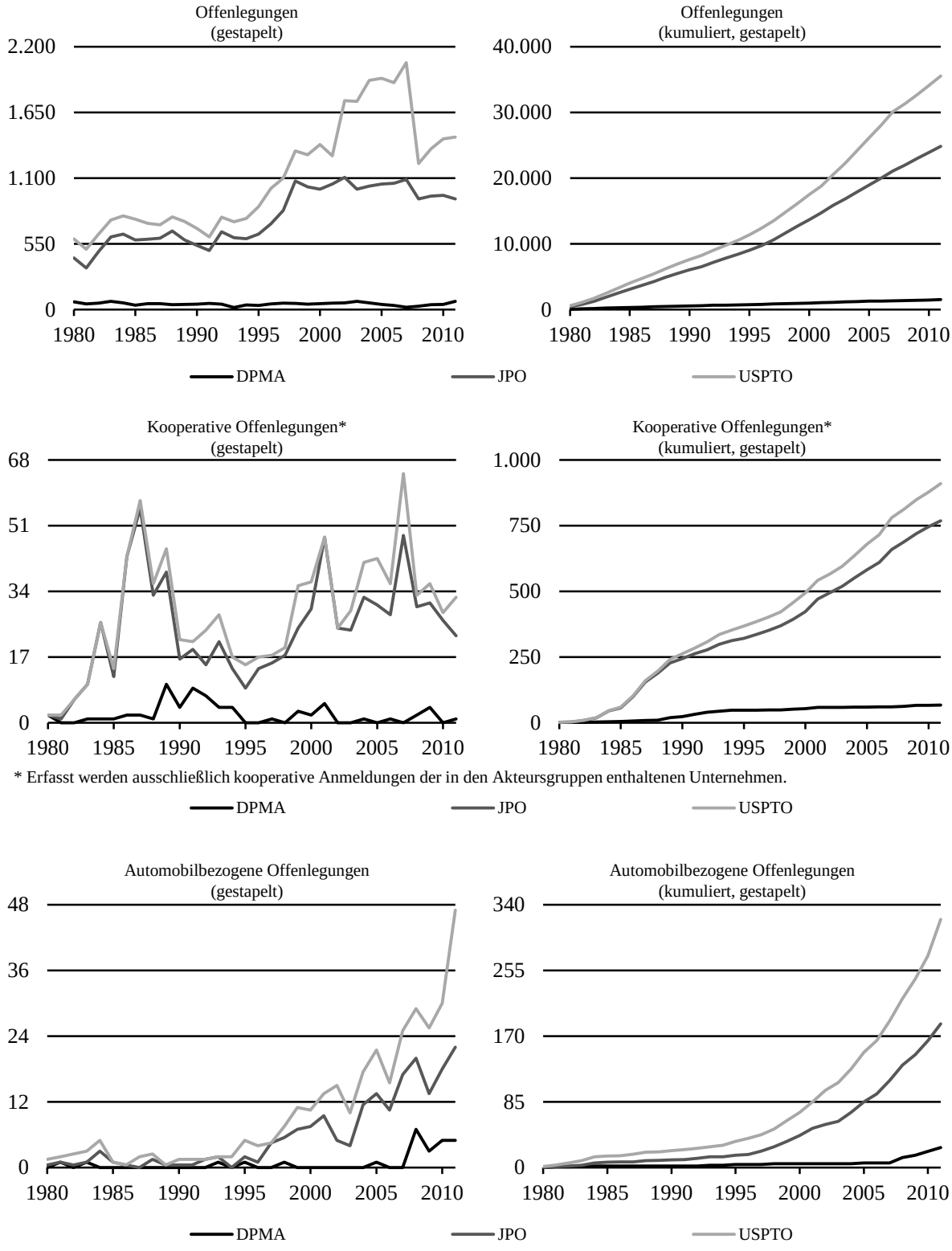


Abb. 4-5: Batteriebezogene Offenlegungen nach Patentbehörden global[1524]

[1524] Eigene Darstellung aus einer Aggregation der Auswertungsergebnisse von DPMA, JPO und USPTO sowie unter Einbezug des Korrekturfaktors 0,5 für Erstveröffentlichungen am JPO

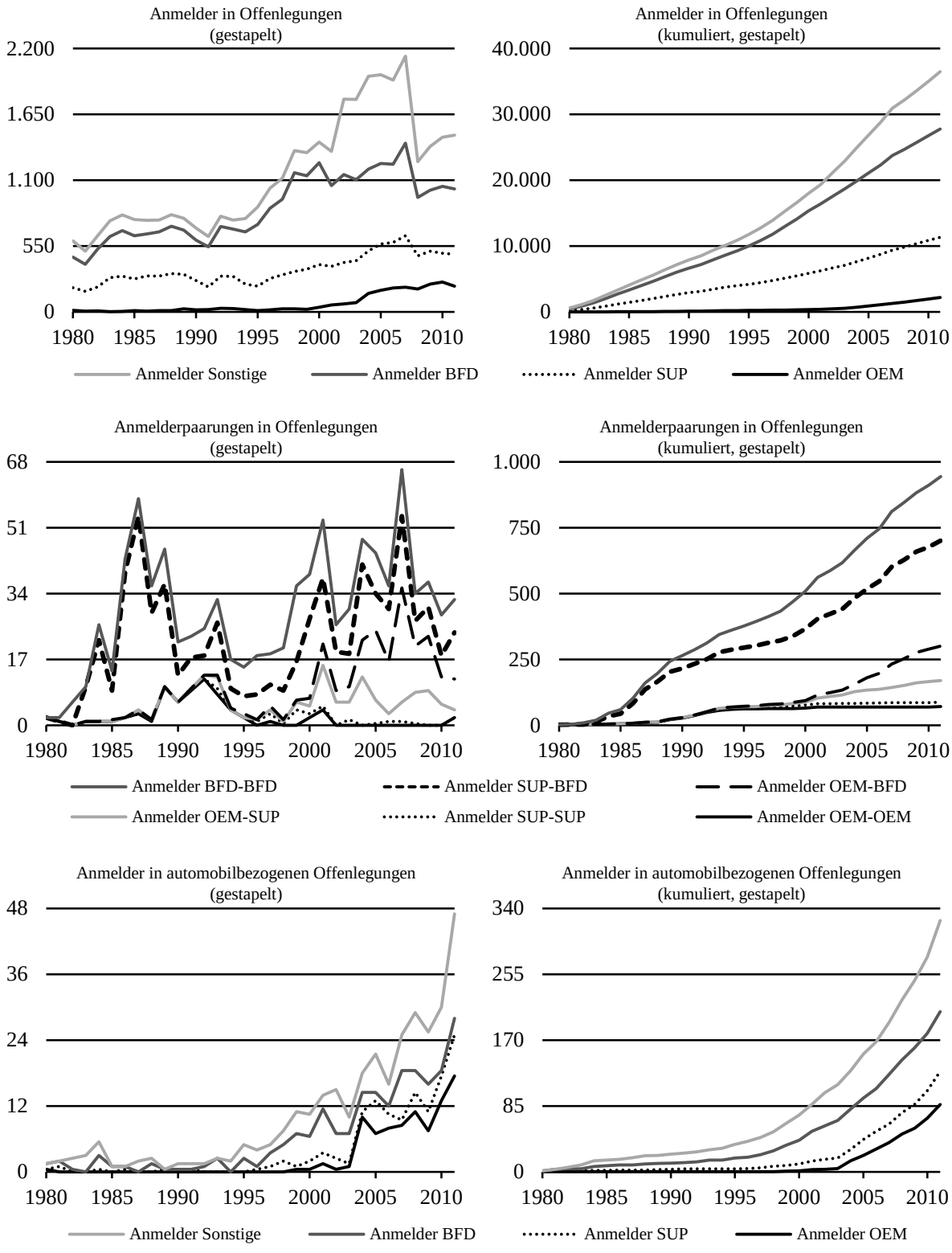


Abb. 4-6: Anmelder in batteriebezogenen Offenlegungen global[1525]

[1525] Eigene Darstellung aus einer Aggregation der Auswertungsergebnisse von DPMA, JPO und USPTO sowie unter Einbezug des Korrekturfaktors 0,5 für Erstveröffentlichungen am JPO

4.4.5.2 Nationale Offenlegungen zur Batterie nach Akteuren

Dieser Absatz stellt die batteriebezogenen Aktivitäten der Akteursgruppen als Patentanmelder am DPMA (Abb. 4-8), JPO (Abb. 4-9) und USPTO (Abb. 4-10) gegenüber. Da die Argumentation für eine bessere Vergleichbarkeit auf relationaler Ebene erfolgt, ist vorab zu betonen, dass sich die Prozentsätze auf die jeweils behördenspezifischen Summen von Offenlegungen und Anmelderpaarungen beziehen.

Die Anmeldeaktivität der Akteursgruppen in batteriebezogenen Offenlegungen indiziert die **Verteilung der batteriebezogenen Wissensbasis** (vgl. Abb. 4-7 links). Dabei entsprechen 100 % am DPMA 1.521, am JPO 23.329 und am USPTO 10.697 Offenlegungen. In diesem Bereich weisen die Batterie- und Brennstoffzellenentwickler Anteile von 35 % am DPMA, 56 % am JPO und 27 % am USPTO auf. Die Automobilindustrie hingegen verfügt über 31 %, 40 % und 15 % der technologischen Basis.[1526] Die gruppenspezifisch tiefste Wissensbasis erreichen die Automobilhersteller mit 14 % am DPMA, die Automobilzulieferer mit 33 % am JPO und die Batterie- und Brennstoffzellenentwickler mit 56 % ebenfalls am JPO. Die Konzentration des technologischen Wissens auf die untersuchten Akteursgruppen fällt überdies am JPO besonders hoch aus, wohingegen am USPTO seit 2001 ein hoher Anteil fragmentierter, sonstiger Anmelder zu bemerken ist.[1527] Insgesamt weisen die Batterie- und Brennstoffzellenentwickler an allen drei untersuchten Behörden die tiefste Wissensbasis zur Batterietechnologie auf, sodass intersektorale kooperative Exploration zwischen der Automobilindustrie und dieser Gruppe durchgängig als aussichtsreich erscheint.

Die **kooperative Orientierung** der Akteursgruppen wird anhand ihres Auftretens in **kooperativen Anmelderpaarungen** deutlich (vgl. Abb. 4-7 rechts). Die Summe dieser Paarungen unterscheidet sich je nach Behörde, wobei 100 % am DPMA 74, am JPO 727 und am USPTO 143 Paarungen entsprechen. So erreichen intrasektorale Kooperationen der Automobilindustrie am DPMA 85 %, am JPO 10 % und am USPTO 23 %, wobei insbesondere die hohe Zusammenarbeitsrate von 73 % zwischen Automobilherstellern am DPMA auffällt, die am JPO 0 % beträgt.[1528] Kooperationen zwischen Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern hingegen haben unter den gemeinsamen Anmeldungen Anteile von 2 % am DPMA, 29 % am JPO und 22 % am USPTO. Intersektorale Kooperationen von Vertretern der Automobilindustrie mit

---

[1526] Zusammensetzung der Anteile: 31 % am DPMA aus 14 % OEM und 17 % SUP; 40 % am JPO aus 7 % OEM und 33 % SUP; 15 % am USPTO aus 4 % OEM und 11 % SUP

[1527] Der seit Ende 2000 auf die Offenlegung aller Anmeldungen umgestellte Prozess des USPTO legt eine sehr hohe Anmeldungsrate sonstiger Akteure offen, wobei am Beispiel der Batterietechnologie auffällt, dass es sich dabei insbesondere um freie Erfinder handelt. Die Tatsache, dass der Anteil der sonstigen Akteure vorher deutlich geringer ausfällt, legt die Vermutung nahe, dass lediglich ein geringer Anteil dieser Anmeldungen zu Patenterteilungen führt. Vgl. Teilkapitel 4.1

[1528] Zusammensetzung der Anteile: 85 % am DPMA aus 73 % OEM-OEM, 5 % SUP-SUP und 7 % OEM-SUP; 10 % am JPO aus 1 % SUP-SUP und 9 % OEM-SUP; 23 % am USPTO aus 13 % OEM-OEM, 2 % SUP-SUP und 8 % OEM-SUP

Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern summieren sich am DPMA auf 13 %, am JPO auf 61 % und am USPTO auf 55 % der kooperativen Paarungen.[1529] Bemerkenswert ist hier v. a. die gegenüber dem DPMA hohe Zusammenarbeit zwischen Automobilzulieferern und Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern am JPO (46 %) sowie USPTO (42 %). Unter Berücksichtigung der Relationen der Wissensbasen ist insbesondere diese intersektorale technologische Kooperation aussichtsreich zur Exploration extensiver technologischer Möglichkeiten.

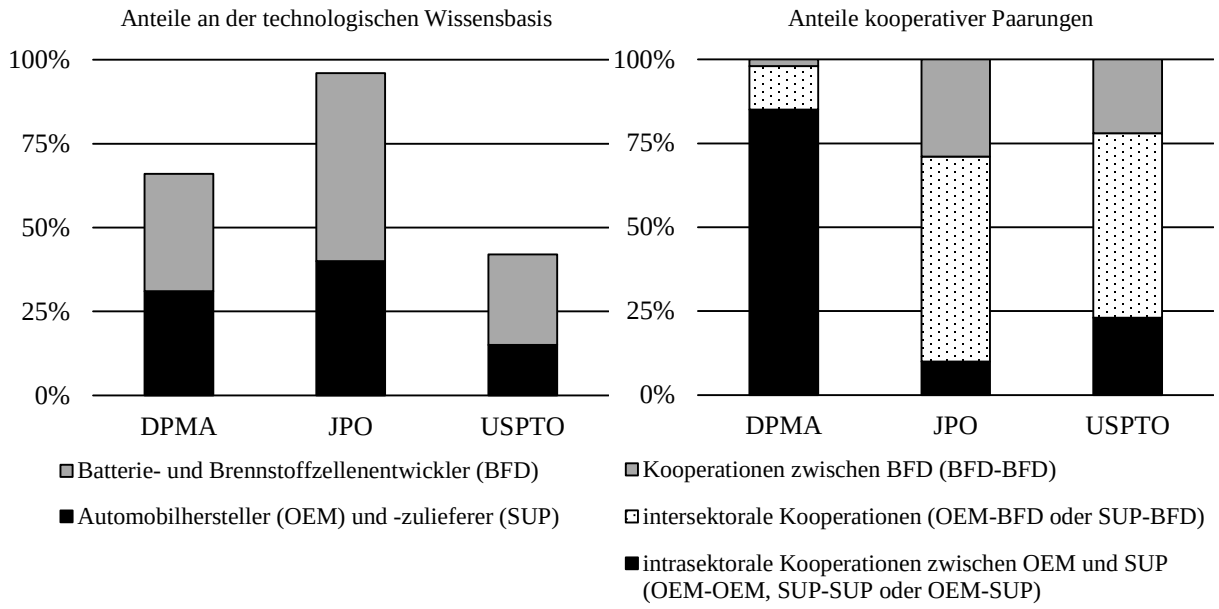


Abb. 4-7: Batteriebezogene Wissensbasen und Kooperationen[1530]

Das Engagement der Akteursgruppen als Anmelder in **automobilbezogenen Offenlegungen** spiegelt die zunehmende **Relevanz der Batterietechnologie für den automobilen Antrieb** wider. Die Summe automobilbezogener Offenlegungen fällt global insgesamt gering aus, stieg jedoch in den letzten Jahren stark an. Auf Behördenebene entsprechen 100 % am DPMA 26, am JPO 160 und am USPTO 135 Offenlegungen. Die Anteile der Automobilindustrie fallen in diesem Bereich am DPMA und am JPO mit 58 % und 61 % deutlich höher aus als auf der Ebene aller batteriebezogenen Offenlegungen, am USPTO bleibt der Wert mit 13 % gering.[1531] Die Batterie- und Brennstoffzellenentwickler erreichen Anteile von 23 % am DPMA, 34 % am JPO und 13 % am USPTO, was ihre Ambitionen für einen Eintritt in das künftige technologische Regime des elektrischen Antriebs unterstreicht.

[1529] Zusammensetzung der Anteile: 13 % am DPMA aus 8 % OEM-BFD und 5 % SUP-BFD; 61 % am JPO aus 15 % OEM-BFD und 46 % SUP-BFD; 55 % am USPTO aus 13 % OEM-BFD und 42 % SUP-BFD

[1530] Eigene Darstellung als Exzerpt aus Abb. 4-8, Abb. 4-9 und Abb. 4-10

[1531] Zusammensetzung der Anteile: 58 % am DPMA aus 23 % OEM und 35 % SUP; 61 % am JPO aus 42 % OEM und 19 % SUP; 13 % am USPTO aus 10 % OEM und 3 % SUP

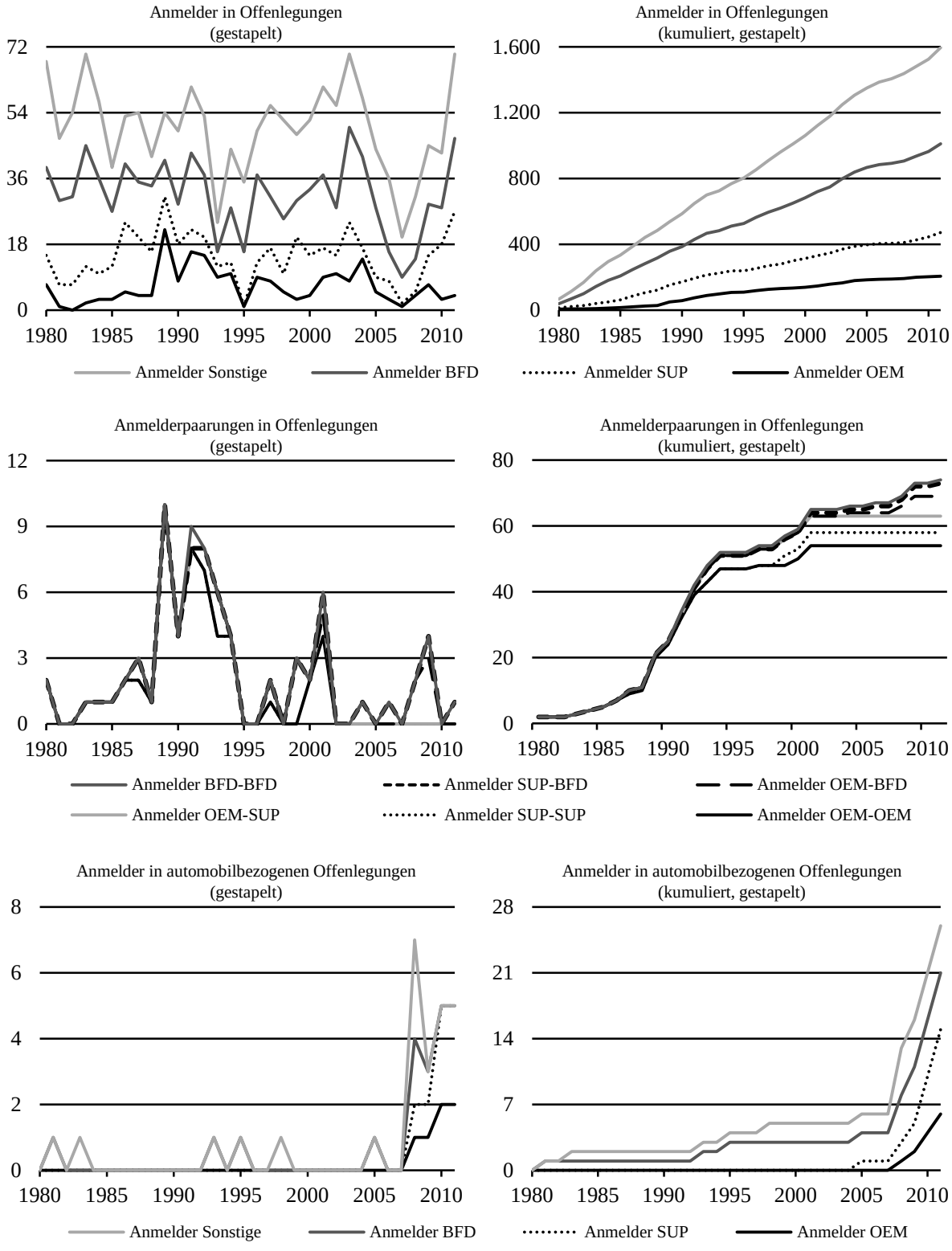


Abb. 4-8: Anmelder in batteriebezogenen Offenlegungen am DPMA[1532]

[1532] Eigene Darstellung

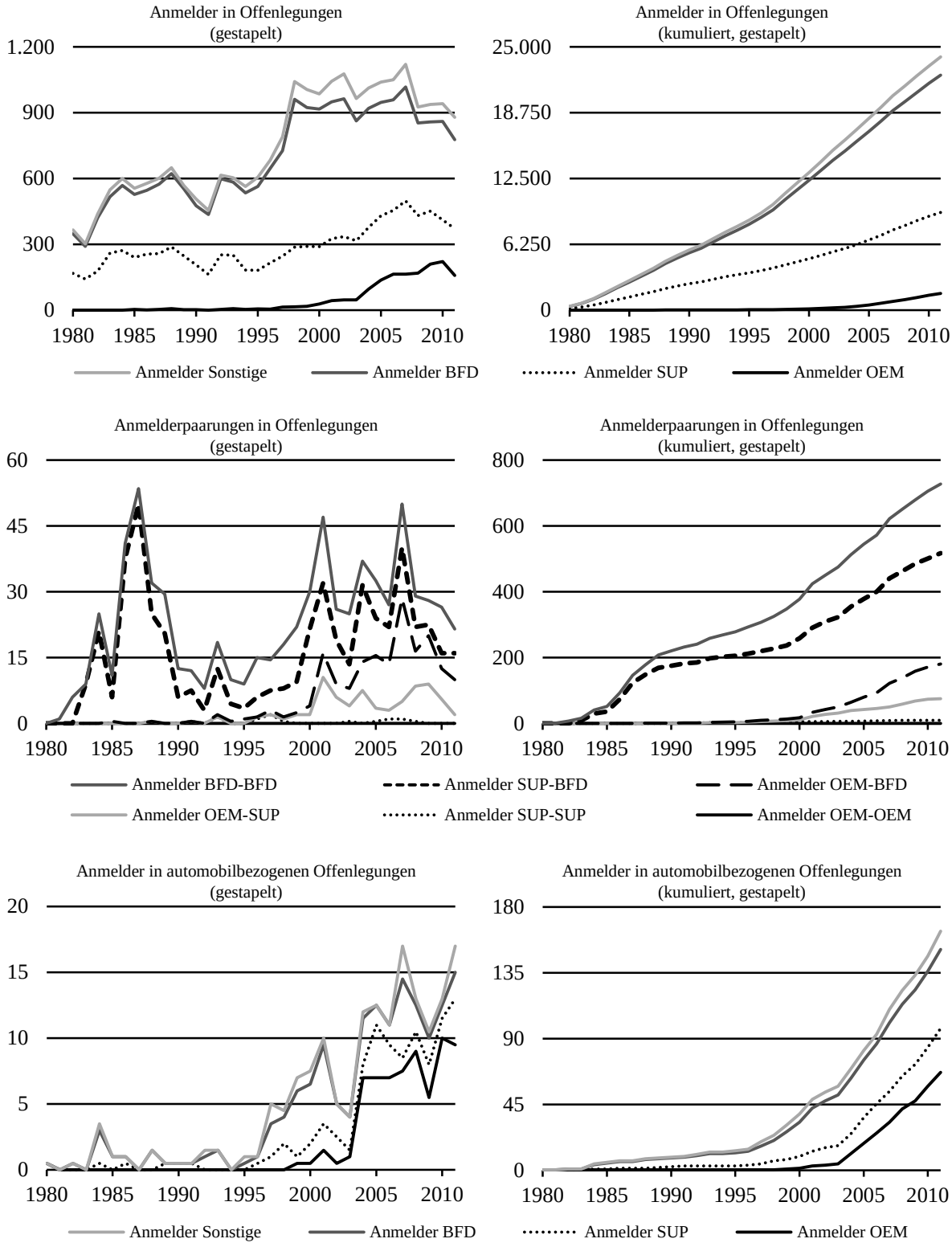


Abb. 4-9: Anmelder in batteriebezogenen Offenlegungen am JPO[1533]

[1533] Eigene Darstellung unter Einbezug des Korrekturfaktors 0,5

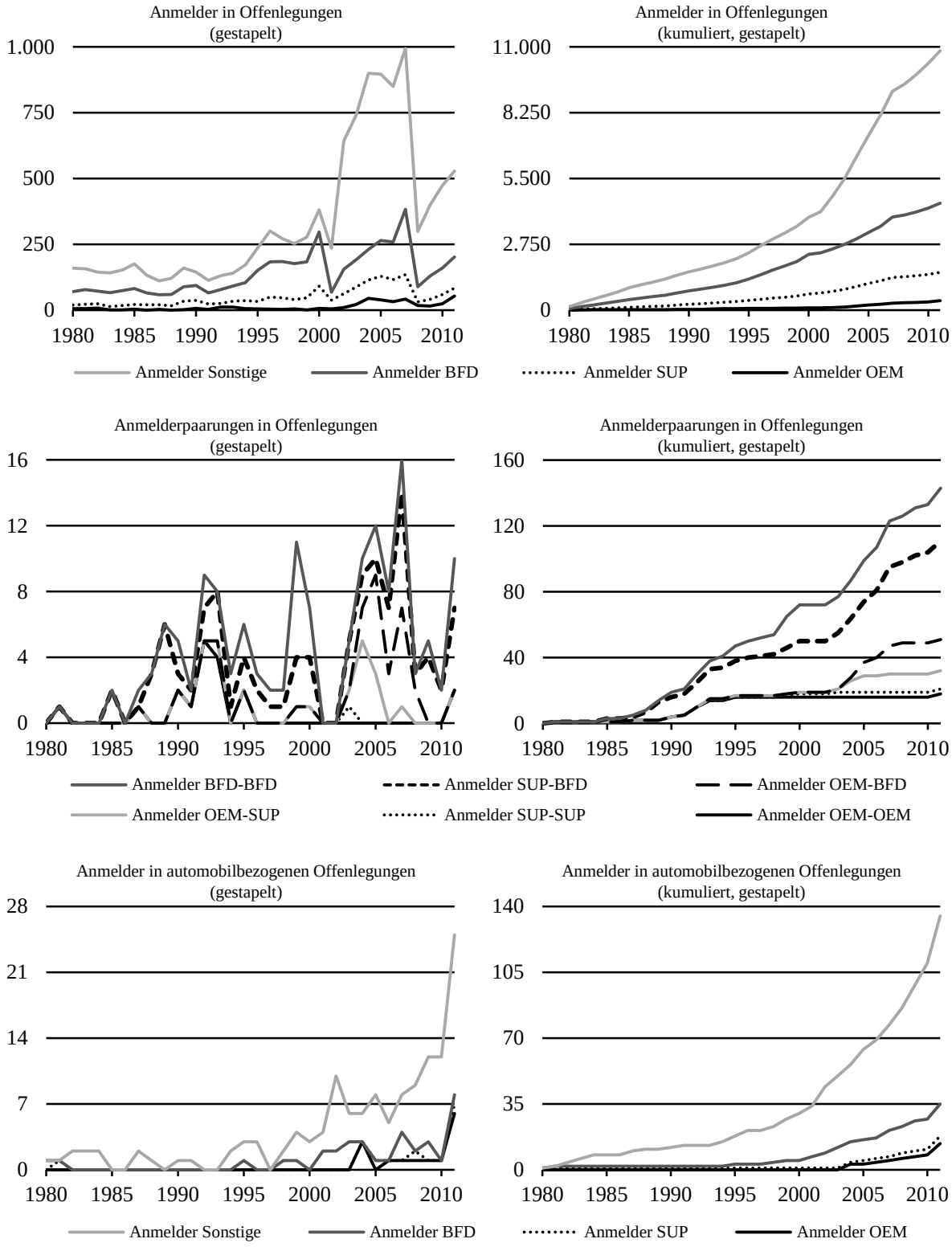


Abb. 4-10: Anmelder in batteriebezogenen Offenlegungen am USPTO[1534]

[1534] Eigene Darstellung

4.4.5.3 Globale Offenlegungen zur Brennstoffzelle nach Akteuren und Behörden

Dieser Absatz erörtert die in Abb. 4-11 und Abb. 4-12 dargestellten Ergebnisse der Auswertung der Erstveröffentlichungen zur Brennstoffzellentechnologie nach Patentbehörden und Akteursgruppen auf globaler Ebene, d. h. aggregiert über DPMA, JPO und USPTO.

Die **Summe der Offenlegungen** (Abb. 4-11) startet mit 49 im Jahr 1980 bei lediglich 8 % der Publikationen zur Batterie im gleichen Jahr und entwickelt sich bis 1999 auf ein Niveau von 523 Offenlegungen. Ab dem Jahr 2000 zeichnet sich eine technologische Euphorie zur Brennstoffzelle ab, welche die jährliche Rate der Erstveröffentlichungen bis 2007 auf ein Maximum von 3.779 steigen lässt, was zu diesem Zeitpunkt nahezu dem Doppelten des zeitgleichen Maximums bei der Batterietechnologie entspricht. Die Reduktion zum Folgejahr 2008 um 26 % steht auch hier in Zusammenhang mit der ab 2007 einsetzenden Finanz- und Wirtschaftskrise.[1535] Im Unterschied zur Batterietechnologie ist jedoch in den Folgejahren bis 2011 keine Stabilisierung, sondern eine weitere Reduktion auf etwa die Hälfte des Maximums von 2007 zu beobachten, was auf eine Ernüchterung in der Potenzialbewertung der Brennstoffzelle hindeutet.[1536] Insgesamt summieren sich die brennstoffzellenbezogenen Offenlegungen, die als Indikator der weltweiten technologischen Wissensbasis interpretierbar sind, im untersuchten Zeitraum auf 36.335 und erreichen damit ein zur Batterietechnologie vergleichbares Niveau. Mit Blick auf die **Anmelderaktivität der Akteursgruppen** (Abb. 4-12) an den gesamten Anmeldungen fällt auf, dass Batterie- und Brennstoffzellenentwickler sowie Automobilzulieferer über den gesamten Untersuchungszeitraum aktiv sind und kumulative Anteile von 39 % und 16 % der Wissensbasis erreichen.[1537] Die Automobilhersteller hingegen treten erst zum Jahrtausendwechsel nennenswert als Patentanmelder auf und verstärken ihre jährlichen Erstveröffentlichungen auf einen Anteil von 36 % im Jahr 2011. So kumulieren die Automobilhersteller innerhalb von nur 11 Jahren einen Anteil von 26 % der Offenlegungen zur Brennstoffzellentechnologie. Der Anteil des innerhalb der Automobilindustrie vorhandenen Wissens an der gesamten technologischen Wissensbasis liegt somit bei der Brennstoffzelle mit 42 % deutlich höher als bei der Batterie mit 32 %. Der Schwerpunkt verschiebt sich von den Automobilzulieferern zu den -herstellern. Trotz der folglich höheren intraindustriellen Potenziale technologischer Zusammenarbeit verbleibt das wesentliche Kooperationspotenzial auf interindustrieller Ebene zwischen den Unternehmen der Automobilindustrie und

---

[1535] Am DPMA ist bereits ab 2005 eine Reduktion der Offenlegungsrate zu beobachten, an die sich ab 2008 eine Erholung anschließt. Diese Entwicklung beginnt somit deutlich vor der Finanz- und Wirtschaftskrise. Sie wird einerseits durch eine temporär verminderte Aktivitätsrate der Daimler AG, die am DPMA eine Schlüsselrolle zur Brennstoffzelle spielt, als auch durch eine Rekonfiguration der Akteursstruktur ausgelöst.

[1536] Diese Interpretation des Verlaufs der Rate der Erstveröffentlichungen zur Brennstoffzellentechnologie zeigt Parallelitäten zur Theorie des *hype cycles*, die in den nächsten Jahren eine Stabilisierung mit anschließend moderater Erholung der Aktivitätsrate erwarten ließe. Vgl. FENN/RASKINO 2008, Seite 9

[1537] Es ist zu beachten, dass kooperative Patentanmeldung Mehrfachzuordnungen von Akteuren zu Offenlegungen induziert, sodass die Summe der identifizierten Anmelder die Summe der Offenlegungen übersteigt.

den Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern. Die Gegenüberstellung der **Anteile der Patentbehörden** (Abb. 4-11) belegt trotz des für das JPO geltenden Korrekturfaktors dessen durchgehend dominanten Anteil an den jährlichen Erstveröffentlichungen, was der Beobachtung bei der Batterietechnologie entspricht. Die Rate der Offenlegungen am USPTO hingegen steigt in der Phase von 2001 bis 2007 überproportional von 147 (15 %) auf 1.349 (36 %) und reduziert sich anschließend bis 2011 wieder auf 551 (30 %). Da die geringe Publikationsrate am DPMA zum Ende der 1990er Jahre moderat ansteigt und keine Hypecharakteristik widerspiegelt, erreicht der Anteil des DPMA lokale Maxima in den Jahren 2001 (21 %) und 2011 (11 %). Kumuliert ergeben sich im Untersuchungszeitraum Anteile von 64 % am JPO, 28 % am USPTO und 8 % am DPMA.[1538] Dieses Verhältnis deutet, ausgehend von prioritärer Anmeldung bei der für das Territorium des Erfinders zuständigen Behörde, auf eine relative Stärke bzw. brennstoffzellenbezogen tiefe Wissensbasis japanischer Unternehmen hin.[1539]

Die jährliche **Summe kooperativer Offenlegungen** (Abb. 4-11) zeigt einen zur Dynamik aller Offenlegungen ähnlichen Verlauf. Ausgehend von einem geringen Niveau in den ersten 20 Jahren steigt die Offenlegungsrate gemeinsamer Anmeldungen ab dem Jahr 2000 deutlich an. Das lokale Maximum von 193 Offenlegungen wird im Jahr 2009 erzielt. Kumulativ erreichen kooperative Anmeldungen im untersuchten Zeitraum mit 1.654 Offenlegungen einen Anteil von etwa 4,6 % und damit ein höheres Niveau als bei der Batterietechnologie (2,6 %). Auch hier gilt jedoch der Einwand, dass kooperative Patentanmeldungen auf eine deutlich höhere Zusammenarbeitsrate hindeuten.[1540] Die Analyse der **kooperativen Anmelderpaarungen** (Abb. 4-12) legt offen, dass die moderate Entwicklung bis zum Ende der 1990er Jahre vorwiegend durch die Zusammenarbeit zwischen den Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern geprägt ist. Der deutliche Zuwachs ab dem Jahr 2000 wird sowohl durch intrasektorale Kooperationen von Automobilherstellern mit -zulieferern als auch durch die Zusammenarbeit dieser Akteursgruppen mit Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern ausgelöst. Die sich ab 2008 andeutende Reduktion des kooperativen Niveaus wird im Jahr 2009 durch aufkommende Kooperationen zwischen den Automobilherstellern überkompensiert, führt dennoch ab 2010 zu einer insgesamt sinkenden Rate. Kumulativ treten die untersuchten Anmelderpaarungen in den 1.654 kooperativen Offenlegungen insgesamt 1.728 mal auf.[1541] Innerhalb dieser Gesamtmenge kooperativer Paarungen entspricht der Anteil intrasektoral-kooperativer Anmeldungen der Automobilindustrie mit 34 % nahezu dem der gemeinsamen Anmeldungen der

[1538] Vgl. Abb. 4-4

[1539] Die überwiegend prioritäre Anmeldung bei der für das Territorium des Erfinders zuständigen Behörde wird auch in der Literatur bestätigt. Vgl. GRUPP 1997, Seite 165. Die Stärke Japans im Bereich anwendungsorientierter Chemie wurde ebenfalls bereits empirisch nachgewiesen. Vgl. FRIETSCH et al. 2005, Seite 21 ff.

[1540] Vgl. Absatz 4.4.5.1

[1541] Die Abweichung ergibt sich aus einer geringen Anzahl von Kooperationen mit mehr als 2 Akteuren, die in der Auswertungslogik der paarweisen Anmelderkonstellationen mehrfach erfasst werden.

Batterie- und Brennstoffzellenentwickler mit 33 %. Der resultierende, intersektorale Kooperationsanteil von 33 % entfällt zu etwa gleichen Teilen auf Kooperationen von Batterie- und Brennstoffzellenherstellern mit Automobilherstellern oder -zulieferern. Auf Grundlage der Verteilung der Wissensbasis zur Brennstoffzellentechnologie (BFD: 39 %, OEM: 26 % und SUP: 16 %) bieten kooperative Konstellationen zwischen diesen Akteursgruppen umfangreiche Potenziale technologischer Exploration. Während die Zusammenarbeit von Automobilherstellern und Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern die Kombination besonders tiefer Wissensbasen und großer Heterogenität zur Erschließung hoher Innovationswerte ermöglicht, bieten Kooperationen zwischen Automobilherstellern und -zulieferern die Vorzüge vorhandenen Vertrauens und kognitiver Nähe innerhalb des technologischen Regimes. Hinsichtlich der **Anteile der Patentbehörden** (Abb. 4-11) zeigt sich erneut die Dominanz des JPO, dessen Anteil kumulativ 82 % beträgt, wobei nennenswerte Aktivitäten an DPMA und USPTO erst ab 2001 zu verzeichnen sind und Anteile von 11 % und 7 % erreichen. Ähnlich zur Batterietechnologie verstärkt sich das Übergewicht des JPO im kooperativen Bereich im Vergleich zur Ebene aller Offenlegungen um 18 %, wohingegen das USPTO 21 % einbüßt und am DPMA ein Zuwachs von 3 % auffällt. Dabei ist wiederum von einem engen Zusammenhang mit den japanischen Keiretsu und der starken Wettbewerbsorientierung amerikanischer Unternehmen auszugehen, was die Bildung relationalen Kapitals beeinflusst.

Die jährliche **Summe automobilbezogener Erstveröffentlichungen** (Abb. 4-11) zur Brennstoffzelle liegt bis 1990 unterhalb von 1 % der gesamten Offenlegungen, steigert sich jedoch bis 2011 auf über 9 %, was die zunehmende Relevanz für den automobilen Antrieb widerspiegelt. Die in Summe 2.067 automobilbezogenen Offenlegungen entsprechen einem Anteil von 5,7 %, der etwa sechsfach höher liegt als bei der Batterietechnologie. Die Analyse der **Anteile der Akteursgruppen** (Abb. 4-12) zeigt, dass diese Entwicklung durch die Automobilhersteller gestaltet wird, deren Anteil an den Erstveröffentlichungen 2011 bei 87 % liegt und kumulativ 65 % erreicht. Kombiniert mit den 12 % der Automobilzulieferer tritt die Automobilindustrie in etwa 77 % der automobilbezogenen Offenlegungen als Anmelder auf, wohingegen auf Batterie- und Brennstoffzellenentwickler 12 % entfallen. Bzgl. der **Anteile der Patentbehörden** (Abb. 4-11) fällt der komparativ zu allen Erstveröffentlichungen doppelte Anteil des DPMA von 19 % auf, JPO und USPTO hingegen liegen bei 58 % und 23 %. Zudem ist von 2010 auf 2011 lediglich am DPMA eine steigende automobilbezogene Offenlegungsrate zur Brennstoffzellentechnologie zu verzeichnen.

Abschließend ist zu erwähnen, dass über die drei Patentbehörden im Untersuchungszeitraum nur 133 brennstoffzellenbezogene **kooperative Anmeldungen mit Automobilbezug** unter den analysierten Akteuren erfolgen, sodass darauf nicht näher eingegangen wird.[1542]

[1542] Von diesen 133 Offenlegungen entfallen 58 auf das DPMA, 69 auf das JPO und 6 auf das USPTO.

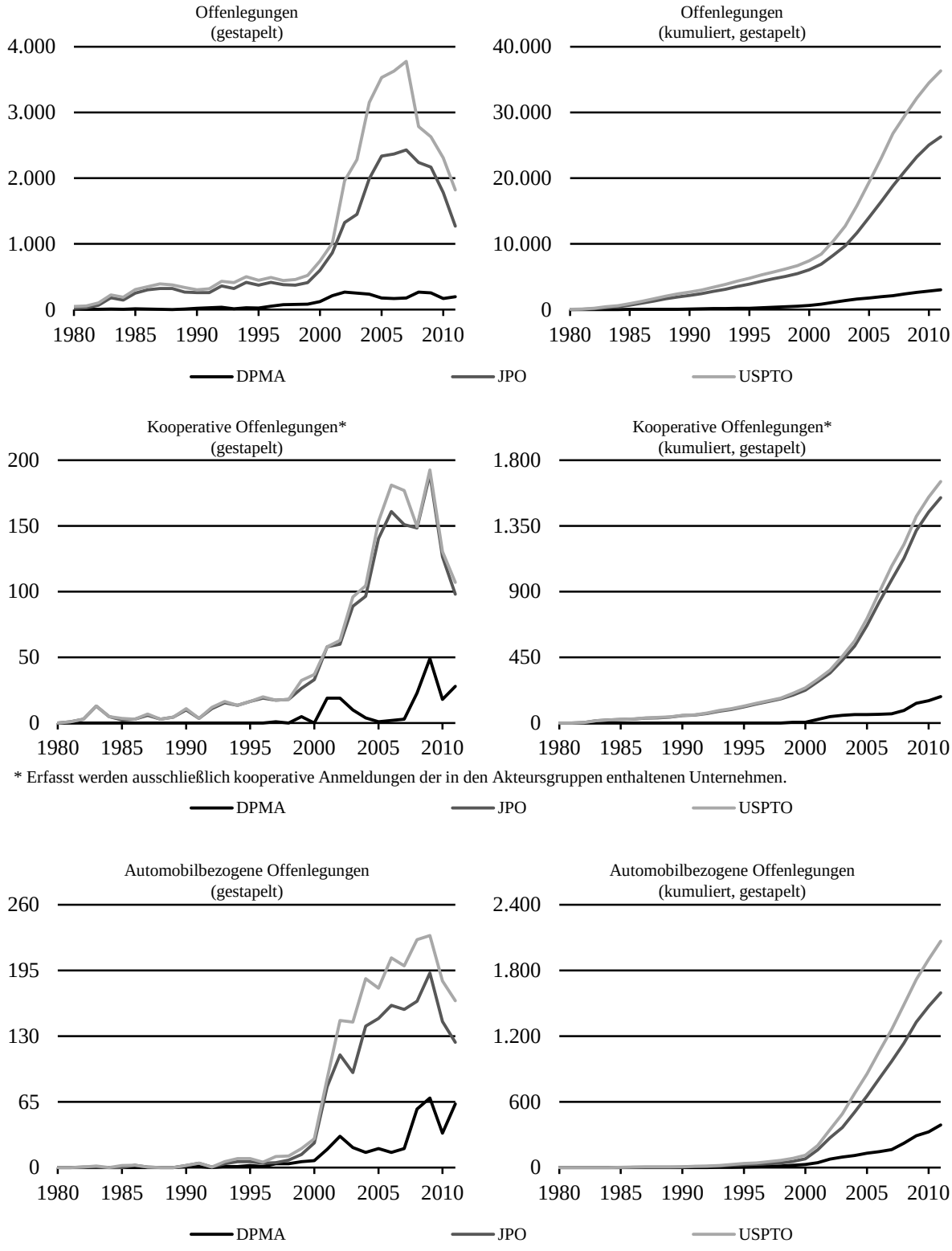


Abb. 4-11: Brennstoffzellenbezogene Offenlegungen nach Patentbehörden global[1543]

[1543] Eigene Darstellung aus einer Aggregation der Auswertungsergebnisse von DPMA, JPO und USPTO sowie unter Einbezug des Korrekturfaktors 0,5 für Erstveröffentlichungen am JPO

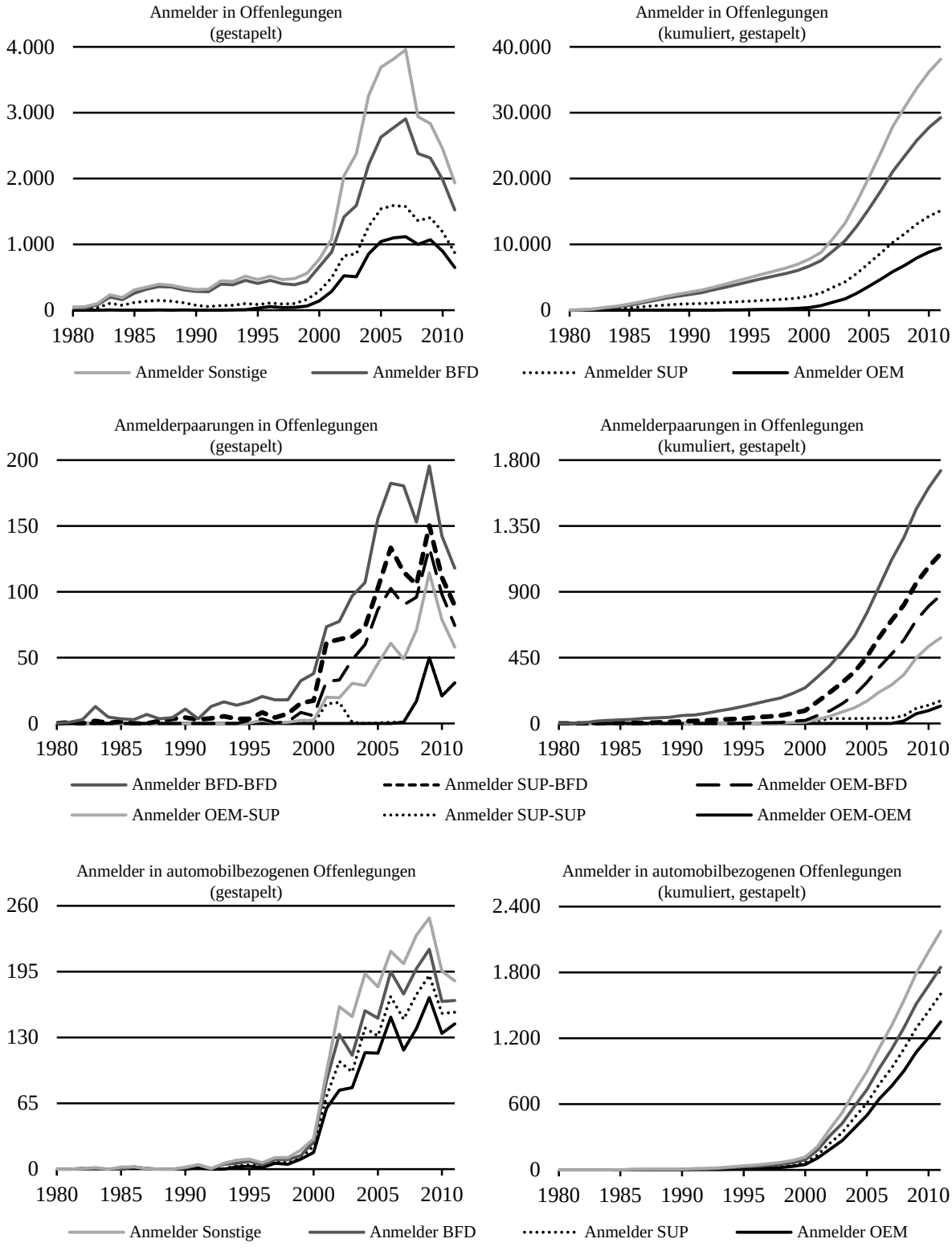


Abb. 4-12: Anmelder in brennstoffzellenbezogenen Offenlegungen global[1544]

[1544] Eigene Darstellung aus einer Aggregation der Auswertungsergebnisse von DPMA, JPO und USPTO sowie unter Einbezug des Korrekturfaktors 0,5 für Erstveröffentlichungen am JPO

4.4.5.4 Nationale Offenlegungen zur Brennstoffzelle nach Akteuren

Dieser Absatz stellt die brennstoffzellenbezogenen Aktivitäten der Akteursgruppen als Patentanmelder am DPMA (Abb. 4-14), JPO (Abb. 4-15) und USPTO (Abb. 4-16) gegenüber. Für eine bessere Vergleichbarkeit erfolgt die Argumentation auch hier auf relationaler Ebene, wobei sich die angeführten Prozentsätze auf die jeweils behördenspezifischen Summen von Offenlegungen und Anmelderpaarungen beziehen.

Die Anmeldeaktivität der Akteursgruppen in brennstoffzellenbezogenen Offenlegungen indiziert die **Verteilung der brennstoffzellenbezogenen Wissensbasis** (vgl. Abb. 4-13 links). 100 % entsprechen dabei am DPMA 3.013, am JPO 23.294 und am USPTO 10.028 Offenlegungen. Batterie- und Brennstoffzellenentwickler besitzen Anteile von 29 % am DPMA, 48 % am JPO und 20 % am USPTO. Die Automobilindustrie hingegen verfügt über 51 %, 50 % und 19 % der technologischen Basis.[1545] Analog zur Batterie erreichen die Automobilhersteller die gruppenspezifisch tiefste Wissensbasis mit 35 % am DPMA, die Automobilzulieferer mit 19 % erneut am JPO und die Batterie- und Brennstoffzellenentwickler mit 48 % ebenfalls am JPO. Die Konzentration des technologischen Wissens auf die untersuchten Akteursgruppen fällt wiederum am JPO hoch aus, wohingegen am USPTO seit 2001 ein immenser Anteil fragmentierter, sonstiger Anmelder zu bemerken ist.[1546] Im Vergleich zur Batterie liegt bei der Brennstoffzelle somit ein erhöhter Wissensanteil bei der Automobilindustrie. Dies führt am DPMA dazu, dass die Automobilhersteller die tiefste Wissensbasis aufweisen. Am JPO und USPTO sind analog zur Batterietechnologie die Batterie- und Brennstoffzellenentwickler die stärkste Anmeldergruppe, die Automobilindustrie liegt allerdings nahezu gleichauf. Aus der Verteilung der technologischen Basis zur Brennstoffzelle resultiert analog zur Batterie erhebliches Potenzial intersektoral kooperativer Exploration.

Die Häufigkeit des Auftretens **kooperativer Anmelderpaarungen** zeigt die **kooperative Orientierung** der Akteursgruppen (vgl. Abb. 4-13 rechts). Je nach Behörde entsprechen 100 % am DPMA 213, am JPO 1.405 und am USPTO 110 gemeinsamen Anmeldungen. So erreichen intrasektorale Kooperationen der Automobilindustrie am DPMA 71 %, am JPO 29 % und am USPTO 23 %, wobei insbesondere die hohe Zusammenarbeitsrate von 52 % zwischen Automobilherstellern am DPMA auffällt, die am JPO 0 % beträgt.[1547] Batterie- und Brennstoffzellenentwickler kooperieren am DPMA zu 3 %, am JPO zu 37 % und am USPTO

[1545] Zusammensetzung der Anteile: 51 % am DPMA aus 35 % OEM und 16 % SUP; 50 % am JPO aus 31 % OEM und 19 % SUP; 19 % am USPTO aus 13 % OEM und 6 % SUP

[1546] Der seit Ende 2000 auf die Offenlegung aller Anmeldungen geänderte Prozess des USPTO legt eine hohe Anmeldungsrate sonstiger Akteure offen, wobei auch bei der Brennstoffzellentechnologie auffällt, dass es sich dabei v. a. um freie Erfinder handelt. Da der Anteil sonstiger Akteure vorher deutlich geringer ausfiel, ist zu vermuten, dass nur ein kleiner Anteil dieser Anmeldungen zu Erteilungen führt. Vgl. Teilkapitel 4.1

[1547] Zusammensetzung der Anteile: 71 % am DPMA aus 52 % OEM-OEM, 17 % SUP-SUP und 2 % OEM-SUP; 29 % am JPO aus OEM-SUP; 23 % am USPTO aus 9 % OEM-OEM und 14 % OEM-SUP

zu 38 % miteinander. Intersektorale Kooperationen von Vertretern der Automobilindustrie mit Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern summieren sich am DPMA auf 26 %, am JPO auf 34 % und am USPTO auf 39 % der kooperativen Paarungen.[1548] Bemerkenswert ist in diesem Kontext v. a. die geringe Zusammenarbeit zwischen Automobilherstellern und Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern am DPMA mit 7 %. Unter Berücksichtigung der Relationen der Wissensbasen ist jedoch insbesondere die intersektorale technologische Kooperation zur Exploration extensiver technologischer Möglichkeiten aussichtsreich.

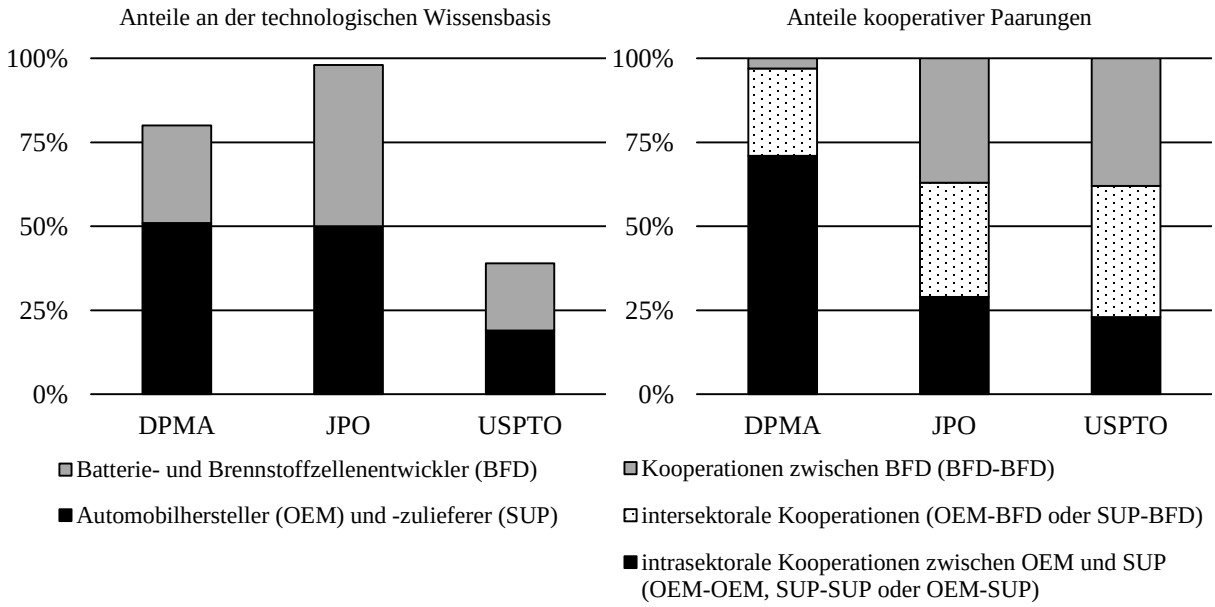


Abb. 4-13: Brennstoffzellenbezogene Wissensbasen und Kooperationen[1549]

Anhand des Engagements der Akteursgruppen als Anmelder in **automobilbezogenen Offenlegungen** wird die zunehmende **Relevanz der Brennstoffzellentechnologie für den automobilen Antrieb** erkennbar. Dabei fällt die Summe derartiger Offenlegungen im Vergleich zur Batterie höher aus und steigt ebenfalls in den letzten Jahren stark an. Auf Behördenebene entsprechen 100 % am DPMA 389, am JPO 1.208 und am USPTO 470 Offenlegungen. Die Anteile der Automobilindustrie fallen am DPMA und am JPO mit 94 % und 87 % deutlich höher aus als auf der Ebene aller brennstoffzellenbezogenen Offenlegungen, am USPTO liegt dieser Wert bei 40 %.[1550] Die Batterie- und Brennstoffzellenentwickler erreichen komparativ geringe Anteile von 17 % am DPMA, 11 % am JPO und 9 % am USPTO.

[1548] Zusammensetzung der Anteile: 26 % am DPMA aus 7 % OEM-BFD und 19 % SUP-BFD; 34 % am JPO aus 18 % OEM-BFD und 16 % SUP-BFD; 39 % am USPTO aus 19 % OEM-BFD und 20 % SUP-BFD

[1549] Eigene Darstellung als Exzerpt aus Abb. 4-14, Abb. 4-15 und Abb. 4-16

[1550] Zusammensetzung der Anteile: 94 % am DPMA aus 66 % OEM und 28 % SUP; 87 % am JPO aus 77 % OEM und 10 % SUP; 40 % am USPTO aus 36 % OEM und 4 % SUP

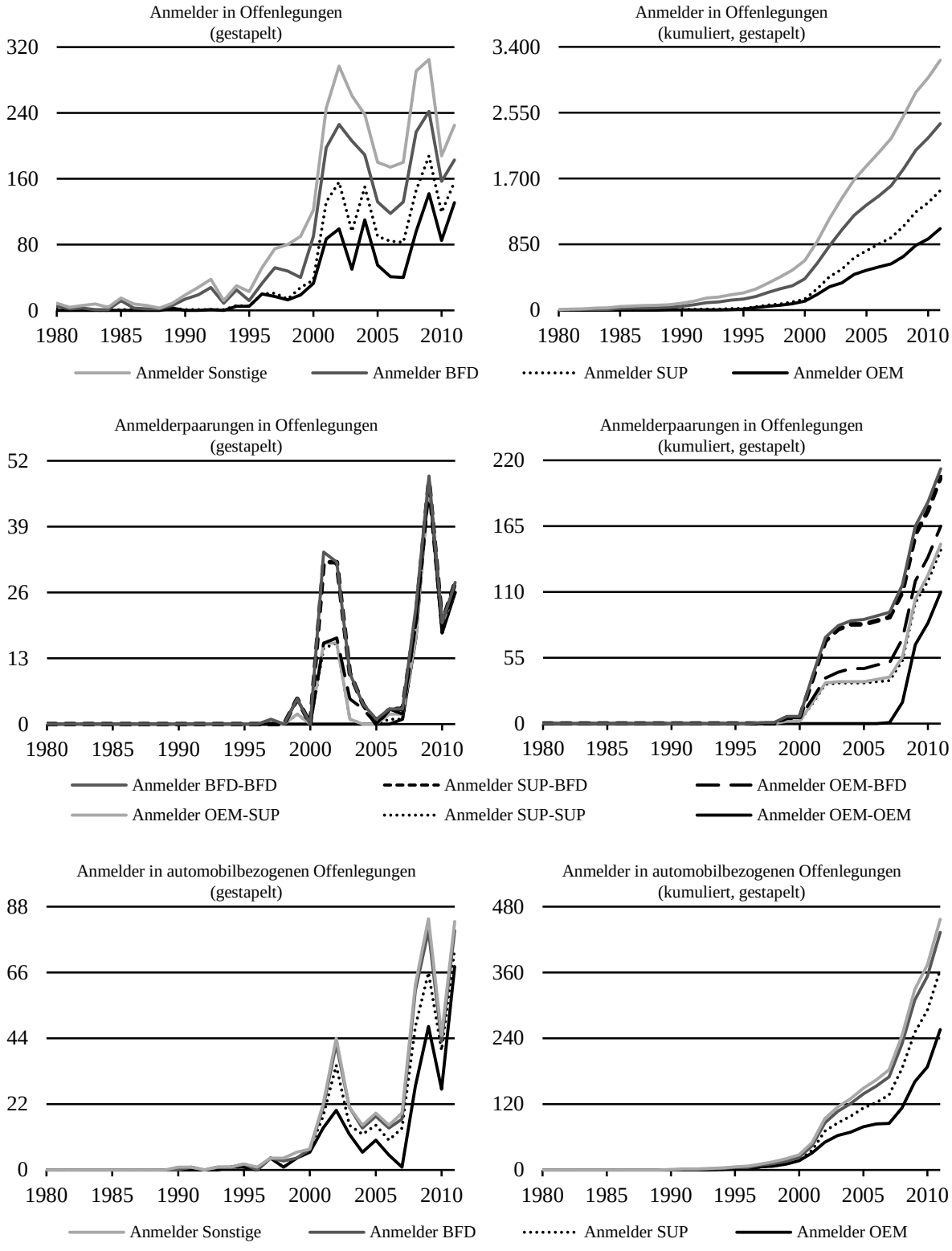


Abb. 4-14: Anmelder in brennstoffzellenbezogenen Offenlegungen am DPMA[1551]

[1551] Eigene Darstellung

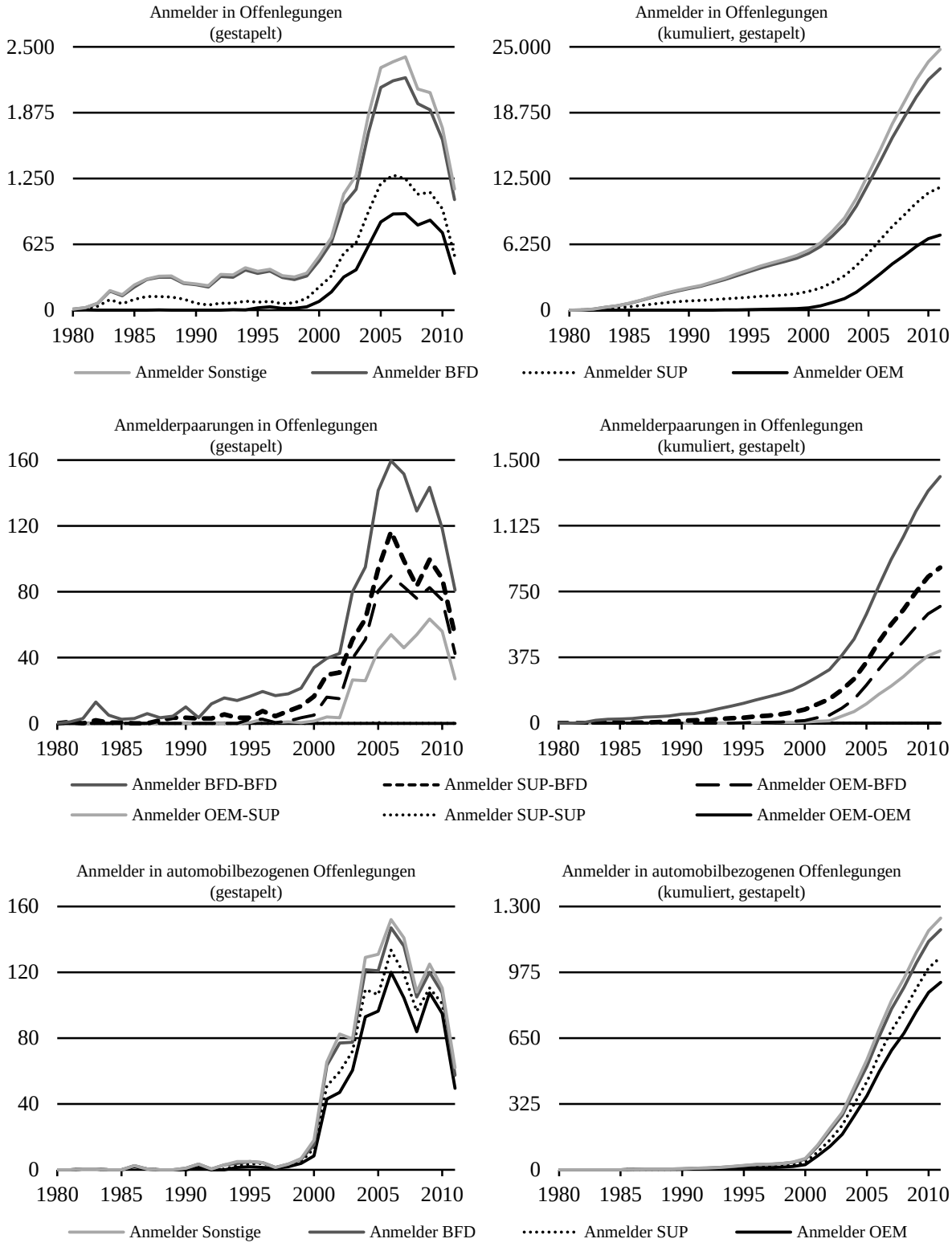


Abb. 4-15: Anmelder in brennstoffzellenbezogenen Offenlegungen am JPO[1552]

[1552] Eigene Darstellung unter Einbezug des Korrekturfaktors 0,5

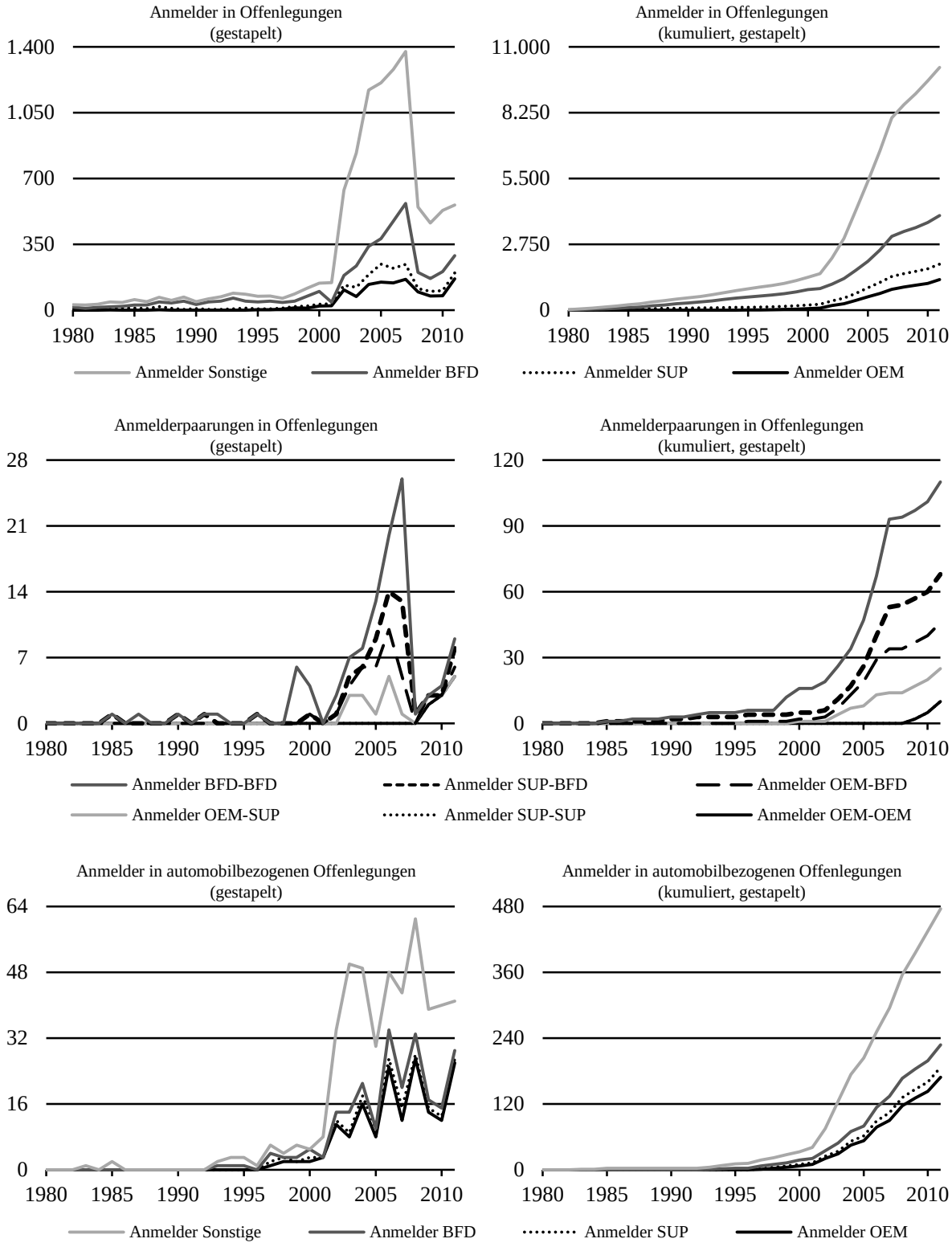


Abb. 4-16: Anmelder in brennstoffzellenbezogenen Offenlegungen am USPTO[1553]

[1553] Eigene Darstellung

4.4.6 Zusammenfassung zentraler Erkenntnisse

Die Ergebnisse der Patentanalyse stützen die in Kapitel 3 erarbeitete Erkenntnis eines bevorstehenden **technologischen Paradigmenwechsels im automobilen Antrieb**. Ein erstes Indiz hierzu sind die **verstärkten Patentierungsaktivitäten der Automobilindustrie** zu den techno-ökonomischen Schlüsselmodulen des elektrischen Antriebs. Batteriebezogen ist nach langjährig geringen und durch die Automobilzulieferer geprägten Anmelderaktivitäten ab Mitte der 1990er Jahre ein durch die Automobilhersteller unterstützter Niveauanstieg zu verzeichnen. Eine ähnliche Entwicklung vollzieht sich auch bei der Brennstoffzelle. Ausgehend von einem durch die Automobilzulieferer geprägten, sehr geringen Aktivitätsniveau tritt ab Beginn der 2000er Jahre eine starke Zunahme der Anmelderaktivitäten der Automobilindustrie ein, an der auch hier die Automobilhersteller umfangreichen Anteil haben. Mit Aufkommen der Finanz- und Wirtschaftskrise ab dem Jahr 2007 reduzieren sich die Explorationsaktivitäten des technologischen Regimes zu beiden Technologien temporär, wobei sich noch im Analysezeitraum am DPMA und am USPTO wieder Zuwächse einstellen. Insgesamt ist die Zunahme der Offenlegungen zu Batterie und Brennstoffzelle seit Mitte der 1990er Jahre zu großen Teilen auf das Engagement der Automobilindustrie zurückzuführen, die ihre technologische Wissensbasis strategisch verbreitert. Ein zweites Vorzeichen des Paradigmenwechsels ist der **Anstieg automobilbezogener Offenlegungen** zu Batterie und Brennstoffzelle. Obwohl es sich dabei kumulativ über den gesamten Untersuchungszeitraum um lediglich 0,9 % der Offenlegungen zur Batterietechnologie und 5,7 % derer zur Brennstoffzellentechnologie handelt, sind seit dem Jahr 2000 deutliche Zuwächse festzustellen.[1554]

Die Patentanalyse erlaubt überdies Rückschlüsse auf **technologische Wissensbasen und die Ableitung von Kooperationspotenzialen**. Ausgehend von prioritärer Anmeldung bei der für das Territorium des Erfinders zuständigen Behörde lässt sich aus den Offenlegungszahlen die **Tiefe der nationalen Wissensbasen** ableiten. Dabei indiziert das Verhältnis der Offenlegungen der Patentbehörden mit mehr als 60 % am JPO die technologische Stärke japanischer Unternehmen im Bereich der Batterie- und Brennstoffzellentechnologie. Bei amerikanischen und deutschen Unternehmen ist die technologische Tiefe mit etwa 30 % und unter 10 % der Offenlegungen als mittel und gering einzustufen. Ergänzend verdeutlicht der Anteil der Wissensbasis, über den die 330 Akteure der analysierten Gruppen verfügen, die akteursbezogene **Konzentration der nationalen Wissensbasen**. Diese ist für die untersuchten Technologien in Japan mit mehr als 96 % sehr hoch und den USA mit etwa 40 % gering. In Deutschland hingegen muss technologiespezifisch differenziert werden, wobei der Konzentrationsgrad batteriebezogen bei 66 % und brennstoffzellenbezogen bei 80 % liegt und somit im internationa-

[1554] Komparativ hohe Anteile automobilbezogener Offenlegungen liegen am DPMA mit 1,7 % bei der Batterietechnologie und 12,9 % bei der Brennstoffzellentechnologie vor.

len Vergleich ein mittleres Niveau erreicht. Der **Anteil der Automobilindustrie an der technologischen Wissensbasis** wird anhand des Auftretens ihrer Akteure als Patentanmelder deutlich. Die zu Beginn dieses Abschnitts dargelegte Verstärkung der Explorationsanstrengungen führt seit Mitte der 1990er Jahre bei der Batterietechnologie zu einem globalen Anteil von 32 %, der zu 6 % bei Automobilherstellern und zu 26 % bei Zulieferern liegt. Innerhalb der Teilmenge explizit automobilbezogener Offenlegungen erhöht sich dieser Wert um 8 % auf 40 %. Auf Seite der Brennstoffzelle verfügt das technologische Regime über 42 % der Wissensbasis, wobei 26 % bei den Automobilherstellern und 16 % bei den Zulieferern zu verorten sind. Die explizit automobilbezogenen Anteile liegen hier sogar zu 77 % innerhalb der Automobilindustrie. Die höhere Konzentration der brennstoffzellenbezogenen Wissensbasis in der Automobilindustrie unterstreicht die stärkere Fokussierung dieser Technologie auf das fahrzeugbezogene Anwendungsfeld, wohingegen die Batterietechnologie ein breites Einsatzfeld bzw. Charakterzüge einer *General Purpose Technology* aufweist.[1555] Von besonderem Interesse ist nun der Vergleich mit den **Anteilen der Batterie- und Brennstoffzellenentwickler.** Das breitere Anwendungsfeld der Batterie führt zu einem starken Engagement dieser Akteure, die mit 46 % der technologischen Basis über ein deutlich tieferes Wissen verfügen als die Automobilindustrie. Eine besonders fundierte technologische Basis zur Batterie ist in dieser Akteursgruppe mit 56 % in Japan bzw. am JPO vorhanden. Im Bereich der Brennstoffzelle besitzen die Batterie- und Brennstoffzellenhersteller 39 % der Wissensbasis, sodass sich zur Automobilindustrie nahezu ein ausgeglichenes Verhältnis ergibt, was den hohen Bezug der Brennstoffzellentechnologie zur automobilen Anwendung nochmals unterstreicht. Der Anteil dieser Akteursgruppe an den explizit automobilbezogenen Offenlegungen liegt bei der Batterie bei 24 % und bei der Brennstoffzelle bei 12 %. Aus der dargelegten Verteilung des technologischen Wissens unter den Akteursgruppen lassen sich **Kooperationspotenziale** ableiten. Dazu ist zu berücksichtigen, dass die Batterie- und Brennstoffzellenentwickler hinsichtlich der untersuchten Technologien global wie national über die tiefste Wissensbasis verfügen.[1556] Nachdem batteriebezogen die Automobilzulieferer an den untersuchten Patentbehörden als technologisch zweitstärkste Gruppe auffallen, erscheint hier intersektorale Kooperation zwischen Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern und Automobilzulieferern als besonders aussichtsreich, wobei übergreifend 72 % der Wissensbasis kombiniert werden können.[1557] Im Hinblick auf die Brennstoffzelle verfügen die Automobilhersteller über eine tiefere Wissensbasis als ihre Zulieferer, woraus die besondere Eignung intersektora-

[1555] Vgl. zu *General Purpose Technologies* Absatz 2.2.1.4 und Absatz 2.2.3.5

[1556] Dies gilt auf globaler Ebene und trifft auf nationaler Ebene für 5 der 6 analysierten Kombinationen aus Technologie und Patentbehörde zu. Die einzige Ausnahme ergibt sich zur Brennstoffzellentechnologie am DPMA, da hier Automobilhersteller mit einem Anteil von 35 % an der Wissensbasis den Batterie- und Brennstoffzellenherstellern mit 29 % um 6 % voraus sind.

[1557] Batteriebezogen erreicht diese Kombination am DPMA 52 %, am JPO 89 % und am USPTO 38 %.

ler Kooperation zwischen Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern und Automobilherstellern resultiert. Die Zusammenarbeit dieser Akteursgruppen ermöglicht übergreifend die Verknüpfung von 64 % der Wissensbasis.[1558]

Aufbauend auf der Verteilung von Wissensbasen und abgeleiteten Kooperationspotenzialen erschließt die Patentanalyse auch Erkenntnisse zu **Kooperationsneigung und -verhalten der Akteursgruppen**. Dabei indiziert das gemeinsame Auftreten der untersuchten Akteure als Patentanmelder kooperative Exploration innerhalb der Akteursgruppen sowie zwischen ihnen. Das Niveau technologischer Zusammenarbeit erweist sich indessen als volatil und gering, wobei der kooperative Anteil der Offenlegungen global mit 2,6 % bei der Batterie geringer ausfällt als bei der Brennstoffzelle mit 4,6 %. In Summe ist jedoch, insbesondere bei der Brennstoffzelle, eine zunehmende Kooperationsneigung erkennbar, die sich ab dem Jahr 2007 vorübergehend reduziert. Aufgrund der national bzw. behördenspezifisch großen Unterschiede muss eine genauere Analyse auf dieser Ebene erfolgen. Im internationalen Vergleich zeigt sich der Anteil kooperativer Offenlegungen am DPMA mit 4,5 % und 6,0 % sowohl für die Batterie- als auch für die Brennstoffzellentechnologie erhöht, am JPO mit 3,0 % und 5,8 % etwas geringer sowie am USPTO mit 1,3 % und 1,1 % niedrig. In **Deutschland** bzw. am DPMA dominiert **intrasektorale Kooperation** mit einem Anteil von 85 % bei der Batterie und 71 % bei der Brennstoffzelle. Batteriebezogen besteht von 1980 bis 1995 ein Schwerpunkt bei intrasektoral horizontalen Kooperationen der Automobilhersteller, seit 2001 keimen geringe Ansätze intersektoraler Zusammenarbeit. Bei der Brennstoffzelle entwickeln sich nennenswerte Kooperationsaktivitäten ab 2000 zwischen Automobilzulieferern sowie zwischen Zulieferern und Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern. Ab 2008 liegt der Schwerpunkt bei intrasektoraler Zusammenarbeit der Automobilhersteller untereinander. Technologieübergreifend spielen am DPMA intersektorale Zusammenarbeit mit Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern eine geringe, die Kooperation zwischen letzteren keine Rolle. In **Japan** bzw. am JPO hingegen kommt **intersektoraler Zusammenarbeit** zur Batterie mit 61 % und zur Brennstoffzelle mit 34 % eine zentrale Rolle zu, wobei auch die Kooperation unter Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern mit 29 % und 37 % erhebliche Anteile ausmacht. Im starken Gegensatz zum DPMA sind intrasektoral-horizontale Kooperationen der Automobilindustrie hier mit weniger als 1 % zu vernachlässigen, wobei vertikale Zusammenarbeit zu 9 % und 29 % stattfindet. Im Bereich der Batterie fällt in den 1980er Jahren bereits ein intersektoraler Kooperationsschwerpunkt zwischen Automobilzulieferern und Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern auf, der durch die Zusammenarbeit von Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern untereinander ergänzt wird. Seit 2000 entwickeln sich auch Zusammenarbeitsansätze der Automobilhersteller mit Zulieferern und Batterie- und Brennstoffzel-

[1558] Diese Kombination erreicht brennstoffzellenbezogen am DPMA 64 %, am JPO 79 % und am USPTO 33 %.

lenentwicklern. Auf Seite der Brennstoffzelle fällt ein historisch geringes aber seit Ende der 1990er Jahre zunehmendes Kooperationsniveau auf, das durch die intersektorale Ebene sowie die Zusammenarbeit unter Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern geprägt ist. Seit 2003 arbeiten zusätzlich Automobilhersteller und -zulieferer vertikal zusammen. In den **USA** bzw. am USPTO ist mit Anteilen von 55 % bei der Batterie und 39 % bei der Brennstoffzelle ebenfalls ein Übergewicht **intersektoraler Zusammenarbeit** festzustellen. Kooperationen auf intrasektoraler Ebene sowie zwischen den Batterie- und Brennstoffzellenherstellern spielen hier jedoch mit Anteilen von über 22 % auch nennenswerte Rollen. Bezogen auf die Batterie entwickeln sich Kooperationen ab Ende der 1980er Jahre, wobei Schwerpunkte auf der Zusammenarbeit von Automobilzulieferern mit Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern sowie in der ersten Hälfte der 1990er Jahre unter den Automobilherstellern liegen. Ab der zweiten Hälfte der 1990er Jahre spielt zusätzlich die Zusammenarbeit zwischen den Batterie- und Brennstoffzellenherstellern, von 2003 bis 2007 die Zusammenarbeit von Automobilherstellern und -zulieferern eine prägende Rolle. Brennstoffzellenbezogen entstehen nennenswerte Kooperationen ab 1999 hauptsächlich zwischen den Batterie- und Brennstoffzellenherstellern sowie ab 2003 auf intersektoraler Ebene und unter Automobilherstellern und -zulieferern. Insgesamt scheint die Kooperationsneigung der Akteure sowohl von der Technologie als auch von ihrer Regionenzugehörigkeit abzuhängen, wobei von einem engen Zusammenhang mit der regionalen Wettbewerbsorientierung auszugehen ist. Das regional heterogene Kooperationsniveau führt zu unterschiedlicher Ausprägung und Verteilung relationalen Kapitals als Grundlage präparadigmatischer Exploration im Rahmen eines systemintegrierten Netzwerkprozesses.

Zusammenfassend stützen die Ergebnisse der Patentanalyse zur Batterie- und Brennstoffzellentechnologie die Theorie eines bevorstehenden **Paradigmenwechsels im automobilen Antrieb**. Die Verteilung der Wissensbasis legt auf Akteursebene die technologische Stärke der Batterie- und Brennstoffzellenentwickler und auf internationaler Ebene die Dominanz der japanischen Industrie offen, woraus **intersektorale und internationale Kooperationspotenziale** resultieren. Die Tatsache, dass bisher kein Unternehmen oder Sektor die technoökonomischen Schlüsselmodule des elektrischen Antriebs massenmarktfähig erstellen kann, lässt kooperative Exploration zusätzlich als aussichtsreich erscheinen.[1559] Vertrauensbasierte Kooperation kann in diesem Umfeld die Kombination von Wissensbasen ermöglichen, wobei absorptive Fähigkeiten und relationales Kapital die kognitive Distanz zwischen den Akteuren reduzieren und eine Plattform zur Erzielung unternehmensübergreifender Lerneffekte schaffen, die die Erschließung extensiver technologischer Möglichkeiten ermöglicht. In Relation zu

[1559] Vgl. Teilkapitel 3.3

den identifizierten Potenzialen erscheint das nachgewiesene, **reale Kooperationsniveau** als gering, volatil und übermäßig auf bekannte, intrasektorale Partner fokussiert.

4.5 Kooperative Exploration des elektrischen Antriebs

Dieses Teilkapitel fasst die gewonnen Erkenntnisse hinsichtlich der besonderen Eignung technologischer Kooperation zur Exploration elektrischer Antriebe zusammen. Dazu wird die konzeptionelle Überlegenheit vertrauensbasierter Kooperation zur Stimulation des präparadigmatisch-experimentellen Innovationsmodus der technologischen Explorationsphase auf den analysierten technologischen Paradigmenwechsel übertragen.

Ein für die technologische Diskontinuität wesentlicher Aspekt ist die **Heterogenität der Akteure**. Bei den etablierten Automobilherstellern und -zulieferern sind Explorationsfähigkeit und Suchfeld pfadabhängig eingeschränkt, was sich insbesondere anhand von begrenztem externen Informationszugang und geringer Anpassungsfähigkeit äußert. Eingeschränktes Vorwissen und unzureichende absorptive Fähigkeiten im technologischen Zielbereich führen in Kombination mit Beharrungskräften zu technologischer Blindheit, *not invented here*-Verhalten und kompetenzbezogenen Pathologien. Die Herausforderer hingegen weisen eine höhere Explorationsorientierung und -fähigkeit auf. Ihre häufig geringere Unternehmensgröße und nicht vorhandene Vorprägung nach technologischer und industrieller Reifecharakteristik bedingt Vorteile in externer Lernorientierung, Informationszugang und Anpassungsfähigkeit. Technologische Vorkenntnisse erhöhen zudem oftmals die absorptiven Fähigkeiten.

Wie die Analyse der **Verteilung der technologischen Wissensbasis** zeigt, liegen Vorkenntnisse zu den techno-ökonomischen Schlüsselmodulen des elektrischen Antriebs überwiegend außerhalb der Automobilindustrie, teilweise sogar bei Unternehmungen, die bisher nicht im automobilen Anwendungsbereich etabliert sind. Darüber hinaus bestehen im Bezug auf Batterie und Brennstoffzelle erhebliche regionale Unterschiede in Tiefe und Konzentration der Wissensbasis. Während die japanische Industrie bspw. zu Batterie und Brennstoffzelle eine tiefe und auf zentrale Akteure konzentrierte technologische Basis aufweist, ist in den USA eine breite Verteilung sowie in Deutschland eine deutlich geringere Tiefe festzustellen.

Aus der geringen technologischen Reife der elektrischen Antriebsdesigns, der Heterogenität der Akteure und der Verteilung der technologischen Wissensbasis resultieren **umfangreiche Potenziale technologischer Kooperation**. Diese ermöglicht wie kein anderer Koordinationsmechanismus eine vertrauensbasierte Zusammenführung und Rekombination relevanter technologischer Vorkenntnisse bei gesteigerter Explorationsfähigkeit. Kooperative Exploration erlaubt dabei eine synergetische Erschließung neuer technologischer Opportunitäten aus akteursbezogener Heterogenität bzw. technologischer Komplementarität unter wechselseitig-intentionaler oder emergenter Begrenzung individueller Autonomie. Vor dem Hintergrund der bevorstehenden Paradigmenwechselcharakteristik als graduelle Rekonfiguration eignet sich kooperative Exploration des elektrischen Antriebs insbesondere in einem beidhändigen Zu-

sammenspiel mit fortwährend anweisungsgesteuerter Exploitation des konventionellen Antriebs. Zentral ist folglich die Herausforderung einer simultan-heterogenen Koordinationsstrategie zur erfolgreichen Bewältigung der Koevolution der Reifephase der aktuellen Antriebstechnologie mit der Explorationsphase alternativer Designs.

Mit Blick auf die **Verhaltensebene der Akteure** eröffnet Kooperation Möglichkeiten vertrauensbasierter Abstimmung ex ante sowie zur Steigerung von Investitionsbereitschaft und Informationsdichte. Soziale Kohäsion reduziert verhaltensbezogene Unsicherheit bzw. **Opportunismus** und erleichtert die Überwindung von Machtungleichgewichten. Innerhalb kooperativer Milieus bieten sich ferner verbesserte Chancen zum Aufdecken blinder Flecken sowie zur Weiterentwicklung von Aspirationsniveaus und **Routinen** unter Überwindung von Beharrungskräften. Eine erhöhte externe Lernorientierung und Offenheit für neue Partner mit abweichenden Routinen und anderer technologischer Vorprägung erweitert Explorationsbereich und -fähigkeit. Dies ermöglicht die Entwicklung und Koexistenz kooperativ-explorativer und rein exploitativer Umgebungen im Rahmen organisationaler Beidhändigkeit, die wiederum zentraler Erfolgsfaktor der graduellen Rekonfiguration des automobilen Antriebs ist.

Kooperative Potenziale bieten sich auch bezogen auf den **Innovationsprozess**. So erlaubt vertrauensbasierte Zusammenarbeit eine **Flexibilisierung**, die insbesondere Großkonzerne wie Automobilhersteller und -zulieferer zur Steigerung von Anpassungs- und Rekonfigurationsfähigkeit auf Unternehmens- und Netzwerkebene befähigen und eine Voraussetzung zur experimentellen Einbindung neuer Partner schaffen kann. Vertrauensbasierte Abstimmung ex ante bietet überdies die Chance zur **Beschleunigung** des Lern- und Innovationsprozesses im Kooperationsverbund, was v. a. unter erhöhter Wettbewerbsintensität zwischen dem etablierten Regime und eintretenden Herausforderern an Bedeutung gewinnt. Die verstärkte **externe Vernetzung** innerhalb des Kooperationsverbunds führt zur Bildung relationalen Kapitals, der Eröffnung von Wissenszugängen sowie der Erschließung unternehmensübergreifender Lerneffekte im erweiterten Suchfeld des systemintegrierten Netzwerks. Eine gemeinsame Nutzung von (beziehungsspezifischen) **Ressourcen**, wie z. B. Versuchseinrichtungen oder Fachpersonal kann Synergien erschließen, die Verfolgung umfangreicherer Innovationsvorhaben ermöglichen und Zugänge zu Fördermitteln eröffnen. Kooperation kann überdies zur Steigerung der **Qualität** von Prozess und Produkt befähigen, um eine Anknüpfungsfähigkeit an die in der Reifephase des konventionellen Antriebs geprägten Qualitätsanforderungen zu gewährleisten und im Qualitätswettbewerb gesättigter Märkte bestehen zu können. Prozessuale Lern- und Verbundeffekte ermöglichen dabei in Kombination mit Synergieeffekten die Reduktion, Verteilung und Verlagerung von **Kosten** unter Partnern. Gemeinsame **Standardisierung** bietet die Chance zu kooperativer Definition des künftigen Wettbewerbsrahmens, indem sie einerseits die Überwindung bisheriger Standards begünstigt und andererseits die Chancen der Entwicklung eigener Basisdesigns, hin zu dominanten Designs, verbessert. Aufgrund der großen

Bedeutung von Standards für die Diffusion von Technik ergibt sich hier auch ein politisches Handlungsfeld zur Stimulation von kooperativer Standardisierung unter Anbietern sowie zu deren internationaler Harmonisierung.

Ein drittes Feld kooperativer Potenziale bezieht sich auf die Eigenschaften **technologischen Lernens und Wissens**. Vertrauensbasierte Zusammenarbeit kann hier als Mechanismus zur Dynamisierung von Wissensbasis und Fähigkeiten mittels interaktiven von-, über- und miteinander **Lernens** wirken und die Integration diversen, komplexen und komplementären Wissens in den diskontinuierlichen *Trial-and-Error*-Suchprozess ermöglichen. Dabei werden Wissenslücken geschlossen und unternehmensübergreifende Lern- und *cross-fertilization*-Effekte erzielt. Relationales Kapital und absorptive Fähigkeiten erlauben auf Basis von beziehungsspezifischer Vertrauenskultur und Routinekompatibilität eine Überbrückung von kognitiver Distanz. Diese Potenziale erweisen sich auch im Hinblick auf die technologische Rekonfiguration der Wissensbasis zum automobilen Antrieb als vielversprechend, um einerseits deren temporäre Ausweitung in der Hybridphase zu bewältigen und andererseits auf den kompetenzentwertenden Effekt der Durchsetzung elektrischer Antriebe vorzubereiten. Aufgrund der Verteilung technologischer Vorkenntnisse bietet sich zur technologischen Neuausrichtung der etablierten Akteure der Automobilindustrie insbesondere intersektorale Zusammenarbeit an. Die Bildung eines kooperativen Kanals zwischen Partnern eröffnet dabei auch die Möglichkeit des Erlernens unkodifizierten oder **nicht kodifizierbaren Wissens**. Dies ist für die Exploration elektrischer Antriebe besonders relevant, da technologisches Wissen in frühen Lebenszyklusphasen und bei kleinen Unternehmungen in erhöhtem Maße unkodifiziert ist und sich speziell zu den techno-ökonomischen Schlüsselmodulen der elektrischen Designs zahlreiche kleinere Unternehmungen engagieren. Technologische Kooperation erlaubt ferner die Identifikation und Ausschöpfung des Potenzials **technologischer Lokalität**. Im Falle des analysierten Paradigmenwechsels zeigt bspw. das junge Unternehmen Tesla Motors, wie mittels technologisch lokalen Lernens Batterietechnologie aus dem Computer- und Handybereich für automobile Anwendungen adaptiert werden kann. Ähnliche Fortschritte sind auch zwischen stationären und mobilen Brennstoffzellensystemen vorstellbar. Im Umgang mit **technologischer Komplexität** und Spezialisierung ermöglicht Kooperation überdies durch die Kombination innovationsfördernder Heterogenität eine gesteigerte Informationsdichte. Dieser Aspekt spielt bei der Exploration hybrider Antriebsdesigns aufgrund deren technologischen Kombinatorik eine zentrale Rolle, wobei die Automobilhersteller verstärkt die Rolle eines Technologieintegrators übernehmen. Vertrauensbasierte Zusammenarbeit ist zudem eine Verhaltensstrategie zum Umgang mit technologischer **Unsicherheit**, die in Phasen technologischer Diskontinuität sowohl auf inter- als auch auf intratrajektorieller Ebene besonders ausgeprägt ist. Der intersektorale Charakter neuer Technologien, wie bspw. des elektrischen Antriebs, führt zu erhöhtem Unsicherheitsgrad, der kooperativ reduziert werden kann. Die Unsicherheit bezieht sich dabei über die technologische Ebene hinaus auch auf Akteursverhalten

und Marktdiffusion bzw. Durchsetzungsdynamik gegen das bisher dominante Paradigma. In engem Zusammenhang mit Komplexität und Unsicherheit steht die technologische **Transparenz**, die innerhalb von Netzwerken vertrauensbasiert gesteigert werden kann, um relevante Entwicklungen und technologische Möglichkeiten in einem erweiterten Explorationsbereich früher zu identifizieren. Der verbesserte Informationszugang ermöglicht zudem in früher Phase die Beobachtung technologischer Entwicklung an Stelle eigenen F&E-Engagements, da im Falle wesentlicher Fortschritte rechtzeitig reagiert werden kann. Ein derartiges Vorgehen bietet sich im Rahmen der Elektrifizierung des Antriebs für die meisten Automobilhersteller und -zulieferer an, die antriebs- oder modulbezogen eine reaktive Strategie verfolgen. Abschließend ist anzuführen, dass technologische Kooperation Möglichkeiten zur Internalisierung technologischer **Externalitäten** im Kooperationsverbund bietet. Dabei verschiebt sich die technologische Schutzebene an die Verbundgrenze, was einen kollektiv-kooperativen Innovationsprozess begünstigt. Für die sonst als Externalitäten auftretenden *Spillover* wird unter den Partnern eine gegenseitige Kompensation geboten, welche die Verbreitung technologischen Wissens über die Verbundgrenze hinaus verlangsamt.

Es bleibt festzuhalten, dass aus der heterogenen Explorationsfähigkeit der Akteure und der Verteilung relevanter technologischer Vorkenntnisse umfangreiche Potenziale kooperativer Exploration hybrider und elektrischer Antriebe resultieren, weshalb technologische Zusammenarbeit sowohl von staatlicher Seite als auch von Verbänden gefördert wird. In Relation zu den identifizierten kooperativen Potenzialen erscheint das empirisch nachgewiesene, **reale Kooperationsniveau** zwischen Automobilherstellern, -zulieferern sowie Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern jedoch **gering**. Mögliche Ursache dieses Akteursverhaltens ist die aus der technologischen Exploitations- und Reifephase des konventionell angetriebenen Automobils resultierende, routinegeleitete Präferenz für preisbasierten Wettbewerb und machtbasierte Verhaltensanweisung. Das teilweise vorhandene Bewusstsein für die besondere Eignung vertrauensbasierter Kooperation für technologische Exploration stimuliert zwar immer wieder die Zusammenarbeit der Akteure, jedoch verdeutlicht die erfasste **Volatilität** das geringe Commitment zu langfristigen Engagements, die allerdings eine zentrale Voraussetzung zur Entstehung relationalen Kapitals und damit zur Erschließung kooperativer Potenziale sind. Während in Japan sowie in den USA die aussichtsreiche intersektorale Kooperation überwiegt, ist in Deutschland eine vorwiegend **intraindustrielle Orientierung** festzustellen, die auf eine routine- statt potenzialgeleitete Partnerselektion innerhalb des systemintegrierten Netzwerks des bisherigen technologischen Regimes hindeutet. Ursache dieses Verhaltensmusters kann allerdings auch die regional geringe technologische Wissensbasis zu den techno-ökonomischen Schlüsselmodulen elektrischer Antriebe sein, die dazu führt, dass die Automobilindustrie im präferierten regionalen, sozio-kulturellen Umfeld kaum vielversprechende Kooperationspartner vorfindet.

5 Abschließende Betrachtung

Die **Ausgangspunkte** der vorliegenden Untersuchung waren einerseits die zunehmende Destabilisierung des konventionellen automobilen Antriebs und andererseits die betont kooperative Orientierung der Anbieterseite zur Exploration von Alternativen. Ausgehend von diesen Beobachtungen wurden das Verständnis der technologischen Dynamik zum automobilen Antrieb sowie der Koordinationseignung und -neigung im Verlauf technologischen Wandels als **Ziele** definiert. Durch Kombination der erzielten Erkenntnisse wurde ferner die Einschätzung von Potenzial und Niveau kooperativer Exploration elektrischer Antriebe angestrebt. Zu Erreichung dieser Ziele bediente sich die vorliegende Untersuchung neben der theoretischen Deduktion auch der empirischen Analyse von Patentdaten. Dieses letzte Kapitel schließt die Abhandlung mit der Zusammenfassung zentraler Ergebnisse, der Ableitung von Implikationen sowie einer kritischen Reflexion inkl. der Ableitung weiterer Forschungsansätze ab.

5.1 Zusammenfassung zentraler Ergebnisse

In diesem Teilkapitel werden die zentralen Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung im Bezug auf die in Teilkapitel 1.2 vorgestellten Kernziele zusammengefasst, wobei jeweils kurz auf die Bildung des theoretischen Rahmens eingegangen wird und anschließend die durchgeführten Analysen inkl. ihrer Ergebnisse überblicksartig vorgestellt werden. An dieser Stelle muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass ausführliche Zusammenfassungen im Rahmen der Synthesen der jeweiligen (Teil-) Kapitel zu finden sind.

Um das als **Kernziel 1** angestrebte Verständnis des bevorstehenden **Umbruchs in der automobilen Antriebstechnik** zu erlangen, erfolgte in einem ersten Schritt die Erarbeitung eines theoretischen Bezugsrahmens. Dieser basiert auf einer mehrdimensionalen Sichtweise von Innovation sowie der Theorie **technologischen Wandels** als Grundlage technischer Entwicklung. Zentrale Konzepte sind dabei technologische Paradigmen und Trajektorien sowie technologische Möglichkeiten. Sie erklären das Wechselspiel zwischen Phasen kontinuierlicher und außergewöhnlicher Entwicklung sowie den Lebenszyklus von Technologien. Dieser innovationsökonomische Rahmen wurde durch die Entwicklung einer **Nachhaltigkeitssystematik** ergänzt, die unter Orientierung an intergenerativer Gerechtigkeit als Gradmesser technischen Fortschritts dient. Diese Systematik geht von einer Gleichrangigkeit ökonomischer, sozialer und ökologischer Dimension aus und ermöglicht abhängig von Nutzungsintensität, Substitutionsverhalten und Nachhaltigkeitsdimension eine Kombination von Kapitalstock- und Auswirkungsperspektive. Die Anwendung dieses theoretischen Rahmens auf die **historische Entwicklung** des automobilen Antriebs eröffnet ein vertieftes Verständnis des Designwettbewerbs um das Jahr 1900 sowie der Durchsetzung des verbrennungsmotorbasierten Antriebs im frühen 20. Jahrhundert, die durch die entwickelte Nachhaltigkeitssystematik nach-

vollziehbar ist. In den folgenden über 100 Jahren trajektoriegeleitet-kontinuierlicher Entwicklung wurden umfangreiche technologische Möglichkeiten erschlossen und der Antrieb erreichte ebenso wie die Automobilindustrie die Reifephase von Technologie- bzw. Industrielebenszyklus. Vor dem Hintergrund weitreichender Diffusion des Automobils ergeben sich jedoch zunehmende ökologische, ökonomische und soziale Destabilisierungswirkungen, denen das technologische Regime mangels technologisch intensiver Opportunitäten lediglich vorübergehend entgegenwirken kann. Es ist somit eine **nachhaltigkeitsinduzierte Destabilisierung** und daraus resultierend wachsender Innovationsdruck zu attestieren, der einen Paradigmenwechsel erzwingt. Eine am Konsistenzprinzip orientierte Analyse alternativer Energieversorgung identifiziert den durch erneuerbare Energien versorgten elektrischen Antrieb als vielversprechende *Backstop*-Technologie. Diese beschränkt sich nachhaltigkeitsorientiert auf die Nutzung des ökologisch-regenerativen Potenzials, setzt allerdings eine begleitende Transformation von Energiesektor und Infrastruktur voraus. Die durchgeführte techno-ökonomische Analyse des **batterie- und brennstoffzellenelektrischen Antriebs** macht allerdings deutlich, dass die elektrischen Basisdesigns trotz ihres Nachhaltigkeitspotenzials bisher gegenüber dem konventionellen Antrieb nicht wettbewerbsfähig sind. Dies ist auf Modulebene maßgeblich auf Batterie und Brennstoffzellensystem zurückzuführen, die infolge ihrer bisher geringen Reife und hohen Kosten eine techno-ökonomische Schlüsselrolle einnehmen. Insgesamt wird deutlich, dass ein Paradigmenwechsel vom konventionellen zum elektrischen Antrieb aufgrund geringer Reife, hoher Kosten, fehlender Infrastruktur und Standards sowie sozio-institutioneller Beharrungskräfte kurzfristig nicht zu erwarten ist. Anstelle einer abrupten technischen Substitution eröffnet sich allerdings ein Pfad **gradueller Rekonfiguration über hybride Antriebsdesigns**, im Rahmen derer der konventionelle und elektrische Antrieb zur gegenseitigen Kompensation der Nachteile kombiniert werden. Während der Anteil des elektrischen Designs in dieser Phase gegenüber dem konventionellen zunimmt, vollziehen sich die Exploration des ersteren und Exploitation des letzteren simultan. Der noch sehr frühe Status der Transformation wird daran deutlich, dass sich auch hybride Designs bisher nicht gegen den konventionellen Antrieb durchsetzen können. Künftig ist jedoch davon auszugehen, dass hybride Antriebe einen graduellen Übergang mit überlegener Produktleistung zwischen den Trajektorien konventionellen und elektrischen Antriebs bieten und dadurch den Lebenszyklus des Verbrennungsmotors verlängern werden. Die Erschließung dieses Potenzials erfordert allerdings die Kombination technologisch extensiven und intensiven Lernens sowie die Fähigkeit zum Umgang mit der aus technologischem und organisationalem Dualismus resultierenden Komplexität im Innovationsprozess. Übergreifend ergibt sich eine Koevolution sowohl zwischen technologischer und industrieller Ebene, als auch innerhalb dieser Ebenen zwischen bisherigem und neuem Paradigma sowie etabliertem und neuem Regime. Diese Transformationscharakteristik eröffnet der bisherigen **Automobilindustrie** ein Zeitfenster zur technologischen und organisationalen Neuausrichtung, in dem schützende

Markteintrittsbarrieren fortbestehen, während antriebsbezogenes Wissen und Routinen vorerst ihren Wert behalten. Die meisten Vertreter des bisherigen Regimes versuchen ihre technologische und wirtschaftliche Machtposition exploitativ als Eintrittskarte in einen neuen Zyklus zu nutzen. Während bei diesen Unternehmen jedoch pfadabhängig von einer eingeschränkten Explorationsorientierung und -fähigkeit auszugehen ist (Erfolgsparadoxon), weist die unter diesen Bedingungen reduzierte Anzahl in den Markt eintretender **Herausforderer** eine erhöhte Explorationsfähigkeit und -fokussierung auf. Gründe dafür sind die höhere externe Orientierung der oftmals kleineren und nicht nach industrieller Reifecharakteristik vorgeprägten Unternehmungen sowie ihre oftmals vorhandenen Vorkenntnisse zum **elektrischen Antrieb**. Sobald allerdings der elektrische Antrieb die erforderliche Reife erreicht, um sich auch gegen die hybriden Designs durchzusetzen, endet die Übergangsphase, wodurch Kompetenzen zum konventionellen Antrieb entwertet werden und sich die Chance zu grundlegender Veränderung der Fahrzeugarchitektur ergibt (architektonische Innovation durch *Purpose-Design*). Unter der Voraussetzung einer Ausrichtung von Energiesektor und Infrastruktur auf erneuerbare Energien wird dann der angestrebte *Backstop*-Effekt erreicht, wobei der Charakter einer Umwelt- oder sogar Nachhaltigkeitsinnovation erzielt wird. Während der systemische Entwicklungsbedarf zur Elektromobilität die Tragweite einer Transformation umfangreicher technologischer Systeme erreicht, wird auf übergeordneter Ebene das Aufkommen eines techno-ökonomischen Paradigmas nachhaltiger Konsistenz eines postfossilen Wirtschaftssystems erkennbar. Zusammenfassend bleibt zu konstatieren, dass hinsichtlich des automobilen Antriebs ein **nachhaltigkeitsinduzierter technologischer Paradigmenwechsel** zu elektrischen Antrieben bevorsteht, dessen Verlauf durch eine graduelle Rekonfiguration über eine hybride Übergangsphase geprägt sein wird. Diese inkrementalisiert den radikalen technologischen Wandel und macht, unter Abwesenheit von Gleichgewichtszuständen, die Dynamisierung von Wissensbasen und Fähigkeiten sowie die organisationale Beidhändigkeit zwischen Exploration und Exploitation zu zentralen Selektionskriterien des Fortschritts.

Um das auf **allgemeiner Ebene von Kernziel 2** angestrebte Verständnis der **Eignung der Koordinationsmechanismen im Verlauf technologischen Wandels** zu erreichen, wurde ein den Technologielebenszyklus überspannendes Modell entwickelt. Der dazu erarbeitete theoretische Bezugsrahmen erstreckt sich über Innovation und technologischen Wandel hinaus auf Koordination und insbesondere **vertrauensbasierte Kooperation**. Diese wurde nach einer evolutorischen Herleitung und Definition sowie in Abgrenzung zu machtbasierter Verhaltensanweisung und preisbasiertem Wettbewerb als eigenständiger Koordinationsmechanismus herausgestellt, der synergetisch ein höheres Nutzenniveau erschließen kann. Um ein umfassendes Verständnis **technologischer Kooperation** zu erzielen, wurden im Anschluss ihre Chancen und Risiken erarbeitet, die sich auf das Verhalten der Akteure, den Innovationsprozess sowie die Eigenschaften technologischen Wissens und Lernens beziehen. Der Fokus der Kooperation richtet sich dabei auf die Erschließung technologischer Möglichkeiten in einem

multilateralen und interaktiven Such- und Lernprozess, was F&E zum Kernbereich technologischer Zusammenarbeit macht. In einem analytischen Folgeschritt wurde aufgezeigt, dass die **innovationsfördernden Rahmenbedingungen** (Informationszugang, Informationsdichte, Investitionsbereitschaft, Anpassungsfähigkeit, Abstimmungszeitpunkt, Strukturcharakter und Anreizstruktur) durch die Koordinationsmechanismen unterschiedlich stark ausgeprägt werden. Im Gegenzug wurde herausgearbeitet, dass die phasenspezifischen **Innovationsmodi des Technologielebenszyklus** heterogene Anforderungen hinsichtlich der genannten Rahmenbedingungen aufweisen. Aus der Kombination dieser Erkenntnisse ließ sich ein **Zyklus der Koordinationseignung** zur Stimulation von Innovation im Verlauf technologischer Entwicklung ableiten, der jeden der drei Koordinationsmechanismen als temporär überlegen identifiziert. So ergibt sich eine Dreiphasigkeit aus kooperativer Exploration (gemeinsam entdecken), wettbewerbsgetriebener Exploitation (im Wettstreit erschließen) und anweisungsgesteuerter Exploitation (abgestimmt-systemisch erschließen), welche der Koordination technologischen Fortschritts einen Rhythmus verleiht. Mit Blick auf die in dieser Untersuchung fokussierte Explorationsphase ist zu konstatieren, dass vertrauensbasierte Kooperation zur Stimulation des präparadigmatisch-experimentellen Innovationsmodus konzeptionell überlegen erscheint. Im Gegensatz zu den Alternativen begünstigt sie einen kollektiven Such-, Experimentier- und Lernprozess durch umfangreichen Informationszugang, verbesserte Anpassungsfähigkeit auf Akteurs- und Netzwerkebene sowie die Möglichkeit zu vertrauensbasierter Abstimmung ex ante. Der Transfer dieser Erkenntnisse auf technologische Paradigmenwechsel verdeutlicht das besondere Potenzial koordinationsbezogener Heterogenität durch Simultanität von anweisungsgesteuerter Exploitation und kooperativer Exploration im Rahmen organisationaler Beidhändigkeit.

Um die auf **anwendungsspezifischer Ebene von Kernziel 2** angestrebte Bewertung von **Potenzial und Niveau kooperativer Exploration** während des Paradigmenwechsels im Antrieb vornehmen zu können, wurden die koordinationsbezogenen Erkenntnisse mit den automobilbezogenen kombiniert und empirisch vertieft. Wesentliche Grundlage dieses Vorgehens war die Analyse der **Rekonfiguration der antriebsbezogenen Wissensbasis**. Dabei verdeutlicht der Vergleich zwischen konventionellem Design und elektrischen Alternativen, dass zahlreiche Module und Komponenten entfallen, sich verändern oder neu hinzukommen, wobei thermodynamische und hydraulische Wirkprinzipien überwiegend durch elektromagnetische und -chemische ersetzt werden. In der Folge verlieren Kompetenzen zu Thermodynamik und Werkstoffen an Bedeutung, wohingegen die Qualifikationsbereiche der Chemie, der Elektronik, der Mechatronik sowie der Steuerungs- und Regelungstechnik massiv an Relevanz gewinnen. Konsequenz dessen ist eine tiefgreifende Transformation der Wissensbasis in Bereiche, die bisher außerhalb des klassischen Kompetenzkerns der Automobilindustrie lagen, was diese zu einer Neuausrichtung ihres Technologieportfolios zwingt. Die graduelle Charakteristik der hybriden Übergangsphase führt dabei an Stelle einer reinen Verschiebung der Wis-

sensbasis zu deren vorübergehender Ausweitung. Diese ergibt sich aus der Simultanität fortwährender Exploitation des konventionellen Paradigmas (Vertiefung) und der zunehmenden Exploration elektrischer Alternativen (Verbreiterung), wobei sich eine zusätzliche Erweiterung auf architektonischer Ebene ergibt. Diese Dynamik konnte durch eine empirische Analyse der Patentanmeldungen eines Automobilherstellers bestätigt werden, bei der eine abnehmende Dynamik der Vertiefung der Wissensbasis zum konventionellen Antrieb und eine exponentielle Verbreiterung zum elektrischen Antrieb festgestellt wurde. Die Durchsetzung des elektrischen Antriebs als technologisches Paradigma wird diese Ausweitungsdynamik letztlich beenden und zu einer Eingrenzung der Wissensbasis auf die für elektrische Antriebe relevanten Bereiche führen, indem sie die Kompetenzen zum konventionellen Antrieb entwertet. Dieser radikale technologische Wandel erfährt somit durch die graduelle technische Rekonfiguration eine Inkrementalisierung. Um die abschließende Analyse der Lösungssuche der Anbieter in die Gesamtdynamik technischen Wandels einzubetten, wurde das koevolutorische Wechselspiel zwischen **Nachfragern, Anbietern und öffentlichem Sektor** untersucht, in dem, während diskontinuierlicher Phasen, besondere Spannungen durch Beharrungskräfte, destruktive Wirkungen und Veränderungsdruck entstehen. Es wird deutlich, dass, obwohl die Reife des elektrischen Antriebs für eine Diffusion noch zu gering ist, der öffentliche Sektor bereits regulative Rahmenbedingungen zur Stimulation von *technology push* und *market pull* schafft. Eine abschließende vertiefte Untersuchung beleuchtet die **technologische Lösungssuche der Anbieterseite**. Die dazu durchgeführte Patentanalyse fokussiert auf Batterie und Brennstoffzelle und ermittelt die Aktivität von Automobilherstellern und -zulieferern sowie von führenden Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern am DPMA, JPO und USPTO im Zeitraum von 1980 bis 2011. Zentrale Ergebnisse stützen den identifizierten Paradigmenwechsel und legen die regionale und akteursbezogene Verteilung der Wissensbasis sowie das resultierende Potenzial und Niveau technologischer Kooperation offen.

- Die Automobilindustrie verstärkt seit Mitte der 1990er Jahre weltweit ihre Patentierungsaktivitäten zur Batterie sowie einige Jahre später zur Brennstoffzelle, was als **Indiz des bevorstehenden Paradigmenwechsels** zu deuten ist. Ein zusätzlicher Hinweis auf einen technologischen Umbruch ergibt sich aus der insgesamt deutlich steigenden Anzahl von explizit automobilbezogenen Offenlegungen zu diesen Technologien.
- Die **regionale Tiefe der Wissensbasis** zu Batterie und Brennstoffzelle ist in Japan hoch, in den USA moderat und in Deutschland gering. Zudem liegt die **regionale Konzentration der Wissensbasis** bei den untersuchten Akteursgruppen in Japan auf sehr hohem, in den USA auf geringem und in Deutschland auf moderatem Niveau. Im internationalen Vergleich verfügt die japanische Industrie folglich über umfangreiche Wissensanteile, die überdies stark auf dominierende Akteure konzentriert sind.
- Hinsichtlich der **Anteile der Akteure an der Wissensbasis** zu den untersuchten Technologien fallen Batterie- und Brennstoffzellenhersteller als stärkste Gruppe auf. Die Vertei-

lung innerhalb der Automobilindustrie zeigt sich insofern heterogen, als dass batteriebezogen die Automobilzulieferer und brennstoffzellenbezogen die Automobilhersteller über eine tiefere technologische Basis verfügen.

- **Kooperationspotenziale** ergeben sich folglich insbesondere auf intersektoraler Ebene, wobei batteriebezogen die Zusammenarbeit von Batterie- und Brennstoffzellenentwicklern mit Automobilzulieferern und brennstoffzellenbezogen die Kooperation ersterer mit den Automobilherstellern besonders vielversprechend ist.
- Im Vergleich zu den identifizierten Potenzialen zeigt sich das reale **Kooperationsniveau** gering, volatil und auf bisherige Partner fokussiert. Diese Beobachtungen deuten einerseits auf pfadabhängige Präferenzen für die anderen Koordinationsmechanismen und andererseits anstelle einer potenzialbasierten auf eine routinegeleitete Selektion der Partner hin. Die oftmals kurzfristigen Partnerschaften erschweren zudem die Bildung von Vertrauen und relationalem Kapital. Auf regionaler Ebene fällt auf, dass in Deutschland intrasektorale Kooperationen, v. a. zwischen den Automobilherstellern, dominieren. In Japan hingegen spielt intersektorale Zusammenarbeit eine zentrale Rolle, während intrasektorale Kooperationen zwischen Automobilherstellern praktisch nicht vorhanden sind. In den USA ist ein grundsätzlich geringeres Kooperationsniveau festzustellen, das vorwiegend durch intersektorale Zusammenarbeit geprägt ist.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass für den technologischen Paradigmenwechsel im automobilen Antrieb umfangreiche, v. a. intersektorale Kooperationspotenziale existieren, die aus der explorationsbezogenen Heterogenität der Akteure und der Verteilung relevanten Vorwissens resultieren. Diese Potenziale beziehen sich auf die Verhaltensebene der Akteure, den Innovationsprozess sowie die Eigenschaften technologischen Wissens und Lernens und werden global, insbesondere jedoch in Deutschland, bei Weitem nicht ausgeschöpft.

5.2 Implikationen für Praxis und Forschung

Aus den gewonnenen Erkenntnissen resultieren Implikationen für die Unternehmenspraxis, die öffentliche Innovationspolitik und die Forschung.

Für den Bereich der **Unternehmensführung** ist festzuhalten**,** dass technologische Kooperation die Explorationsfähigkeit deutlich verbessern kann, wobei sich die Potenziale auf das Verhalten der Akteure, den Innovationsprozess sowie die Eigenschaften technologischen Wissens und Lernens beziehen. Vertrauensbasierte Zusammenarbeit in einem kollektiv-vernetzten Innovationsprozess kann entscheidend zur erforderlichen Dynamisierung von Fähigkeiten beitragen. Langfristiger unternehmerischer Erfolg erfordert dabei unter verkürzten Zyklen und intensiviertem Wettbewerb mehr denn je organisationale Beidhändigkeit aus pfadgeleitet-intensiver Exploitation als Grundlage kurzfristiger und pfadbrechend-extensiver Exploration als Fundament langfristiger Wettbewerbsfähigkeit. Ausgehend davon, dass dieser Dualismus bereits heute Bestandteil unternehmerischer Praxis ist, können Wettbewerbsvorteile darüber

hinaus durch heterogene Koordination der Innovationsströme erreicht werden. Eine zentrale Herausforderung liegt demnach darin, die Organisation simultan zu kooperativ-experimenteller Exploration einerseits und Exploitation mittels preisbasierten Wettbewerbs oder machtbasierter Anweisung andererseits zu befähigen. Die Erschließung der Potenziale kooperativer Exploration setzt allerdings die Bereitschaft zu einer Einschränkung der eigenen Unabhängigkeit sowie zur Abweichung von eingefahrenen Koordinationsmustern voraus. Weiterhin ist eine potenzialgeleitete Identifikation und Selektion von Partnern nach dessen Wissensbasis und Explorationsfähigkeit erforderlich, die bspw. durch eine Patentanalyse im Rahmen des Kooperationsmanagements ermittelt werden können. Zudem ist eine langfristige Ausrichtung technologischer Kooperation zu berücksichtigen, um die Bildung einer Vertrauensbasis und relationalen Kapitals zu ermöglichen. Unter der Voraussetzung, dass diese Vorbedingungen erfüllt sind, ist kooperative Exploration sowohl zur Dynamisierung der technologischen Basis als auch Eröffnung umfangreicher technologischer Möglichkeiten abseits des aktuellen Paradigmas aussichtsreich.

Implikationen für den öffentlichen Sektor bzw. seine **Innovationspolitik** ergeben sich im Wesentlichen aus der Erkenntnis, dass das etablierte technologische Paradigma auf Anbieter- und Nachfragerseite Beharrungskräfte erzeugt, die eine reduzierte technologische Entwicklungsdynamik bedingen. Zur Überwindung dieser Beharrungskräfte sowie zur Freisetzung des Potenzials kooperativer Exploration sind sowohl die Anpassung des sozio-institutionellen Rahmens als auch die Stimulation einer gemeinsamen Lösungssuche unter den Anbietern von Bedeutung. Um dabei allerdings die aufgezeigten Potenziale kooperativer Exploration zu erschließen, sollen stimulative Impulse auch auf die Langfristigkeit kooperativer Partnerschaften sowie deren potenzialbezogene Intersektoralität abzielen.

Wissenschaftliche Implikationen ergeben sich hinsichtlich der Forschungsgebiete der Nachhaltigkeit, der Theorie technologischen Wandels sowie der Koordinations- und Kooperationsforschung. Bezogen auf die Nachhaltigkeitsforschung fällt auf, dass eine Operationalisierung der Nachhaltigkeit stets fallspezifisch unter Einbezug aller langfristig relevanten Aspekte erfolgen muss und aufgrund der komplexen Dynamik des Leitbildes immer nur eine Momentaufnahme auf Basis des aktuellen ökologisch-ökonomisch-sozialen Systemverständnisses sein kann. Mit Blick auf die Forschung zu technologischem Wandel ist festzustellen, dass eine dichotome Unterscheidung zwischen technologisch kontinuierlichen und diskontinuierlichen Phasen oftmals zu kurz greift. Speziell bei Technik, die aus komplizierten Teilsystemen aufgebaut ist, verlaufen Zyklen auf interdependenten Ebenen mit wechselnder Bedeutung für die Entwicklung des Gesamtsystems. Die Charakteristik des Paradigmenwechsels verläuft dabei in einem Spektrum von abrupter Substitution bis zu langfristiger Rekonfiguration, was auch als Inkrementalisierung radikalen Wandels interpretiert werden kann. Hinsichtlich der Koordinations- und Kooperationsforschung wird deutlich, dass koordinatives Verhalten in industriellem Umfeld nicht losgelöst von Historie und Perspektive technologischer und industrieller

Entwicklungsdynamik verstanden werden kann. Für ein vertieftes Verständnis von Koordinationsentscheidungen im Einzelfall sind zudem individuelle Akteursspezifika zu berücksichtigen. Insgesamt ist zu konstatieren, dass speziell die Kombination von Innovations-, Nachhaltigkeits- und Koordinationsforschung ein vertieftes Verständnis von Triebfedern, Richtung und Dynamik technologischen und wirtschaftlichen Wandels eröffnet, das weiter vertieft werden sollte.

5.3 Kritische Reflexion und Ansätze für weitere Forschung

Aufgrund der Komplexität und Vielschichtigkeit der Gesamtdynamik, in welche die betrachtete technologische Entwicklung eingebettet ist, konnte in der vorliegenden Untersuchung lediglich ein Ausschnitt der Realität beleuchtet werden. Aus diesem Zusammenhang sowie aus der gewählten Methodik der Analyse resultieren zahlreiche Anknüpfungspunkte für weitere Forschung.

- Die Operationalisierung des **Leitbildes der Nachhaltigkeit** bzw. nachhaltiger Entwicklung hat sich dieser Untersuchung als geeignete Maßnahme zur Bildung eines ausgewogenen und übergreifenden Gradmessers technischer Entwicklung erwiesen. Ausgehend von diesem Ergebnis bietet sich eine weitere Ausdifferenzierung und Konkretisierung der Kombination aus Innovations- und Nachhaltigkeitsforschung für einen allgemeinen sowie technologiespezifischen Erkenntnisgewinn an.
- Der Zusammenhang zwischen der Elektrifizierung des automobilen Antriebs und der systemischen Weiterentwicklung von Energiesektor, Verteilungsnetz und Automobilität wurde in dieser wissenschaftlichen Betrachtung bereits einbezogen. Ein erweitertes Verständnis der Gesamtdynamik kann jedoch durch ergänzende Analysen der Transformationen in der Kraftwerks- und Infrastrukturtechnik erzielt werden. Die Integration der dabei erreichten Erkenntnisse mit den hier erzielten Ergebnissen auf der Ebene **nachhaltiger Energieversorgung und Mobilität**, eröffnet die Möglichkeit einer umfassenden Durchdringung der Interdependenzen und Rückkopplungen zwischen diesen Teilsystemen.
- Ein nicht-technologisches Untersuchungsfeld eröffnet sich hinsichtlich der Rekonstruktion des **sozio-institutionellen Rahmens**, der als sozio-politischer Prozess wesentliche Voraussetzungen zur Durchsetzung von Paradigmen schafft. Automobilbezogene Aspekte dieses Handlungsfeldes wurden in dieser Analyse bereits einbezogen. Für ein weitreichenderes Verständnis bedarf es allerdings einer Ausweitung der wissenschaftlichen Auseinandersetzung auf die bereits dargestellte Gesamtdynamik.
- Neben der Lösungssuche der Anbieterseite wurde in der vorliegenden Untersuchung auch die stimulative Rolle des öffentlichen Sektors im Rahmen technologisch diskontinuierlicher Entwicklung thematisiert. Da die zusätzliche empirische Auswertung jedoch auf die Lösungssuche der Anbieter fokussiert, stellt sich überdies die Frage nach dem **explorativen Beitrag von Universitäten** und öffentlichen Forschungseinrichtungen. Eine ergän-

zende Patentanalyse könnte hier Erkenntnisse über deren Einbindung in Exploration und Kooperation bieten.

- Schwerpunkte der vorliegenden Untersuchung waren die explorativen Aktivitäten der Anbieter in den technologischen Zentren der Automobilindustrie (Deutschland, Japan und USA). Dies ermöglichte einerseits einen Vergleich der Aktivitäten dieser Regionen und andererseits durch gewichtete Aggregation eine valide Aussage auf globaler Ebene. Ausgehend von den dabei erzielten Ergebnissen bietet sich zusätzlich eine fokussierte Analyse der Aktivitäten der aufstrebenden **Automobilindustrie der Schwellenländer** (v. a. Chinas, Indiens und Südkoreas) an.
- Diese Untersuchung identifizierte die techno-ökonomische Schlüsselrolle von Batterie- und Brennstoffzelle für elektrische Antriebe in Automobilen. Dabei wurde im Bereich der Batterie ein starkes exploratives Engagement diversifizierter Unternehmungen nachgewiesen. Ausgehend von den in den nächsten Jahren zu erwartenden Fortschritten zu dieser Technologie sowie ihrer bereits heute applikationsübergreifenden Dominanz als elektrischer Energiespeicher, stellt sich die Frage nach ihrem übergreifenden Diffusions- und Kombinationspotenzial (*cross-fertilization*) als **General Purpose Technology**.
- Auch die für den Explorationsprozess wichtige **Heterogenität der Akteure** bietet Ansatzpunkte für weitere Forschung. Dieser Aspekt wurde zwar durch die Bildung von Akteursgruppen sowie die Unterscheidung zwischen dem etablierten Regime und seiner Herausforderer bereits berücksichtigt, bietet jedoch hinsichtlich des sozio-kulturellen Hintergrunds sowie des institutionellen Rahmens weitere Anknüpfungspunkte. Um herauszufinden, wie diese Parameter exploratives Verhalten, Koordinationsneigung sowie den Methodeneinsatz zum Schutz geistigen Eigentums beeinflussen, bietet sich bspw. eine alternative parameterbezogene Gruppenbildung an.
- Aus den in Teilkapitel 4.1 erörterten Vor- und Nachteilen von Patentdaten als Indikatoren technologischen Lernens und kooperativen Verhaltens erwächst überdies ein Bedarf zur Validierung und **Erweiterung der erzielten Ergebnisse**. Im Bezug auf die Methodik der Patentanalyse bietet sich hierzu eine verstärkte Berücksichtigung qualitativer Aspekte an, die in dieser Arbeit schlagwortbasiert erfolgte und für einen Ausschnitt des Datensets zitationsbasiert erweitert werden könnte. Alternativ bieten sich Methoden der Netzwerktheorie oder die Untersuchung von F&E-Aufwendungen an.
- Die vorliegende wissenschaftliche Betrachtung identifiziert Potenziale vertrauensbasierter Kooperation im Hinblick auf Akteursverhalten, Innovationsprozess und technologisches Lernen mittels theoretischer Deduktion. Die ergänzende empirische Analyse hingegen legt Potenzial und Niveau kooperativer Exploration zu den techno-ökonomischen Schlüsselmodulen des elektrischen Antriebs offen. Ausgehend von diesen Erkenntnissen ist allerdings fraglich, ob und inwieweit die resultierende **Innovationsleistung** kooperativer Unternehmen ihre vorherige bzw. die ihrer nicht-kooperativen Wettbewerber übersteigt. Eine

derartige Analyse ist zweifellos schwierig und lediglich näherungsweise möglich, könnte aber bspw. durch eine Auswertung der Dynamik von Produktportfolios oder technologiespezifischen Beiträgen zum Unternehmensergebnis angestrebt werden.

- Letztlich erwachsen Ansatzpunkte für weitere Forschung auch aus dem entwickelten Zyklus der **Koordinationseignung** im Verlauf technologischen Wandels. Neben der hier fokussierten Kooperation in der Explorationsphase sind zur Validierung und Weiterentwicklung des Modells weitere Untersuchungen sowohl preisbasierten Wettbewerbs in der Exploitationsphase als auch machtbasierter Anweisung in der Reifephase erforderlich. Daneben erscheint auch die Analyse nicht-technologischer Kooperation, der insbesondere in der Reifephase erhöhtes Potenzial zugesprochen wird, vielversprechend.

Wie aus diesen Ausführungen deutlich wird, bestehen sowohl hinsichtlich der Koordination des Innovationsprozesses als auch zum technologischen Wandel in den Bereichen Mobilität und Energie umfangreiche wissenschaftliche Fragestellungen, deren Beantwortung aufgrund der hohen Relevanz dieser Themenfelder von gesellschaftlichem Interesse ist.

Quellenverzeichnis

ABDOLVAND/LIESENER 2009 — Abdolvand, B./Liesener, M. (2009): Was treibt den Ölpreis? – oder: Der Versuch die Pyramide auf die Beine zu stellen, Schriftenreihe Horizonte 21: Umwelt, Energie, Sicherheit, Band 1, Universitätsverlag Potsdam, Potsdam

ABERNATHY/CLARK 1985 — Abernathy, W. J./Clark, K. B. (1985): Innovation – Mapping the winds of creative destruction, in: Research Policy, Vol. 14, No. 1, Seiten 3-22

ABERNATHY/ UTTERBACK 1978 — Abernathy, W. J./Utterback, J. M. (1978): Patterns of Industrial Innovation, in: Technology Review, Vol. 80, No. 7, Seiten 40-47

ABRAHAM 2012 — Abraham, D. (2012): The Battle for New Resources: Minor minerals in green technologies, in: RIETI Policy Discussion Paper Series 12-P-005

AGOSTO 2002 — Agosto, D. E. (2002): Bounded rationality and satisficing in young people's web-based decision making, in: Journal of the American Society for Information Science and Technology, Vol. 53, No. 1, Seiten 16-27

AHA/RADEMACHER 2011 — Aha, C./Rademacher, S. (2011): Rechtliche Rahmenbedingungen der Elektromobilität in Deutschland und der Volksrepublik China, in: Korthauer, R. (Hrsg.): Handbuch Elektromobilität, 2. Auflage, EW Medien und Kongresse, Frankfurt, Seiten 177-192

ALCHIAN 1950 — Alchian, A. (1950): Uncertainty, Evolution and Economic Theory, in: Journal of Political Economy 58, Seiten 211-221

ALCHIAN/DEMSETZ 1972 — Alchian, A. A./Demsetz, H. (1972): Production, information costs, and economic organization, in: The American Economic Review, Vol. 62, No. 5, Seiten 777-795

AMBRIZ 2010 — Ambriz, A. M. (2010): Produktinnovationen durch Kompetenzclusterbildung in kompetenzzellenbasierten Netzen, Chemnitz

ANDERSON et al. 2002 — Anderson, F./McNiven, C./Rose, A. (2002): An analysis of patterns of collaboration in Canadian manufacturing and biotechnology firms, in: De la Mothe, J. R./Link, A. N. (Hrsg.) : Networks, alliances and partnerships in the innovation process, Economics of Science, Technology and Innovation Vol. 28, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Seiten 47-66

ANGERER 2010 — Angerer, G. (2010): Hightech-Metalle für Zukunftstechnologien, in: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis, Vol. 19, No. 1, Seiten 32-39

ANGERER et al. 2009a — Angerer, G./Marscheider-Weidemann, F./Wendl, M./Wietschel, M. (2009): Lithium für Zukunftstechnologien, Karlsruhe, Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI, http://www.isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/isi-publ/2009/isi09b60/Lithium-fuer-Zukunftstechnologien.pdf, Zugriff am 15.03.2014

ANGERER et al. 2009b	Angerer, G./Erdmann, L./Marscheider-Weidemann, F./Scharp, M./Lüllmann, A./Handke, V./Marwede, M. (2009): Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage, Fraunhofer-Institut für System-und Innovationsforschung ISI, Schriftenreihe Innovationspotenziale, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart
ANGERER et al. 2010	Angerer, G./Mohring, A./Marscheider-Weidemann, F./Wietschel, M. (2010): Kupfer für Zukunftstechnologien. Nachfrage und Angebot unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität, Karlsruhe, Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI, isi.fraunhofer.de/isi-de/publ/download/2010/isi10b39/Kupfer-fuer-Zukunftstechnologien.pdf, Zugriff am 15.03.2014
ANZENBERGER 1991	Anzenberger, G. (1991): Kooperation und Altruismus: Ihre stammesgeschichtlichen Wurzeln, in: Wunderer, R. (Hrsg.): Kooperation. Gestaltungsprinzipien und Steuerung der Zusammenarbeit zwischen Organisationseinheiten, C. E. Poeschel, Stuttgart, Seiten 3-20
AOKI 1988	Aoki, M. (1988): Information, incentives, and bargaining in the Japanese economy, Cambridge University Press, Cambridge
ARCHIBUGI 1992	Archibugi, D. (1992): Patenting as an indicator of technological innovation: a review, in: Science and Public Policy, Vol. 19, No. 6, Seiten 357-368
ARROW 1962	Arrow, K. J. (1962): Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention, in: Universities-National Bureau (Hrsg.): The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors, Princeton University Press, Princeton, Seiten 609-626
ARROW 1991	Arrow, K. J. (1991): The dynamics of technological change, in: Organization for Economic Co-operation and Development (Hrsg.): Technology and Productivity – the challenge for economic policy, OECD, Paris, Seiten 473 ff.
ARTHUR 1989	Arthur, W. B. (1989): Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events, in: The economic journal, Vol. 99, No. 394, Seiten 116-131
ASHEIM/COENEN 2005	Asheim, B. T./Coenen, L. (2005): Knowledge bases and regional innovation systems: Comparing Nordic clusters, in: Research policy, Vol. 34, No. 8, Seiten 1173-1190
AUDRETSCH/KEILBACH 2011	Audretsch, D. B./Keilbach, M. (2011): Knowledge spillover entrepreneurship, innovation and economic growth, in: Audretsch, D. B./ Falck, O./Heblich, S./Lederer, A. (Hrsg.): Handbook of Research on Innovation and Entrepreneurship, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Northampton, Seiten 245-269
AUER/HENG 2011	Auer, J./Heng, S. (2011): Smart Grids. Energiewende erfordert intelligente Elektrizitätsnetze, Deutsche Bank Research (Hrsg.), http://www.dbresearch.de/PROD/DBR_INTERNET_DE-PROD/PROD0000000000273605.pdf, Zugriff am 24.03.2014

AXELROD/HAMILTON 1981	Axelrod, R./Hamilton, W. D. (1981): The evolution of cooperation, in: Science, Vol. 211, No. 4489, Seiten 1390-1396
BACHMANN/LANE 2010	Bachmann, R./Lane, C. (2010): Vertrauen und Macht in zwischenbetrieblichen Kooperationen – zur Rolle von Wirtschaftsrecht und Wirtschaftsverbänden in Deutschland und Großbritannien, in: Sydow, J. (Hrsg.): Management von Netzwerkorganisationen - Beiträge aus der „Managementforschung“, 5. Auflage, Gabler | GWV Fachverlage, Wiesbaden, Seiten 75-106
BALDWIN/CLARK 2006a	Baldwin, C. Y./Clark, K. B. (2006): Architectural Innovation and Dynamic Competition: The Smaller “Footprint“ Strategy, Discussion Paper 07-14, Harvard Business School, Boston
BALDWIN/CLARK 2006b	Baldwin, C. Y./Clark, K. B. (2006): Modularity in the design of complex engineering systems, in: Braha, D./ Minai, A. A./Bar-Yam, Y. (Hrsg.): Complex Engineered Systems. Science Meets Technology, Springer, Berlin, Heidelberg, Seiten 175-205
BANSE et al. 2002	Banse, G./Meier, B./Wolffgramm, H. (2002): Technikbilder und Technikkonzepte – eine technikphilosophische und allgemeintechnische Analyse, Forschungszentrum Karlsruhe, Karlsruhe
BARTHEL et al. 2010	Barthel, K./Böhler-Baedeker, S./Bormann, R./Dispan, J./Fink, P./Koska, T./Meißner, H. R. (2010). Zukunft der deutschen Automobilindustrie. Herausforderungen und Perspektiven für den Strukturwandel im Automobilsektor, Diskussionspapier der Arbeitskreise Innovative Verkehrspolitik und Nachhaltige Strukturpolitik der Friedrich-Ebert-Stiftung, http://library.fes.de/pdf-files/wiso/07703.pdf, Zugriff am 22.03.2014
BARTMANN 2001	Bartmann, H. (2001): Substituierbarkeit von Naturkapital, in Held, M./Nutzinger G. (2001): Nachhaltiges Naturkapital – Ökonomik und zukunftsfähige Entwicklung, Campus, Frankfurt/Main
BASBERG 1987	Basberg, B. L. (1987): Patents and the measurement of technological change: a survey of the literature, in: Research policy, Vol. 16, No. 2, Seiten 131-141
BAßELER et al. 2006	Baßeler, U./ Heinrich, J./ Utecht, B. (2006): Grundlagen und Probleme der Volkswirtschaft, 18. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart
BASSHUYSEN 2010	Van Basshuysen, R. (2010): Fahrzeugentwicklung im Wandel: Gedanken und Visionen im Spiegel der Zeit, Vieweg+Teubner | GWV Fachverlage, Wiesbaden
BAUDRY/DUMONT 2006	Baudry, M./Dumont, B. (2006): Comparing firms’ triadic patent applications across countries: Is there a gap in terms of R&D effort or a gap in terms of performances?, in: Research Policy, Vol. 35, No.2, Seiten 324-342
BAUM 2011	Baum, H. (2011): Morphologie der Kooperation als Grundlage für das Konzept der Zwei-Ebenen-Kooperation, Gabler | Springer, Wiesbaden

BAUMOL 1982	Baumol, W. J. (1982): Contestable markets: an uprising in the theory of industry structure, in: American economic review, Vol. 72, No. 1, Seiten 1-15
BECKER 2004	Becker, K. (2004): Innovation in der Biotechnologie – eine Betrachtung zyklischer Entwicklungen mit der Theorie der langen Wellen, Internationales Institut für Management, Universität Flensburg, Flensburg
BECKER 2007	Becker, H. (2007): Auf Crashkurs – Automobilindustrie im globalen Verdrängungswettbewerb, 2. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg
BECKER 2010	Becker, H. (2010): Darwins Gesetz in der Automobilindustrie: Warum deutsche Hersteller zu den Gewinnern zählen, Springer, Berlin, Heidelberg
BECKER 2011	Becker, A. (2011): Elektrofahrzeuge als Stromspeicher, in: Korthauer, R. (Hrsg.): Handbuch Elektromobilität, 2. Auflage, EW Medien und Kongresse, Frankfurt/Main, Seiten 149-159
BECKS et al. 2010	Becks, T./ Doncker, R. D./ Karg, L./ Rehtanz, C./ Reinhard, A./ Willums, J. (Hrsg.) (2010): Wegweiser Elektromobilität, VDE Verlag, Offenbach, Berlin
BEM 2011	Bundesverband eMobilität (2011): Seltene Erden in der Elektromobilität – Preisexplosion für Seltene Erden erfordert ressourcenschonende Elektromotoren für eMobilität, in: Neue Mobilität, Vol. 5/Oktober 2011, Seiten 74-75
BERNHART/ZOLLENKOP 2011	Bernhart, W./Zollenkop, M. (2011): Geschäftsmodellwandel in der Automobilindustrie – Determinanten, zukünftige Optionen, Implikationen, in: Bieger, T./zu Knyphausen-Aufseß, D./ Krys, C. (Hrsg.): Innovative Geschäftsmodelle, Springer, Berlin, Heidelberg, Seiten 277-298
BEUCKER/FICHTER 2007	Beucker, S./Fichter, K. (2007): Trends und Rahmenbedingungen für das Innovationssystem Farbstoffsolarzelle-Perspektive 2020, Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit, http://www.borderstep.de/pdf/P-Beucker-Fichter-Trends_und _Rahmenbedingungen_fuer_das_Innovationssystem_Farbstoffs olarzelle_Perspektive_2020-2007.pdf, Zugriff am 30.04.2014
BEYER 2005	Beyer, J. (2005): Pfadabhängigkeit ist nicht gleich Pfadabhängigkeit! Wider den impliziten Konservatismus eines gängigen Konzepts, in: Zeitschrift für Soziologie, Vol. 34, No. 1, Seiten 5-21
BIEBER 2010	Bieber, N. (2010): Kooperationen als Strategie zur Bewältigung von Finanzierungsengpässen – eine Analyse der deutschen Biotechnologiebranche, Universität Augsburg, Augsburg
BIELER/RISCH 2012	Bieler, M. B./Risch, M. (2012): Wahrnehmung und Deutung von Innovationen im sozialen Wandel, in: Bohrmann, I./John, R./Aderhold, J. (Hrsg.): Indikatoren des Neuen – Innovation als Sozialmethodologie oder Sozialtechnologie?, Springer, Wiesbaden, Seiten 177-194

BLÄTTEL-MINK 2006 — Blättel-Mink, B. (2006): Kompendium der Innovationsforschung, VS Verlag für Sozialwissenschaften | GWV Fachverlage, Wiesbaden

BLÄTTEL-MINK/EBNER 2009 — Blättel-Mink, B./Ebner, A. (Hrsg.) (2009): Innovationssysteme, VS Verlag für Sozialwissenschaften | GWV Fachverlage, Wiesbaden

BLESL et al. 2009 — Blesl, M./Bruchof, D./Hartmann, N./Özdemir, E. D./Fahl, U./Eltrop, L./Voß, A. (2009): Entwicklungsstand und Perspektiven der Elektromobilität: Endbericht, Institute of Energy Economics and the Rational Use of Energy (IER) der Universität Stuttgart, http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2010/5218/pdf/Elektromobilitaet_Endbericht_20100322.pdf, Zugriff am 20.02.2014

BLIND 2004 — Blind, K. (2004): The economics of standards: theory, evidence, policy, Edward Elgar Publishing, Northampton

BMJV PatG 2013 — Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz (2013): Deutsches Patentgesetz (PatG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. Dezember 1980 (BGBl. 1981 I S. 1), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 19. Oktober 2013 (BGBl. I S. 3830), http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/patg/gesamt.pdf, Zugriff am 17.04.2014

BMU 2009 — Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009): Konzept eines Programms zur Markteinführung von Elektrofahrzeugen – 1. Schritt: Marktaktivierung von 100.000 Elektrofahrzeugen bis 2014, http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/marktaktivierung_elektroauto_schaubilder.pdf, Zugriff am 28.02.2014

BMWI 2011 — Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2011): Schlaglichter der Wirtschaftspolitik, Monatsbericht August 2011, http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/Monatsbericht/schlaglichter-der-wirtschaftspolitik-08-2011,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf, Zugriff am 20.10.2012

BOCH 2001 — Boch, R. (Hrsg.) (2001): Geschichte und Zukunft der deutschen Automobilindustrie: Tagung im Rahmen der „Chemnitzer Begegnungen“ 2000, Franz Steiner, Stuttgart

BODE/ALIG 2011 — Bode, A./Alig, S. (2011): Strategies for Innovation Networks, Veröffentlichung No. 54933 des Department of Business Administration, Economics and Law, Institute for Business Studies der Darmstadt Technical University, Darmstadt

BORCHERT et al. 2004 — Borchert, J. E./Goos, P./Hagenhoff, S. (2004): Innovationsnetzwerke als Quelle von Wettbewerbsvorteilen, Arbeitsbericht 11/2004 des Instituts für Wirtschaftsinformatik der Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen

BORNEMANN 2012 — Bornemann, S. (2012): Kooperation und Kollaboration - Das Kreative Feld als Weg zu innovativer Teamarbeit, VS Verlag für Sozialwissenschaften | Springer, Wiesbaden

BOULDING 1978	Boulding, K. E. (1978): Ecodynamics: a new theory of societal evolution, Sage Publications, Beverly Hills
BP 2013	BP (2013): BP Statistical Review of World Energy June 2013, http://www.bp.com/statisticalreview, Zugriff am 13.03.2014
BRAND EINS 2010	o. V. (2010): Kooperieren oder verlieren. Schwerpunkt: Beziehungswirtschaft, in: brand eins Wirtschaftsmagazin, Vol. 07/2010
BRANDES et al. 1997	Brandes, W./ Recke, G./ Berger, T. (1997): Produktions- und Umweltökonomik, Eugen Ulmer, Stuttgart
BROCKHOFF 1991	Brockhoff, K. (1991): RD cooperation between firms: a classification by structural variables, in: International Journal of technology management - Special Issue on Manufacturing Strategy, Vol. 6, No.3-4, Seiten 261-373
BRUNDTLAND 1987	Brundtland, G. H. (1987): Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development
BRUNNER 2006	Brunner, M. (2006): Strategisches Nachhaltigkeitsmanagement in der Automobilindustrie – Eine empirische Untersuchung, Deutscher Universitäts-Verlag | GWV Fachverlage, Wiesbaden
BUCHHOLZ 2012	Buchholz, M. (2012): Theorie der Variantenvielfalt – Ein produktions-und absatzwirtschaftliches Erklärungsmodell, Gabler Verlag | Springer Fachmedien, Wiesbaden
BUCHMANN/PYKA 2013	Buchmann, T/Pyka, A. (2013): The Evolution of Innovation Networks: The Case of a German Automotive Network, Universität Hohenheim, FZID discussion paper 70-2013
BUNDESTAG 1998	Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung (1998): Konzept Nachhaltigkeit - Vom Leitbild zur Umsetzung (Abschlussbericht), Drucksache 13/11200, Sachgebiet 1101
BUNDESTAG 2002	Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (2002): Für eine Vorreiterrolle, Umweltgutachten 2002, Drucksache 14/8792
BUNDESTAG 2010	Deutscher Bundestag (2010): Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland, Deutscher Bundestag, Berlin
BURETH et al. 1999	Bureth, A./Wolff, S./Zanfei, A. (1999): Cooperative learning and the evolution of inter-firm agreements in the European elcctronics industry, in: Gambardella, A./Malerba, F. (Hrsg.): The organization of economic innovation in Europe, Cambridge University Press, Cambridge, Seiten 202-238
BURNS 2000	Burns, J. D. (2000): Learning about technology in society: developing liberating literacy, in: Ziman, J. (Hrsg.): Technological Innovation as an Evolutionary Process, Cambridge University Press, Cambridge, Seiten 299-311
BUSH 1945	Busch, V. (1945): Science. The Endless Frontier, in: Transactions of the Kansas Academy of Science, Vol. 48, No. 3, Seiten 231-264

CAINARCA et al. 1992	Cainarca, G. C./Colombo, M. G./Mariotti, S. (1992): Agreements between firms and the technological life cycle model: Evidence from information technologies, in: Research Policy, Vol. 21, No. 1, Seiten 45-62
CANTNER/HANUSCH 1998	Cantner, U./Hanusch, H. (1998): Industrie-Evolution, Institut für Volkswirtschaftslehre der Universität Augsburg, Augsburg
CANTNER/PYKA 1998	Cantner, U./Pyka, A. (1998): Absorbing technological spillovers: simulations in an evolutionary framework, in: Industrial and Corporate Change, Vol. 7, No. 2, Seiten 369-397
CANZLER 2010	Canzler, W. (2010): Mobilitätskonzepte der Zukunft und Elektromobilität, in: Hüttl, R./Pischtsrieder, B./Spath, D. (Hrsg.): Elektromobilität – Potenziale und wissenschaftlich-technische Herausforderungen, Springer, Berlin, Heidelberg, Seiten 39-61
CANZLER et al. 2011	Canzler, W./Wentland, A./Simon, D. (2011): Wie entstehen neue Innovationsfelder? Vergleich der Formierungs- und Formungsprozesse in der Biotechnologie und Elektromobilität, Diskussionspapier des Wissenschaftszentrums Berlin für Sozialforschung, No. SP III 2011-601
CANZLER/KNIE 2012	Canzler, W./Knie, A. (2012): Vom Batteriefahrzeug zur Elektromobilität, in: Proff, H./Schönharting, J./Schramm, D./Ziegler, J. (Hrsg.): Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität – Betriebswirtschaftliche und technische Aspekte, Springer Gabler, Wiesbaden, Seiten 5-20
CARLSSON 1994	Carlsson, B. (1994): Technological Systems and Economic Performance, in: Dodgson, M./Rothwell, R. (Hrsg.): The Handbook of Industrial Innovation, Edward Elgar Publishing, Aldershot, Seiten 13-24
CHAMON et al. 2008	Chamon, M./Mauro, P./Okawa, Y. (2008): Mass car ownership in the emerging market giants, in: Economic Policy, Vol. 23, No. 54, Seiten 243-296
CHESNAIS 1996	Chesnais, F. (1996): Technological agreements, networks and selected issues in economic theory, in: Coombs, R./Richards, A./Saviotti, P. P./Walsh, V. (Hrsg.): Technological Collaboration – The Dynamics of Cooperation in Industrial Innovation, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Seiten 18-33
CHIDAMBER/KON 1994	Chidamber, S. R./Kon, H. B. (1994). A research retrospective of innovation inception and success: the technology-push, demand-pull question, in: International Journal of Technology Management, Vol. 9, No. 1, Seiten 94-112
CHOI et al. 2006	Choi, S./Fisman, R./Gale, D./Kariv, S. (2006) : Substantive and procedural rationality in decisions under uncertainty, Experimental Social Science Laboratory (X-lab), Berkeley
CHRISTENSEN 1997	Christensen, C.M. (1997): The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail, Harvard Business Review Press
CHRISTENSEN/ OVERDORF 2000	Christensen, C. M./Overdorf, M. (2000): Meeting the Challenge of disruptive Innovation, in: Harvard Business Review, Vol. 78, No. 2, Seiten 66-77, Reprint R00202

CHRISTENSEN/ ROSENBLOOM 1995	Christensen, C. M./Rosenbloom, R. S. (1995): Explaining the attacker's advantage: Technological paradigms, organizational dynamics, and the value network, in: Research Policy, Vol. 24, No. 2, Seiten 233-257
CLARK 1985	Clark, K. B. (1985): The interaction of design hierarchies and market concepts in technological evolution, in: Research policy, Vol. 14, No. 5, Seiten 235-251
CLARK/STAUNTON 1989	Clark, P./Staunton, N. (1989): Innovation in Technology and Organizsation, Routledge, New York
COASE 1937	Coase, R. H. (1937): The nature of the firm, in economica, Vol. 4, No. 16, Seiten 386-405
COHEN/LEVINTHAL 1989	Cohen, W. M./Levinthal, D. A. (1989): Innovation and learning: the two faces of R & D, in: The economic journal, Vol. 99, No. 397, Seiten 569-596
COHEN/LEVINTHAL 1990	Cohen, W. M./Levinthal, D. A. (1990): Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation, in: Administrative science quarterly, Vol. 35, No. 1, Seiten 128-152
CONTRACTOR 1986	Contractor, F. J. (1986): International business: An alternative view, in: International Marketing Review, Vol. 3, No. 1, Seiten 74-85
COOKE et al. 2007	Cooke, P./Laurentis, C. D./Tödtling, F./Trippl, M. (Hrsg.) (2007): Regional knowledge economies: markets, clusters and innovation, Edward Elgar Publishing, Cheltenham
COOMBS 1988	Coombs, R. (1988): Technological opportunities and industrial organisations, in: Dosi, G./Freeman, C./Nelson, R./Soete, L. (Hrsg.): Technical Change and Economic Theory, Pinter Publishers, London, New York, Seiten 295-308
COOMBS et al. 1996	Coombs, R./Richards, A./Saviotti, P.P./Walsh, V. (1996): Introduction: technological collaboration and networks of alliances in the innovation process, in: Coombs, R./Richards, A./Saviotti, P. P./Walsh, V. (Hrsg.): Technological Collaboration – The Dynamics of Cooperation in Industrial Innovation, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Brookfield, Seiten 1-17
COOPER 1980	Cooper, R. G. (1980): Project NewProd: factors in new product success, in: European Journal of Marketing, Vol. 14, No. 5/6, Seiten 277-292
COOPER/EDGETT 2009	Cooper, R. G./Edgett, S. J. (2009): Product Innovation and Technology Strategy, Product Development Institute, United States of America
CORSETTI 2010	Corsetti, M. (2010). Past, present and future evolution of oil prices, Massachusetts Institute of Technology, dspace.mit.edu/ bitstream/handle/1721.1/59134/659509828.pdf?sequence=1, Zugriff am 05.01.2014

CORSTEN 2001	Corsten, H. (2001): Grundlagen der Koordination in Unternehmungsnetzwerken, in: Corsten, H. (Hrsg.): Unternehmungsnetzwerke - Formen unternehmungsübergreifender Zusammenarbeit, Oldenbourg Wirtschaftsverlag, München, Wien, Seiten 1-57
CRABB/JOHNSON 2007	Crabb, J. M./Johnson, D. K. (2007): Fueling the Innovative Process: Oil Prices and Induced Innovation in Automotive Energy-Efficient Technology, Colorado College Working Paper 2007-04, https://adr.coalliance.org/coccc/fez/eserv/coccc:2617/FuelingtheInnovative.pdf, Zugriff am 26.10.2012
DACHS et al. 2004	Dachs, B./Ebersberger, B./Pyka, A. (2004): Why do firms cooperate for innovation? A comparison of Austrian and Finnish CIS 3 results, Volkswirtschaftliche Diskussionsreihe des Instituts für Volkswirtschaftslehre der Universität Augsburg, No. 255
DAIM et al. 2006	Daim, T. U./Rueda, G./Martin, H./Gerdsri, P. (2006): Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis, in: Technological Forecasting and Social Change, Vol. 73, No. 8, Seiten 981-1012
DALY 1990	Daly, H. E. (1990). Toward some operational principles of sustainable development, in: Ecological economics, Vol. 2, No. 1, Seiten 1-6
DALY 1996	Daly, H. E. (1996): Beyound Growth: The Economics of sustainable Development, Beacon Press, Boston
DALY 2007	Daly, H. E. (2007): Ecological Economics and sustainable Development: Selected Essays of Herman E. Daly, Advances in Ecological Economics, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Northampton
DARWIN 1869	Darwin, C. (1869): On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life, 5. Auflage, John Murray, London
DASGUPTA 1987	Dasgupta, P. (1987): The economic theory of technology policy: an introduction, in: Dasupta P./Soneman, P. (Hrsg.): Economic policy and techological performance, Cambridge University Press, Cambridge, Seiten 7-20
DASGUPTA/STIGLITZ 1980	Dasgupta, P./Stiglitz, J. (1980): Industrial Structure and the Nature of Innovative Activity, in: Economic Journal 90, No. 358, Seiten 266-293
DAVID 1985	David, P. A. (1985): Clio and the Economics of QWERTY, in: The American economic review, Vol. 75, No. 2, Seiten 332-337
DCTI 2010	Deutsches Cleantech Institut (2010): eMobilität, in: CleanTech-Branche - Treiber im Fokus, Band 4, http://www.dcti.de/veroeffentlichungen/dcti-studienreihe.html, Zugriff am 10.04.2011

DE LA MOTHE 2002	De la Mothe, J. (2002) : Policy networks in adaptive innovation systems, in: De la Mothe, J. R./Link, A. N. (Hrsg.) : Networks, alliances and partnerships in the innovation process, Economics of Science, Technology and Innovation Vol. 28, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Seiten 251-262
DE MIRANDA 1995	De Miranda, A. (1995): Where does technological change come from?, in : Cuadernos de Sección. Ciencias Sociales y Económicas, Vol. 2, Seiten 47-58
DE RASSENFOSSE/ VAN POTTELSBERGHE 2009	De Rassenfosse, G./Van Pottelsberghe de la Potterie, B. (2009): A policy insight into the R&D–patent relationship, in: Research Policy, Vol. 38, No. 5, Seiten 779-792
DESTATIS 2012	Statistisches Bundesamt der Bundesrepublik Deutschland (2012): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland - Indikatorenbericht 2012, https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/Umweltindikatoren/IndikatorenPDF_0230001.pdf?__blob=publicationFile, Zugriff am 07.10.2012
DESTATIS 2013	Statistisches Bundesamt der Bundesrepublik Deutschland (2013): Laufende Wirtschaftsrechnungen. Einnahmen und Ausgaben privater Haushalte 2011, Fachserie 15, Reihe 1, Wiesbaden
DETERS 2010	Deters, H. (2010): Legislating on car emissions: What drives standards in EU environmental policy?, TranState Working Papers, No. 142, Bremen, http://hdl.handle.net/10419/43880, Zugriff am 20.10.2012
DICKEN 2011	Dicken, P. (2011): Global shift: Mapping the changing contours of the world economy, 6. Auflage, Sage Publications, London
DIEKMANN/ROSENTHAL 2014	Diekmann, B./Rosenthal, E. (2014): Energie: Physikalische Grundlagen ihrer Erzeugung, Umwandlung und Nutzung, 3. Auflage, Springer Spektrum, Wiesbaden
DLR 2013	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (2013): Innovationstreiber Kooperation – Chancen für den Mittelstand, Buch- und Offsetdruckerei Richard Thierbach, Mülheim an der Ruhr
DODGSON 1992	Dodgson, M. (1992): The strategic management of R&D collaboration, in: Technology Analysis & Strategic Management, Vol. 4, No.3, Seiten 227-244
DODGSON 1993	Dodgson, M. (1993): Technological collaboration in industry - Strategy, policy and internationalization in innovation, Routledge, London
DODGSON 1994	Dodgson, M. (1994): Technological Collaboration and Innovation, in: Dodgson, M./Rothwell, R. (Hrsg.): The Handbook of Industrial Innovation, Edward Elgar Publishing, Aldershot, Seiten 285-292

DODGSON 1996 Dodgson, M. (1996): Learning, trust and inter-firm technological linkages: some theoretical assiciations, in: Coombs, R./Richards, A./Saviotti, P.P./Walsh, V. (Hrsg.): Technological Collaboration – The Dynamics of Cooperation in Industrial Innovation, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Brookfield, Seiten 54-75

DODGSON 2007 Dodgson, M. (2007): Technological Collaboration, in: Hanusch, H./ Pyka, A. (Hrsg.): The Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Seiten 193-200

DOLATA 2007 Dolata, U. (2007): Technik und sektoraler Wandel - Technologische Eingriffstiefe, sektorale Adaptionsfähigkeit und soziotechnische Transformationsmuster, MPIfG Discussion Paper 07/3, Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung, Köln

DOLATA 2008a Dolata, U. (2008): Technologische Innovation und sektoraler Wandel. Eingriffstiefe, Adaptionsfähigkeit, Transformationsmuster: Ein analytischer Ansatz, in: Zeitschrift für Soziologie, Jahrgang 37, Vol. 1/2008, Seiten 42-59

DOLATA 2008b Dolata, U. (2008): Soziotechnischer Wandel, Nachhaltigkeit und politische Gestaltungsfähigkeit, in: Lange, H. (Hrsg.): Nachhaltigkeit als radikaler Wandel. Die Quadratur des Kreises?, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, Seiten 261-286

DOLATA 2011 Dolata, U. (2011): Soziotechnischer Wandel als graduelle Transformation. Berliner Journal für Soziologie, Vol. 21, No. 2, Seiten 265-294

DÖRING 2004 Döring, R. (2004): Wie stark ist schwache, wie schwach starke Nachhaltigkeit?, Wirtschaftswissenschaftliche Diskussionspapiere, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Rechts- und Staatswissenschaftliche Fakultät, No. 08/2004, http://hdl.handle.net/10419/22095

DOSI 1982 Dosi, G. (1982): Technological paradigms and technological trajectories – a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change, in: Research Policy, Vol. 11, No. 3, Seiten 147–162

DOSI 1988a Dosi, G. (1988): The Nature of the Inventive Process, in: Dosi, G./Freeman, C./Nelson, R./Soete, L. (Hrsg.): Technical Change and Economic Theory, Pinter Publishers, London, New York, Seiten 221-238

DOSI 1988b Dosi, G. (1988): Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation, in: Journal of economic literature, Vol. 26, Seiten 1120-1171

DOSI et al. 1990 Dosi, G./Zysman, J./Tyson, L. (1990): Technology, trade policy and schumpeterian efficiencies, in: De la Mothe, J. R./ Durcharme, L. M. (Hrsg.): Science, Technology and Free Trade, Cengage Learning EMEA, London

DOSI/EGIDI 1991	Dosi, G./ Egidi M. (1991): Substantive and procedural uncertainty - An exploration of economic behaviours in changing environments, in: Journal of evolutionary economics 1991, Vol. 1, Seiten 145-168
DOSI/GRAZZI 2009	Dosi, G./Grazzi, M. (2009): Energy, development and the environment: an appraisal three decades after the 'limits to growth' debate, in: Pyka, A./Cantner, U./Greiner, A./Kuhn, T. (Hrsg.): Recent Advances in Neo-Schumpeterian Economics. Essays in Honour of Horst Hanusch, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Northampton, Seiten 34-52
DOSI/LABINI 2007	Dosi, G./Labini, M. S. (2007): Technological paradigms and trajectories, in: Hanusch, H./ Pyka, A. (Hrsg.): The Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Seiten 331-343
DOSI/NELSON 2009	Dosi, G./Nelson, R. R. (2009): Technical Change and Industrial Dynamics as Evolutionary Processes, Diskussionspapier des Laboratory of Economics and Management der Sant'Anna School of Advanced Studies, No. 2009/07
DPMA 2009	Deutsches Patent- und Markenamt (2009): DPMA Informativ. Informationen über Patentdokumente des In- und Auslands (I-PIA), Version 2.7 – 05/2009, http://www.dpma.de/ponline/ipia/03_DPMAinformativ_IPIA.pdf, Zugriff am 09.05.2013
DPMA 2013	Deutsches Patent- und Markenamt (2013): Internationale Patentklassifikation. Handbuch IPC, München, http://www.dpma.de/docs/service/klassifikationen/ipc/handbuch_ipc2013.pdf, Zugriff am 04.03.2014
DUJMOVITS 2009	Dujmovits, R. (2009): Ökonomik der ökologischen Nachhaltigkeit - Die Logik erschöpfbarer Ressourcen und die Fallstricke des technologischen Optimismus, Working Paper No. 2009-2, Institut für Finanzwissenschaft und Öffentliche Wirtschaft der Universität Graz, Graz
DUNCKER 2000	Duncker, C. (2000): Verlust der Werte? Wertewandel zwischen Meinungen und Tatsachen, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden
DYER 1996	Dyer, J. H. (1996): Specialized supplier networks as a source of competitive advantage: evidence from the auto industry, in: Strategic Management Journal, Vol. 17, No. 4, Seiten 271-291
DYER/NOBEOKA 2000	Dyer, J. H./Nobeoka, K. (2000): Creating and managing a high performance knowledge-sharing network: the Toyota case, in: Strategic Management Journal, Vol. 21, No. 3, Seiten 345-367
DYER/SINGH 1998	Dyer, J. H./Singh, H. (1998): The relational view: Cooperative strategy and sources of interorganizational competitive advantage, in: Academy of management review, Vol. 23, No. 4, Seiten 660-679
EBERSBERGER/PYKA 2002	Ebersberger, B./Pyka, A. (2002): Innovation and Sectoral Employment: A Trade–off between Compensation Mechanisms, in: Labour, Vol. 16, No. 4, Seiten 635-665

EC 2014 — European Comission (2014): Climate Action - Reducing CO2 Emissions from passenger cars, http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index_en.htm, Zugriff am 02.05.2014

EDLER 2005 — Edler, D. (2005): Integration ökologischer, ökonomischer und sozialer Nachhaltigkeitskriterien, Beitrag im Rahmen des 14. Wissenschaftlichen Kolloquiums des Statistischen Bundesamtes: Neue Wege statistischer Berichterstattung - Mikro- und Makrodaten als Grundlage sozioökonomischer Modellierungen, Wiesbaden den 28. und 29.04.2005, http://kolloq.destatis.de/2005/edler.pdf, Zugriff am 18.12.2012

EDQUIST 1997 — Edquist, C. (1997) (Hrsg.): Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations, Pinter Publishers, London

EG 443/2009 — Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates Nr. 443/2009, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0001:0015:DE:PDF, Zugriff am 01.05.2014

EG 443/2009b — Änderung der Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates Nr. 443/2009, http://register.consilium.europa.eu/doc/srv?l=DE&t=PDF&f=PE+120+2013+INIT, Zugriff am 02.05.2014

EICHELSEDER/KLELL 2008 — Eichelseder, H./Klell, M. (2008): Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik: Erzeugung, Speicherung, Anwendung, Vieweg+Teubner | GWV Fachverlage, Wiesbaden

ELEMENTENERGY 2012 — Elementenergy (2012): Cost and performance of EV batteries, Final report for the Committee on Climate Change, Cambridge, http://www.element-energy.co.uk/wordpress/wp-content/uploads/2012/06/CCC-battery-cost_-Element-Energy-report_March2012_Finalbis.pdf, Zugriff am 26.03.2014

ELIASSON 1990 — Eliasson, G. (1990): The firm as a competent team, in: Journal of Economic Behavior & Organization, Vol. 13, So. 3, Seiten 275-298

ELIASSON 1991 — Eliasson, G. (1991): Modeling the experimentally organized economy: Complex dynamics in an empirical micro-macro model of endogenous economic growth, in: Journal of Economic Behavior & Organization, Vol. 16, No. 1, Seiten 153-182

E-MOBIL BW 2012 — e-Mobil BW – Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie (2012): Energieträger der Zukunft - Potenziale der Wasserstofftechnologie in Baden-Württemberg, www.e-mobilbw.de/de/service/publikationen.html?file=files/e-mobil/content/DE/Publikationen/PDF/12054_Studie_Wasserstoff_Innenteil_RZ_NEU_Einzelseiten_72.pdf, Zugriff am 13.03.2014

EPO EPÜ 2007 — Europäische Patentorganisation (2007): Europäisches Patentübereikommen (EPÜ), 13. Auflage, http://www.cep.eu/fileadmin/user_upload/Kurzanalysen/EU-Patent/EPUE.pdf, Zugriff am 17.04.2014

ERDMANN 1993	Erdmann, G. (1993): Evolutionary economics as an approach to environmental problems, in: Giersch, H. (Hrsg.): Economic progress and environmental concerns, Springer, Berlin, Heidelberg, Seiten 65-96
ERDMANN et al. 2011	Erdmann, L./Behrendt, S./Feil, M. (2011): Kritische Rohstoffe für Deutschland. Identifikation aus Sicht deutscher Unternehmen wirtschaftlich bedeutsamer mineralischer Rohstoffe, deren Versorgungslage sich mittel-bis langfristig als kritisch erweisen könnte, Abschlussbericht, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZB), Berlin, https://www.kfw.de /Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Sonderpublikationen/Kritische-Rohstoffe-LF.pdf, Zugriff am 03.03.2014
ERDMANN/ZWEIFEL 2008	Erdmann, G./Zweifel, P. (2008): Energieökonomik - Theorie und Anwendungen, Springer, Berlin, Heidelberg
ETTER 2003	Etter, C. (2003): Nachgründungsdynamik neugegründeter Unternehmen in Berlin im interregionalen Vergleich. Interaktionseffekte zwischen Unternehmen, unternehmerischem Umfeld, Kooperationsbeziehungen und unternehmerischem Erfolg, Freie Universität Berlin, Berlin
EU 2014	Europäische Union (2014): Parlament fordert einheitliches Handy-Ladegerät , Pressemitteilung vom 13.03.2014, Referenznummer 20140307IPR38122, http://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/infopress/20140307IPR38122/20140307IPR38122_de.pdf, Zugriff am 04.05.2014
FAGERBERG 2003	Fagerberg, J. (2003): Schumpeter and the revival of evolutionary economics: an appraisal of the literature, in: Journal of Evolutionary Economics, Vol. 13, Seiten 125-159
FAGERBERG 2005	Fagerberg, J. (2005): Innovation: A Guide to Literature, in: Fagerberg, J./Mowery, D.C./Nelson, R.R. (Hrsg.): The Oxford Handbook of Innovation, Oxford University Press, Seiten 1-26
FELDMANN 2007	Feldmann, C. (2007): Strategisches Technologiemanagement - Eine empirische Untersuchung am Beispiel des deutschen Pharma-Marktes 1990 – 2010, Deutscher Universitäts-Verlag | GWV Fachverlage, Wiesbaden
FENN/RASKINO 2008	Fenn, J./Raskino, M. (2008): Mastering the hype cycle: how to choose the right innovation at the right time, Harvard Business Press, Boston
FETZER et al. 2011	Fetzer, J./Leuther, S./Butzmann, S./Fink, H./Lee, P. S. (2011): Li-Ionen Batterien für Automobilandwendungen – Schlüsselerfolgsfaktoren für die Industrialisierung, in: Korthauer, R. (Hrsg.): Handbuch Elektromobilität, 2. Auflage, EW Medien und Kongresse, Frankfurt/Main, Seiten 91-100
FILSON 2001	Filson, D. (2001): The nature and effects of technological change over the industry life cycle, in: Review of Economic Dynamics, Vol. 4, No. 22, Seiten 460-494

FITZE 2011 — Fitze, U. (2011): Gegen die Einbahnstraße, in: weiter.vorn. Das Fraunhofer-Magazin, Vol. 1/2011, Fraunhofer-Gesellschaft, München, Seiten 22-23

FLECK 2000 — Fleck, J. (2000): Artefact ↔ Activity: the coevolution of artefacts, knowledge and organization in technical innovation, in: Ziman, J. (Hrsg.): Technological Innovation as an Evolutionary Process, Cambridge University Press, Cambridge, Seiten 248-266

FOURNIER et al. 2012 — Fournier, G./Würzer, D./Seign, R./Hinderer, H. (2012): Der Weg zur emissionsfreien Mobilität – Strategien der Hersteller im internationalen Vergleich, in: Proff, H./Schönharting, J./Schramm, D./Ziegler, J. (Hrsg.): Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität – Betriebswirtschaftliche und technische Aspekte, Springer Gabler, Wiesbaden, Seiten 405-423

FOXON/KEMP 2006 — Foxon, T./Kemp, R. (2006): Innovation Impacts on Environmental Policies, in: Marinova, D./Annendale, D./Phillimore, J. (Hrsg.): The International Handbook on Environmental Technology Management, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Seiten 119-139

FREEMAN 1991 — Freeman, C. (1991): Networks of innovators: a synthesis of research issues, in: Research policy, Vol. 20, No. 5, Seiten 499-514

FREEMAN 1996 — Freeman, C. (1996): The greening of technology and models of innovation, in: Technological forecasting and social change, Vol. 53, No. 1, Seiten 27-39

FREEMAN/PEREZ 1988 — Freeman, C./Perez, C. (1988): Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour, in: Dosi, G./Freeman, C./Nelson, R./Soete, L. (Hrsg.): Technical Change and Economic Theory, Pinter Publishers, London, New York, Seiten 38-66

FREEMAN/SOETE 1997 — Freeman, C./Soete, L. (1997): The Economics of Industrial Innovation, 3. Auflage, Routledge, Abingdon

FREITAS et al. 2011 — Freitas, I. M. B./Clausen, T./Fontana, R./Verspagen, B. (2011): Formal and Informal External Linkages and Firms' Innovative Strategies: A Cross-Country Comparison, in: Pyka, A./Da Graca a Derengowski Fonseca, M. (Hrsg.): Catching up, spillovers and innovation networks in a schumpeterian perspective, Springer, Berlin, Heidelberg, Seiten 119-145

FRIEDMAN 1953 — Friedman, M. (1953): The Methodology of Positive Economics, in: Friedman, M. (Hrsg.): Essays in Positive Economics, University of Chicago, Chicago

FRIEDRICH-NISHIO 2005 — Friedrich-Nishio, M. S. (2005): Einfluss verhaltensbasierter Faktoren auf die Innovationsleistung – Eine evolutionsökonomische Betrachtung am Beispiel von IT-Unternehmen in Japan und Deutschland, Institut für Wirtschaftsforschung und Wirtschaftspolitik der Universität Kalrsruhe, Karlsruhe

FRIETSCH et al. 2005	Frietsch, R./Gauch, S./Breitschopf, B. (2005): Patente in Europa und der Triade: Strukturen und deren Veränderung, BMBF (Hrsg.): Studien zum deutschen Innovationssystem, Vol. 9 (2005), Frauenhofer ISI, Karlsruhe
GABLER 2013	Gabler Wirtschaftslexikon (2013), Springer Gabler | Springer Fachmedien Wiesbaden, http://wirtschaftslexikon.gabler.de/, Zugriff am 27.01.2013
GALIANA/GREEN 2009	Galiana, I./Green, C. (2009): An Analysis of a Technology-led Climate Policy as a Response to Climate Change, Copenhagen Consensus Center, Frederiksberg, http://fixtheclimate.com/uploads/tx_templavoila/AP_Technology_Galiana_Green_v.6.0.pdf, Zugriff am 08.01.2013
GEELS 2002	Geels, F. W. (2002): Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study, in: Research policy, Vol. 31, No. 8, Seiten 1257-1274
GEELS 2005	Geels, F. W. (2005): Technological Transitions and System Innovation – A Co-Evolutionary and Socio-Technical Analysis, Edward Elgar Publishing, Cheltenham
GEORGESCU-ROEGEN 1971	Georgescu-Roegen, N. (1971): The Entropy Law and the Economic Processes, Harvard University Press, Cambridge
GERINGER et al. 2012	Geringer, B./Sihn, W./Bauer, C.,/Gommel, H. (2012): Elektromobilität – Chancen für die österreichische Wirtschaft, Langfassung der Studie, http://www.iv-net.at/iv-all/publikationen/file_595.pdf, Zugriff am 05.03.2014
GERL 2002	Gerl, B. (2002): Innovative Automobilantriebe: Konzepte auf der Basis von Brennstoffzellen, Traktionsbatterien und alternativen Kraftstoffen, Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech
GERL 2007	Gerl, B. (2007): Schnelle Stromdepots, in: weiter.vorn. Das Fraunhofer-Magazin, Vol. 3/2007, Fraunhofer-Gesellschaft, München, Seiten 74-75
GERSTLBERGER/WILL 2010	Gerstlberger, W./Will, M. (2010): Rolle von Umweltinnovationen, in: Kramer, M. (Hrsg.): Integratives Umweltmanagement – Systemorientierte Zusammenhänge zwischen Politik, Recht, Management und Technik, Gabler | GWV Fachverlage, Wiesbaden
GERYBADZE 1995	Gerybadze, A. (1995): Strategic alliances and process redesign: effective management and restructuring of cooperative projects and networks, de Gruyter, Berlin, New York
GERYBADZE 1999	Gerybadze, A. (1999): Management technologischer Kooperationen, Discussion Paper on International Management and Innovation 99-04, Universität Hohenheim, Stuttgart
GIESECKE 2005	Giesecke, H. (2005): Wie lernt man Werte? Grundlagen der Sozialerziehung, Juventa, Weinheim, München

GNANN/PLÖTZ 2011	Gnann, T./Plötz, P. (2011): Status Quo und Perspektiven der Elektromobilität in Deutschland, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Working paper sustainability and innovation No. S14/2011, http://hdl.handle.net/10419/54753, Zugriff am 24.03.14
GOEKE 2008	Goeke, C. (2008): Unternehmenskooperation und Branchentransformation: eine Analyse aus coevolutorischer Perspektive, Gabler | GWV Fachverlage, Wiesbaden
GOLLOCH 2005	Golloch, R. (2005). Downsizing bei Verbrennungsmotoren. Ein wirkungvolles Konzept zur Kraftstoffverbrauchsenkung, Springer, Berlin, Heidelberg
GOMES/CASSERES 1994	Gomes-Casseres, B. (1994): Group vs. group: How alliance networks compete, in: Harvard business review, Vol. 72, No. 4, Seiten 62-76
GÖPFERT 2009	Göpfert, J. (2009): Modulare Produktentwicklung: Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation, Books on Demand, Norderstedt
GÖPFERT/STEINBRECHER 2000	Göpfert, J./Steinbrecher, M. (2000): Modulare Produktentwicklung leistet mehr. Warum Produktarchitektur und Projektorganisation gemeinsam gestaltet werden müssen, in: Harvard Business Manager, Vol. 3/2000, Seiten 20-31
GRABE 2010	Grabe, L. (2010): Das „Projekt Nachhaltigkeit“: Zu den Grenzen des Nachhaltigkeitskonzepts aus kultureller Perspektive, Cultura21 eBooks Series on Culture and Sustainability, Band 1
GRANOVETTER 1973	Granovetter, M. S. (1973): The Strength of Weak Ties, in: American Journal of Sociology, Vol. 78, No. 6, Seiten 1360-1380
GRANSTRAND 2010	Granstrand, O. (2010): Industrial Innovation Economics and Intellectual Property, 5. Auflage, Svenska Kulturkompaniet, Götheborg
GREBEL et al. 2003	Grebel, T./Pyka, A./Hanusch, H. (2003): An evolutionary approach to the theory of entrepreneurship, in: Industry and innovation, Vol. 10, No. 4, Seiten 493-514
GRILICHES 1998	Griliches, Z. (1998): Patent statistics as economic indicators: a survey, in: R&D and productivity: the econometric evidence, University of Chicago Press, Chicago, Seiten 287-343
GROBER 2010	Grober, U. (2010): Die Entdeckung der Nachhaltigkeit. Kulturgeschichte eines Begriffs, 3. Auflage, Kunstmann, München
GRUDEN 2008	Gruden, D. (2008): Umweltschutz in der Automobilindustrie: Motor, Kraftstoffe, Recycling, Vieweg+Teubner | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden
GRUPP 1997	Grupp, H. (1997): Messung und Erklärung des technischen Wandels: Grundzüge einer empirischen Innovationsökonomik, Springer, Berlin
GULATI et al. 2000	Gulati, R./Nohria, N./Zaheer, A. (2000): Strategic networks, in: Strategic management journal, Vol. 21, No. 3, Seiten 203-215

HABERFELLNER et al. 2012	Haberfellner, R./Fricke, E./de Weck, O./Vössner, S. (2012): Systems Engineering. Grundlagen und Anwendung, 12. Auflage, Orell Füssli, Zürich
HAGEDOORN 1993	Hagedoorn, J. (1993): Understanding the rationale of strategic technology partnering: Interorganizational modes of cooperation and sectoral differences, in: Strategic management journal, Vol. 14, No. 5, Seiten 371-385
HAGEDOORN/ SCHAKENRAAD 1990a	Hagedoorn, J./Schakenraad, J. (1990): Strategic partnering and technological co-operation, in: Dankbaar, B./Groenewegen, J./Schenk, H. (Hrsg.): Perspectives in Industrial Organization, Kluwer Academic Publishers | Springer Netherlands, Dordrecht, Seiten 171-191
HAGEDOORN/ SCHAKENRAAD 1990b	Hagedoorn, J./Schakenraad, J. (1990): Inter-firm partnerships and co-operative strategies in core technologies, in: Freeman, C./Soete, L. (Hrsg.): New explorations in the economics of technical change, Pinter Publishers, London, Seiten 3-37
HAGEMANN 1995	Hagemann, H. (1995): Technological unemployment, in: Arestis, P./Marshall, M. (Hrsg.): The Political Economy of Full Employment. Conservatism, Corporatism and Institutional Change, Edward Elgar Publishing, Aldershot, Seiten 36-53
HAGEMANN/VON HAUFF 2010	Hagemann, H./von Hauff, M. (2010): Nachhaltige Entwicklung als neues Paradigma der Ökonomie, in: Hagemann, H./von Hauff, M. (2010): Nachhaltige Entwicklung als neues Paradigma der Ökonomie, Metropolis, Marburg, Seiten 9-32
HALDER 2006	Halder, G. (2006): Strukturwandel in Clustern am Beispiel der Medizintechnik in Tuttlingen, Lit, Berlin
HALL/VREDENBURG 2003	Hall, J./Vredenburg, H. (2003): The Challenges of Innovating for Sustainable Development, in: MIT Sloan Management Review, Vol. 45 , No. 1, Seiten 61-68
HAMEL 1991	Hamel, G. (1991): Competition for competence and interpartner learning within international strategic alliances, in: Strategic management journal, Vol. 12, No.1, Seiten 83-103
HAMEL et al. 1989	Hamel, G./Doz, Y. L./Prahalad, C. K. (1989) : Collaborate with your Competitors - and Win, in: Harvard business review, Vol. 67, No. 1, Seiten 133-139
HAMILTON 1964	Hamilton, W. D. (1964): The genetical evolution of social behaviour, in: Journal of theoretical biology, Vol. 7, No. 1, Teil 1 auf Seiten 1-16, Teil 2 auf Seiten 17-52
HANDELSBLATT 2011	Herz, C./Steingart, G./Bucherau, A. W. (2011): Es Fehlt ein Marktanreiz fürs Elektroauto, in: Handlesblatt, Ausgabe vom 28.01.2011, http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/dieter-zetsche-es-fehlt-ein-marktanreiz-fuers-elektroauto/3818198.html, Zugriff am 08.02.2014
HANDELSBLATT 2012a	Andresen, T./Schaal, S. (2012): Elektroautos. Die Stromer legen eine Zwangspause ein, in: Handelsblatt, Ausgabe vom 07.03.2012, http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/elektroautos-die-stromer-legen-eine-zwangspause-ein/6298546.html, Zugriff am 17.03.2014

HANDELSBLATT 2012b	o. V. (2012): Kooperation statt Konflikt. Warum im modernen Kapitalismus Zusammenarbeit deutlich besser funktioniert als Konkurrenz und Konflikt, in: Handelsblatt, Wochenendausgabe Nr. 189 vom 28. bis 30.09.2012
HANUSCH/PYKA 2006	Hanusch, H./Pyka, A. (2006): Principles of Neo-Schumpeterian Economics, in: Cambridge Journal of Economics, Vol. 31, Seiten 275–289
HANUSCH/PYKA 2007	Hanusch, H./Pyka, A. (2007): A roadmap to comprehensive neo-Schumpeterian economics, in: Hanusch, H./ Pyka, A. (Hrsg.): The Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Seiten 1160-1170
HARMANN 2003	Harmann, B. G. (2003): Patente als strategisches Instrument zum Management technologischer Diskontinuitäten, Difo-Druck, Bamberg
HARTJE 1990	Hartje, V. J. (1990): Zur Struktur des „ökologisierten“ Umweltkapitalstocks: Varianten und Determinanten umweltsparender technologischer Anpassung in Unternehmen, in: Zimmermann, K. F./Hartje, V. J./Ryll, A. (Hrsg.): Ökologische Modernisierung der Produktion, Ed. Sigma, Berlin, Seiten 135-198
HASSENMÜLLER 2008	Hassenmüller, H. (2008): Smart und sicher – die Energienetze von morgen, in: weiter.vorn. Das Fraunhofer-Magazin, Vol. 1/2008, Fraunhofer-Gesellschaft, München, Seiten 50-52
HAUSCHILDT/SALOMO 2007	Hauschildt, J./Salomo, S. (2007): Innovationsmanagement, 4. Auflage, Franz Vahlen, München
HAUSCHILDT/SALOMO 2011	Hauschildt, J./Salomo, S. (2011): Innovationsmanagement, 5. Auflage, Franz Vahlen, München
HAYEK 1945	Hayek, F. A. von (1945): The use of knowledge in society, in: The American Economic Review, Vol. 35, No. 4, Seiten 519-530
HAYEK 1968	Hayek, F. A. von (1968): Der Wettbewerb als Entdeckungsverfahren, Kieler Vorträge Nr. 56, Kiel
HAYEK 1972	Hayek, F. A. von (1972): Die Theorie komplexer Phänomene, Mohr
HAYES/ABERNATHY 1980	Hayes, R. H./Abernathy, W. J. (1980): Managing our way to economic decline, Harvard Business Review, Vol. 58, No. 4
HEDRÉN 2009	Hedrén, J. (2009): Shaping sustainability: Is there an unreleased potential in utopian thought?, in: Futures, Vol. 41, No. 4, Seiten 220–225
HEESEN 2009	Heesen, M. (2009): Innovationsportfoliomanagement - Bewertung von Innovationsprojekten in kleinen und mittelgroßen Unternehmen der Automobilzulieferindustrie, Gabler | GWV Fachverlage, Wiesbaden
HEFTRICH 2001	Heftrich, F. (2001): Moderne F&E-Zusammenarbeiten in der Automobilindustrie: Organisation und Instrumente, Universtität Siegen, Siegen

HEINRICHS et al. 2011	Heinrichs, H./Kuhn, K./Newig, J. (2011): Einleitung: Nachhaltige Gesellschaft – Gestaltung durch Partizipation und Kooperation?, in: Heinrichs, H./Katina, K./Newig, J. (Hrsg.): Nachhaltige Gesellschaft – welche Rolle für Partizipation und Kooperation?, Springer, Wiesbaden, Seiten 11-14
HEINZ 2005	Heinz, U. (2005): Führung und Kooperation als Erfolgsfaktoren in innovativen F&E-Projekten auf elektronischen Plattformen, Technische Universität Universität Berlin, Berlin
HELD/NUTZINGER 2001	Held, M./Nutzinger, G. (2001): Nahhaltiges Naturkapital - Perspektive für die Ökonomik, in: Held, M./Nutzinger G. (Hrsg.): Nachhaltiges Naturkapital – Ökonomik und zukuftsfähige Entwicklung, Campus, Frankfurt/Main, Seiten 11-49
HELMERS 2010	Helmers, E. (2010): Bewertung der Umwelteffizienz moderner Autoantriebe – auf dem Weg vom Diesel-Pkw-Boom zu Elektroautos, in: Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, Vol. 22, No. 5, Seiten 564-578
HELMSTÄDTER 2011	Helmstädter, E. (2011): Das gesellschaftliche Wissen als Reichtumsquelle – Seine Bedeutungsschwankungen von Adam Smith bis heute, in: Hagemann, H. (Hrsg.): Studien zur Entwicklung der ökonomischen Theorie XXVI, Schriften des Vereins für Socialpolitik, Band 115/XXVI, Duncker & Humblot, Berlin, Seiten 17-35
HENDERSON/CLARK 1990	Henderson, R. M./Clark, K. B. (1990): Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms, in: Administrative Science Quarterly, Vol. 35, No. 1, Special Issue: Technology, Organizations and Innovation, Seiten 9-30
HENSEL 2007	Hensel, J. (2007): Netzwerkmanagement in der Automobilindustrie: Erfolgsfaktoren und Gestaltungsfelder, Deutscher Universitätsverlag | GWV Fachverlage, Wiesbaden
HENSLEY et al. 2009	Hensley, R./Knupfer, S./Pinner, D. (2009): Electrifying cars: How three industries will evolve, McKinsey Quarterly Vol. 3/2009, Seiten 87-96, http://www.eosenergystorage.com/articles/McKinseyEVreport2009.pdf, Zugriff am 24.03.2014
HERNANDEZ/DEWICK 2011	Hernandez, I./Dewick, P. (2011): Social Entrepreneurship for the Generation of Networking Capabilities, in: Pyka, A./Da Graca a Derengowski Fonseca, M. (Hrsg.): Catching up, spillovers and innovation networks in a schumpeterian perspective, Springer, Berlin, Heidelberg, Seiten 217-233
HERZOG 2011	Herzog, P. (2011): Open and Closed Innovation - Different Cultures for Different Strategies, 2. Auflage, Gabler | Springer, Wiesbaden
HESSE et al. 2012	Hesse, B./Hiesgen, G./Koppers, M. (2012): Einfluss verschiedener Nebenverbraucher auf Elektrofahrzeuge, in: Proff, H./Schönharting, J./Schramm, D./Ziegler, J. (Hrsg.): Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität – Betriebswirtschaftliche und technische Aspekte, Springer Gabler, Wiesbaden, Seiten 91-104

HETTICH 2010 — Hettich, G. (2010): Elektromobilität besonders in den USA, das Rügen Projekt und die neuen Anläufe, in: Brill, U. (Hrsg.): Moderne Elektronik im Kraftfahrzeug V: Elektromobilität der Zukunft – Elektrische Energiespeicher für mobile Anwendungen – Prädiktive Betriebsstrategien und zugehörige EIE-Architekturen, Haus der Technik Fachbuch Band 114, expert Verlag, Renningen, Seiten 99-110

HEYMANN et al. 2011 — Heymann, E./Koppel, O./Puls, T. (2011): Elektromobilität – Sinkende Kosten sind conditio sine qua non, Deutsche Bank Research (Hrsg.), http://www.dbresearch.de/PROD/DBR_INTERNET_DE-PROD/PROD0000000000277861/Elektromobilit%C3%A4t%3A+Sinkende+Kosten+sind+conditio+sine+qua+non.pdf, Zugriff am 15.03.2014

HICKS 1933 — Hicks, J. R. (1933): Gleichgewicht und Konjunktur, in: Zeitschrift für Nationalökonomie, Vol. 4, Seiten 441-455

HINGLEY/NICOLAS 2006 — Hingley, P./Nicolas, M. (2006): Forecasting innovations: Methods for predicting numbers of patent filings, Springer, Heidelberg

HINTERBERGER et al. 1997 — Hinterberger, F./Luks, F./Schmidt-Bleek, F. (1997): Material flows vs. 'natural capital' - What makes an economy sustainable?, in: Ecological Economics 23, Seiten 1-14

HOÁNG et al. 2003 — Hoàng, H./Simac, S./Rothaermel, F. T. (2003): The impact of general and partner-specific alliance experience on joint R&D project performance, INSEAD, Working Paper 2003/28/ENT

HOFF 2012 — Hoff, P. H. (2012): Greentech Innovation and Diffusion - A Financial Economics and Firm-Level Perspective, Gabler | Springer Fachmedien, Wiesbaden

HOFMANN 2010 — Hofmann, P. (2010): Hybridfahrzeuge. Ein alternatives Konzept für die Zukunft, Springer, Wien

HOHAGE 2012 — Hohage, C. D. (2012): Management-Herausforderungen für Ford im Übergang zur Elektromobilität, in: Proff, H./Schönharting, J./Schramm, D./Ziegler, J. (Hrsg.): Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität – Betriebswirtschaftliche und technische Aspekte, Springer Gabler, Wiesbaden, Seiten 21-39

HOLZHAUSEN 2004 — Holzhausen, A. (2004): Durchsetzung neuer Antriebstechnologien bei Automobilen: eine netzwerkökonomische Betrachtung, dissertation.de

HORN 2011 — Horn, M. (2011): Stromer tanken Enerneuerbare, in: weiter.vorn. Das Fraunhofer-Magazin, Vol. 3/2011, Fraunhofer-Gesellschaft, München, Seiten 49-50

HUANG 2000 — Huang, C. C. (2000): Overview of modular product development, in: Proceedings-National Science Council Republic of China, Part A: Physical Science and Engineering, Vol. 24, No. 3, Seiten 149-165

HUBER 2003 — Huber, J. (2003) Das Konzept der ökologischen Konsistenz als Beitrag zu einer nachhaltigen Technikgestaltung, in: Grundwald, A. (Hrsg.): Technikgestaltung – zwischen Wunsch und Wirklichkeit, Springer, Heidelberg, New York

HUSSINGER/WASTYN 2011	Hussinger, K./Wastyn, A. (2011): Search for the not-invented-here syndrome: The role of knowledge sources and firm success, Diskussionspapier No. 11-048 des Zentrums für europäische Wirtschaftsforschung, http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp11048.pdf, Zugriff am 20.10.2012
HÜTTENRAUCH/BAUM 2008	Hüttenrauch, M./Baum, M. (2008): Effiziente Vielfalt: die dritte Revolution der Automobilindustrie, Springer, Berlin, Heidelberg
IMAI/BABA 1991	Imai, K./Baba, Y. (1991): Systemic Innovation and cross boarder networks, in: OECD (Hrsg.): Organization for Economic Co-operation and Development Technology and Productivity – the challenge for economic policy, OECD, Paris, Seiten 389 ff.
INGELHART 1981	Inglehart, R. (1981): Post-materialism in an environment of insecurity, in: The American Political Science Review, Vol. 75, No. 4, Seiten 880-900
INGELHART/ABRAMSON 1999	Inglehart, R./Abramson, P. R. (1999): Measuring postmaterialism, in: American Political Science Review, Vol. 93, No. 3, Seiten 665-677
JACOB 2010	Jacob, K. (2010): Müll macht mobil, in: weiter.vorn. Das Fraunhofer-Magazin, Vol. 4/2010, Fraunhofer-Gesellschaft, München, Seiten 32-33
JAFFE/LERNER 2004	Jaffe, A. B./Lenner, J. (2004): Innovation and its discontents: How our broken patent system is endangering innovation and progress, and what to do about it, Princeton University Press, New Jersey
JENNER 1991	Jenner, R. A. (1991): Technological paradigms, innovative behavior and the formation of dissipative enterprises, in: Small Business Economics, Vol. 3, No. 4, Seiten 297-305
JOHANSSON 2010	Johansson, D. (2010): The theory of the experimentally organized economy and competence blocs: An introduction, in: Journal of Evolutionary Economics, Vol. 20, No. 2, Seiten 185-201
JOHN et al. 2012	John, R./ Aderhold J./ Bormann, I. (2012): Indikatoren des Neuen - Innovation als Sozialtechnologie oder Sozialmethodologie?, in: Bohrmann, I/John, R./Aderhold, J. (Hrsg.): Indikatoren des Neuen – Innovation als Sozialmethodologie oder Sozialtechnologie?, Springer, Wiesbaden, Seiten 7-16
JOVANOVIC/ MACDONALD 1994	Jovanovic, B./MacDonald, G. (1994): The life-cycle of a com petitive industry, Working Paper 4441, National Bureau of Economic Research, Cambridge
KAHLENBORN/KRÄMER 1999	Kahlenborn, W./Kraemer, R. A. (Hrsg.) (1999): Nachhaltige Wasserwirtschaft in Deutschland, Springer, Berlin, Heidelberg
KAISER et al. 2011	Kaiser, O. S./Meyer, S./Schippl, J. (2011): Elektromobilität. ITA-Kurzstudie, Düsseldorf, http://www.itas.kit.edu/pub/v/2011/epp/kaua11-pre01.pdf, Zugriff am 15.03.2014

KALE et al. 2000 — Kale, P./Singh, H./Perlmutter, H. (2000): Learning and protection of proprietary assets in strategic alliances: building relational capital, in: Strategic Management Journal, Vol. 21, Seiten 217–237

KALTSCHMITT et al. 2013 — Kaltschmitt, M./Streicher, W./Wiese, A. (2013) (Hrsg.): Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte, 5. Auflage, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg

KALTSCHMITT/REIMERS 2013 — Kaltschmitt, M./Reimers B. (2013): Zusammenfassender Vergleich, in: Kaltschmitt, M./Streicher, W./Wiese, A. (Hrsg.): Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte, 5. Auflage, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, Seiten 805-872

KANG/SAKAI 2000 — Kang, N. H./Sakai, K. (2000): International strategic alliances: their role in industrial globalisation, OECD Science, Technology and Industry Working Paper No. 2000/5, OECD Publishing, Paris

KASH et al. 2002 — Kash, D. E./Auger, R. N./Li, N. (2002): Organizational requirements for the innovation of complex technologies: De la Mothe, J. R./Link, A. N. (Hrsg.) : Networks, alliances and partnerships in the innovation process, Economics of Science, Technology and Innovation Vol. 28, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Seiten 165-198

KASPERK 2012 — Kasperk, G./Drauz, R. (2012): Kooperationsstrategien von Automobilproduzenten entlang der sich neu ordnenden Wertschöpfungskette, in: Proff, H./Schönharting, J./Schramm, D./Ziegler, J. (Hrsg.): Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität – Betriebswirtschaftliche und technische Aspekte, Springer Gabler, Wiesbaden, Seiten 391-403

KATZ/ALLEN 1982 — Katz, R./Allen, T. J. (1982): Investigating the Not Invented Here (NIH) syndrome: A look at the performance, tenure, and communication patterns of 50 R & D Project Groups, in: R&D Management, Vol. 12, No. 1, Seiten 7-20

KAYSEN/TURNER 1959 — Kaysen, C./Turner, D. F. (1959): Antitrust policy: an economic and legal analysis, Harvard University Press, Cambridge

KBA 2013 — Kraftfahrt Bundesamt der Bundesrepublik Deutschland: Zentrales Fahrzeugregister (ZFZR): Der Fahrzeugbestand im Überblick am 01.01.2013 gegenüber dem 01.01.2012, http://www.kba.de/nn_125398/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/2012__b__ueberblick__pdf,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/2012_b_ueberblick_pdf.pdf, Zugriff am 26.01.2014

KEIJZER 2007 — Keijzer, A. C. (2007): Wandlungsfähigkeit von Entwicklungsnetzwerken – ein Modell am Beispiel der Automobilindustrie, Technische Universität München, http://d-nb.info/988134756/34, Zugriff am 12.11.2013

KEMP 1994 — Kemp, R. (1994): Technology and the transition to environmental sustainability: the problem of technological regime shifts, in: Futures, Vol. 26, No. 10, Seiten 1023-1046

KEMP 1997 Kemp, R. (1997): Environmental policy and technical change: a comparison of the technological impact of policy instruments, Edward Elgar, Cheltenham

KEMP/ROTMANS 2005 Kemp, R./Rotmans, J. (2005): The Management of the Co-Evolution of Technical, Environmental and Social Systems, in: Weber, M./Hemmelskamp, J. (Hrsg.): Towards environmental innovation systems, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Seiten 33-55

KINDLEBERGER 1983 Kindleberger, C. P. (1983): Standards as public, collective and private goods, in: Kyklos, Vol. 36, No. 3, Seiten 377-396

KIRZNER 1973 Kirzner, I. M. (1973): Competition and Entrepreneurship, University Press, Chicago/London

KLELL/CONA 2009 Klell, M/Cona, P. (2009): Wirkungsgrade und CO2-Emissionen verschiedener Energieketten, Bericht Nr. Hy8-2009 MKPC CO2 eta des Hydrogen Center Austria (HyCentA), Graz

KLEMMER et al. 1999 Klemmer, P./Lehr, U./Löbbe, Klaus (1999) : Umweltinnovationen - Anreize und Hemmnisse, Analytica, Berlin

KLEPPER 1996 Klepper, S. (1996): Entry, exit, growth, and innovation over the product life cycle, in: The American economic review, Vol. 86, No. 3, Seiten 562-583

KLEPPER 1997 Klepper, S. (1997): Industry life cycles, in: Industrial and corporate change, Vol. 6, No. 1, Seiten 145-182

KLEPPER 2002 Klepper, S. (2002): Firm survival and the evolution of oligopoly, in: RAND journal of Economics, Vol. 33, No. 1, Seiten 37-61

KLEPPER 2002 Klepper, S. (2002): The capabilities of new firms and the evolution of the US automobile industry, in: Industrial and corporate change, Vol. 11, No. 4, Seiten 645-666

KLEPPER/SIMONS 2000 Klepper, S./Simons, K. L. (2000): Dominance by birthright: entry of prior radio producers and competitive ramifications in the US television receiver industry. Strategic Management Journal, Vol. 21, No. 10-11, Seiten 997-1016

KLEPPER/SIMONS 2005 Klepper, S./Simons, K. L. (2005): Industry shakeouts and technological change, in: International Journal of Industrial Organization, Vol. 23, No. 1, Seiten 23-43

KLINE/ROSENBERG 1986 Kline, S. J./ Rosenberg, N. (1986): An Overview of Innovation, in: Landau, R./Rosenberg, N. (Hrsg.): The Positive Sum Strategy – Harnessing Technology for Economic Growth, National Academy Press, Washington, Seiten 275-305

KLÖPFER/GRAHL 2009 Klöpfer, W./ Grahl, B. (2009): Ökobilanz (LCA): Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf, Wiley-VCH, Weinheim

KLOSE et al. 2011 Klose, P./Wiedemann, B./Knappe, M. (2011): Chancen nutzen, Risiken vermeiden – Technologie und Innovationsmanagement, in: Müller, M. W. (Hrsg.): Lean und Agil – Das Ganze sehen, LOG_X Verlag, Ludwigsburg, Seiten 47-64

KNIGHT 1921 Knight, F. H. (1921): Risk, Uncertainty and Profit, Chicago

KNOTTENBAUER 2009 Knottenbauer, K. (2009): Recent developments in evolutionary biology and their relevance for evolutionary economics, Papers on economics and evolution No. 0911, Max Planck Institute of Economics, Jena

KODAMA 1992 Kodama, F. (1992): Technology fusion and the new R&D, in: Harvard Business Review, Vol. 70, No. 4, Seiten 70-78

KONRAD/NILL 2001 Konrad, W./Nill, J. (2001): Innovationen für Nachhaltigkeit – Ein interdisziplinärer Beitrag zur konzeptionellen Klärung aus wirtschafts- und sozialwissenschaftlicher Perspektive, Schriftenreihe des IÖW 157/01, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin

KOPFMÜLLER et al. 2001 Kopfmüller, J./Brundl, V./Jörissen, J./ Paetau, M./Banse, G./Coenen, R./Grunwald, A. (2001): Nachhaltige Entwicklung integrativ betrachtet - Konstitutive Elemente, Regeln, Indikatoren, Edition Sigma, Berlin

KOSSIAKOFF et al. 2011 Kossiakoff, A./Sweet, W. N./Seymour, S./Biemer, S. M. (2011): Systems engineering principles and practice, 2. Auflage, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey

KOZA/LEWIN 1998 Koza, M. P./Lewin, A. Y. (1998): The co-evolution of strategic alliances, in: Organization science, Vol. 9, No. 3, Seiten 255-264

KROOS 2012 Kroos, K. (2012): Mobilität als Wachstums-und Werttreiber, in: Proff, H./Schönharting, J./Schramm, D./Ziegler, J. (Hrsg.): Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität – Betriebswirtschaftliche und technische Aspekte, Springer Gabler, Wiesbaden, Seiten 41-59

KRÜGER/BIZER 2009 Krüger, L./Bizer, K. (2009): Innovationen im Kontext von Nachhaltigkeit, Universität Göttingen, Volkswirtschaftliches Seminar (144), Göttingen

KUHN 1970 Kuhn, T. S. (1970): The Structure of Scientific Revolutions, 2. Auflage, University Press, Chicago

KUHN/PICKARDT 2009 Kuhn, T./Pickhardt, M. (2009): Biofuels, Innovations, and Endogenous Growth, in: Pyka, A./Cantner, U./Greiner, A./Kuhn, T. (Hrsg.): Recent Advances in Neo-Schumpeterian Economics. Essays in Honour of Horst Hanusch, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Northampton, Seiten 182-196

KURZ 2001 Kurz, R. (2001): Innovation und nachhaltige Entwicklung, in: Hanekamp, G./Steger, U. (Hrsg.): Nachhaltige Entwicklung und Innovation im Energiebereich, Europäische Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen, Wahrlich Druck Ahrweiler, Bad Neuenahr-Ahrweiler

LAM 2005 Lam, A. (2005): Organizational Innovation, in: Fagerberg, J./Mowery, D. C./Nelson, R. R. (Hrsg.): The Oxford Handbook of Innovation, Oxford University Press, Seiten 115-147

LANGE 2011 Lange, K. (2011): Kooperationen in der deutschen Automobilindustrie: Ergebnisse einer empirischen Analyse, Arbeitspapier 104 des Instituts für Genossenschaftswesen der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

LASINGER 2011	Lasinger, D. (2011): Die Leistung vor der Innovation – Ermittlung und Nutzung schwacher Signale von Chancen, Gabler | Springer, Wiesbaden
LAUE 2010	Laue, C. (2010): Evolution, Kultur und Kriminalität - Über den Beitrag der Evolutionstheorie zur Kriminologie, Springer, Berlin, Heidelberg
LAWSON/LORENZ 1998	Lawson, C./Lorenz, E. (1998): Collective learning, tacit knowledge and regional innovative capacity, in: Regional studies, Vol. 33, No. 4, Seiten 305-317
LEHMANN-WAFFENSCHMIDT 2006	Lehmann-Waffenschmidt, B. C. (2006): Industrieevolution und die New Economy – eine evolutorische Analyse der Beziehung zwischen New Economy und Old Economy aus simulationsana lytischer und wirtschaftshistorischer Perspektive, Metropolis, Marburg
LEONARD-BARTON 1992	Leonard-Barton, D. (1992): Core capabilities and core rigidities: A paradox in managing new product development, in: Strategic management journal, Vol. 13, No. S1, Seiten 111-125
LEVEQUE et al. 1996	Leveque, F./Bonazzi, C./Quental, C. (1996) : Dynamics of cooperation and industrial R&D :first insights into the black box II, in: Coombs, R./Richards, A./Saviotti, P. P./Walsh, V. (Hrsg.): Technological Collaboration – The Dynamics of Cooperation in Industrial Innovation, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Brookfield, Seiten 180-200
LINDAHL 1919	Lindahl, E. (1919): Die Gerechtigkeit der Besteuerung: eine Analyse der Steuerprinzipien auf Grundlage der Grenznutzentheorie, Hakan Ohlssons Buchdruckerei, Lund
LINSCHEIDT 1999	Linscheidt, B. (1999): Nachhaltiger technologischer Wandel aus Sicht der Evolutorischen Ökonomik - staatliche Steuerung zwischen Anmaßung von Wissen und drohender Entwicklungsfalle, Umweltökonomischer Diskussionsbeitrag Nr. 99-1 des Sonderforschungsbereichs 419 der Universität zu Köln, Köln
LIPSEY et al. 1998	Lipsey, R. G./Bekar, C./Carlaw, K. (1998): What requires Explanation?, in: Helpman, E. (Hrsg.): General Purpose Technologies and Economic Growth, MIT Press, Cambridge, London, Seiten 15-54
LÜERS 2012	Lüers, K. (2012): Kompakte Leistungsmodule fürs Elektroauto, in: weiter.vorn. Das Fraunhofer-Magazin, Vol. 4/2012, Fraunhofer-Gesellschaft, München, Seiten 56-57
LUHMANN 2000	Luhmann, N. (2000): Vertrauen – Ein Mechanismus zur Reduktion sozialer Komplexität, 4. Auflage, UTB, Stuttgart
LUNDVALL 1988	Lundvall, B.-A. (1988): Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation, in: Dosi, G./Freeman, C./Nelson, R./Soete, L. (Hrsg.): Technical Change and Economic Theory, Pinter Publishers, London, New York, Seiten 349-369
LUNDVALL 2010	Lundvall, B.-A. (2010) (Hrsg.): National Systems of Innovation – Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning, Anthem Press, London

LUNDVALL/BORRÁS 2005	Lundvall, B.-A./Borrás, S. (2005): Science, technology and innovation policy, in: Fagerberg, J./Mowery, D. C./Nelson, R. R. (Hrsg.): The Oxford Handbook of Innovation, Oxford University Press, Seiten 599-631
MACKENZIE 1992	MacKenzie, D. (1992): Economic and sociological explanation of technical change, in: Coombs, R./Saviotti, P./Walsh, V. (Hrsg.): Technical Change and Company Strategies, Academic Press, London, Seiten 25-48
MAJER 1998	Majer, H. (1998): Wirtschaftswachstum und nachhaltige Entwicklung, 3. Auflage, Oldenbourg, München
MALERBA 2004	Malerba, F. (Hrsg.) (2004): Sectoral systems of innovation: concepts, issues and analyses of six major sectors in Europe, Cambridge University Press, Cambridge
MALERBA 2006	Malerba, F. (2006): Innovation and the evolution of industries, in: Journal of Evolutionary Economics, Vol. 16, No. 1, Seiten 3-23
MALERBA 2007	Malerba, F. (2007): Schumpetarian patterns of innovation and technological regimes, in: Hanusch, H./ Pyka, A. (Hrsg.): The Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Seiten 344-359
MALERBA/ORSENIGO 1993	Malerba, F./Orsenigo, L. (1993): Technological Regimes and Firm Bebavior, in: Industrial and corporate change, Vol. 2, No. 1, Seiten 45-71
MALMBERG 1997	Malmberg, A. (1997): Industrial geography: location and learning, in: Progress in Human Geography, Vol. 21, No. 4, Seiten 573-582
MANGEMATIN 1996	Mangematin, V. (1996): The simultaneous shaping of organization and technology within co-operative agreements, in: Coombs, R./Richards, A./Saviotti, P. P./Walsh, V. (Hrsg.): Technological Collaboration – The Dynamics of Cooperation in Industrial Innovation, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Brookfield, Seiten 119-141
MANSFIELD 1986	Mansfield, E. (1986): Patents and innovation: an empirical study, in: Management science, Vol. 32, No. 2, Seiten 173-181
MARKARD/TRUFFER 2008	Markard, J./Truffer, B. (2008): Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework, in: Research policy, Vol. 37, No.4, Seiten 596-615
MARKUSEN 1996	Markusen, A. (1996): Sticky places in slippery space: a typology of industrial districts, in: Economic geography, Vol. 72, No. 3, Seiten 293-313
McDONOUGH/ BRAUNGART 2006	McDonough, W./Braungart, M. (2006): Remaking the way we make things: creating a new definition of quality with cradle-to-cradle design, in: Marinova, D./Annendale, D./Phillimore, J. (Hrsg.): The International Handbook on Environmental Technology Management, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Seiten 33-48

MCKINSEY 2011 McKinsey (2011): Boost! Transforming the powertrain value chain – a portfolio challenge, http://actions-incitatives.ifsttar.fr/fileadmin/uploads/recherches/geri/PFI_VE/pdf/McKinsey_boost.pdf, Zugriff am 22.03.2014

MICHEL 2009 Michel, L. M. (2009): Management von Kooperationen im Bereich Forschung und Entwicklung – eine empirische Studie, Konstanzer Managementschriften No. 7, Universität Konstanz, Konstanz

MISCHKE 2007 Mischke, G. (2007): The Innovation Game - Mythen und Realitäten im Management von Forschung und Entwicklung, in: Engel, K./Nippa, M. (Hrsg.): Innovationsmanagement – Von der Idee zum erfolgreichen Produkt, Physica, Heidelberg, Seiten 35-60

MÖLLERING 2010 Möllering, G. (2010): Kartelle, Konsortien, Kooperationen und die Entstehung neuer Märkte, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Vol. 62, No. 7, Seiten 770-796, Preprint vom 20.10.2010

MONSSEN 2003 Monßen, M. (2003): Umweltinnovationen – Untersuchung von Fallbeispielen bei der Bayer AG, in: Kooperative Institutionen für einen nachhaltigen Paradigmenwechsel in der Industrie - das Beispiel der chemischen Industrie (COIN): zweiter Zwischenbericht zum Forschungsverbundprojekt, Köln, Seiten 11 – 40

MORGENSTERN 1935 Morgenstern, O. (1935): Vollkommene Voraussicht und wirtschaftliches Gleichgewicht, in: Zeitschrift für Nationalökonomie, Vol. 6, Seiten 337-357

MÖSER 2011 Möser, K. (2011): Historischer Abriß der Elektromobilität, in: Korthauer, R. (Hrsg.): Handbuch Elektromobilität, 2. Auflage, EW Medien und Kongresse, Frankfurt, Seiten 15-36

MOWERY et al. 1996 Mowery, D. C./Oxley, J. E./Silverman, B. S. (1996): Stra-tegic alliances and interfirm knowledge transfer, in: Strategic management journal, Vol. 17, Seiten 77-91

MOWERY/ROSENBERG 1979 Mowery, D./Rosenberg, N. (1979): The influence of market demand upon innovation: a critical review of some recent empirical studies, in: Research Policy Vol. 8, No. 2, Seiten 102-153

MULDER et al. 1999 Mulder, P./Reschke, C. H./ Kemp, R. (1999): Evolutionary Theorising on Technological Change and Sustainable Development, Communication to European Meeting on Applied Evolutionary Economics, Grenoble

MÜLLER 2012 Müller, B. (2012): Forschen für die Stromstärke, in: weiter.vorn. Das Fraunhofer-Magazin, Vol. 3/2012, Fraunhofer-Gesellschaft, München, Seiten 66-67

MÜLLER/HERSTATT 2003 Müller, C./Herstatt, C. (2003): Einflußfaktoren auf das Management von Forschungs-und Entwicklungskooperationen: Eine empirische Analyse in der Biotechnologie Working Paper No. 19, Technologie-und Innovationsmanagement, Technische Universität Hamburg-Harburg, Hamburg

NARULA 2004	Narula, R. (2004): R&D collaboration by SMEs: new opportunities and limitations in the face of globalisation, in: Technovation, Vol. 24, No. 2, Seiten 153-161
NARULA/ZANFEI 2005	Narula, R./Zanfei, A. (2005): Globalization of Innovation – the role of multinational enterprises, in: Fagerberg, J./Mowery, D.C./Nelson, R.R. (Hrsg.): The Oxford Handbook of Innovation, Oxford University Press, Seiten 318-345
NAUNIN 2007	Naunin, D. (2007): Elektrofahrzeuge seit 100 Jahren, in: Naunin, D. (Hrsg.): Hybrid-, Batterie-und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge: Technik, Strukturen und Entwicklungen, 4. Auflage, expert verlag, Renningen, Seiten 1-5
NEE 2009	Regierung der Bundesrepublik Deutschland (2009): Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung, Berlin, http://www.bmbf.de/pubRD/nationaler_entwicklungsplan_elektromobilitaet.pdf, Zugriff am 17.03.2014
NELSON 1989	Nelson, R. R. (1989): What is private and what is public about technology?, in: Science, Technology & Human Values, Vol. 14, No. 3, Seiten 229-241
NELSON 1993	Nelson, R. R. (Hrsg.) (1993): National innovation systems: a comparative analysis, Oxford University Press, New York
NELSON 1995	Nelson, R. R. (1995): Recent evolutionary theorizing about economic change, in: Journal of economic literature, Vol. 33, No. 1, Seiten 48-90
NELSON/WINTER 1977	Nelson, R. R./Winter, S. G. (1977): In search of useful theory of innovation, in: Research policy, Vol. 6, No. 1, Seiten 36-76
NELSON/WINTER 1982	Nelson, R. R./ Winter, S. G. (1982): An Evolutionary Theory of Economic Change, The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge
NEMET 2009	Nemet, G. F. (2009): Demand-pull, technology-push, and government-led incentives for non-incremental technical change, in: Research Policy, Vol.38, No. 5, Seiten 700-709
NESTA/MANGEMATIN 2002	Nesta, L./Mangematin, V. (2002): Industry Life-Cycle, Knowledge Generation and Technological Networks, in: De la Mothe, J. R./Link, A. N. (Hrsg.) : Networks, alliances and partnerships in the innovation process, Economics of Science, Technology and Innovation Vol. 28, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Seiten 199-220
NEUMEYER 2010	Neumeyer, E. (2010): Weak vs. Strong sustainability - exploring the limits of two opposing paradigms, 3. Auflage, Edward Elgar Publishing, Cheltenham
NEWIG et al. 2011	Newig, J./Kuhn, K./Heinrichs, H. (2011): Nachhaltige Entwicklung durch gesellschaftliche Partizipation und Kooperation? – eine kritische Revision zentraler Theorien und Konzepte, in: Heinrichs, H./Katina, K./Newig, J. (Hrsg.): Nachhaltige Gesellschaft – welche Rolle für Partizipation und Kooperation?, Springer, Wiesbaden, Seiten 27-45

NIOSI 1996 — Niosi, J. (1996): Strategic technological collaboration in Canadian industry: towards a theory of flexible or collective innovation, in: Coombs, R./Richards, A./Saviotti, P. P./Walsh, V. (Hrsg.): Techno-logical Collaboration – The Dynamics of Cooperation in Industrial Innovation, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Brookfield, Seiten 98-118

NITSCH/FISCHBECK 2002 — Nitsch, J./Fischedick, M. (2002): Eine vollständig regenerative Energieversorgung mit Wasserstoff – Illusion oder realistische Perspektive, http://www.dlr.de/tt/en/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/Wasserstoff-Essen.pdf, Zugriff am 13.03.2014

NOOTEBOOM 1992 — Nooteboom, B. (1992): Towards a dynamic theory of transactions, in: Journal of Evolutionary Economics, Vol. 2, No. 4, Seiten 281-299

NOOTEBOOM 1999 — Nooteboom, B. (1999): Interfirm Alliances: Analysis and Design, Routledge, London

NOOTEBOOM 2000 — Nooteboom, B. (2000): Learning by interaction: absorptive capacity, cognitive distance and governance, in: Journal of management and governance, Vol. 4, No.1-2, Seiten 69-92

NOOTEBOOM 2004 — Nooteboom, B. (2004): Inter-firm collaboration, learning and networks: An integrated approach, Routledge, London

NORGAARD 1994 — Norgaard, R. B. (1994): The Coevolution of Economic and Environmental Systems and the Emergence of Unsustainability, in: England, R. W. (Hrsg.): Evolutionary concepts in contemporary economics, University of Michigan Press, Michigan

NPE 2011 — Nationale Plattform Elektromobilität (2011): Anhang zum zweiten Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität, Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung (Hrsg.), http://www.bmbf.de/pubRD/zweiter_bericht_nationale_plattform_elektromobilitaet.pdf, Zugriff am 24.03.2014

NPE 2012 — Nationale Plattform Elektromobilität (2012): Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (Dritter Bericht), Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung (Hrsg.), www.bmub.bund.de/N48847/, Zugriff am 17.03.2013

NPE 2013 — Nationale Plattform Elektromobilität - Arbeitsgruppe 4 ‚Normung, Standardisierung und Zertifizierung' (2013): Die deutsche Normungs-Roadmap Elektromobilität – Version 2.0A, http://www.dke.de/de/std/AAL/Documents/NPE-Normungsroadmap_DE_2.0a_RZ-v01.pdf, Zugriff am 14.03.2014

OCIA 2014 — International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (2014): Production Statistics 2012 – World Motor Vehicle Production, http://www.oica.net/category/production-statistics/2012-statistics/, Zugriff am 02.02.2014

OECD 1992 — Organization for Economic Co-Operation and Development (1992): Technology and the economy: the key relationships, Technology/Economy Programme, Vol. 42

OECD 2008	Organisation for Economic Co-Operation and Development (2008): Environmental Policy, Technological Innovation and Patents, OECD Studies on Environmental Innovation, http://www.oecd.org/env/consumption-innovation/environmentalpolicytechnologicalinnovationandpatents2008.htm, Zugriff am 17.02.2013
OECD 2009	Zuniga, P./Guellec, D./Dernis, H./Khan, M./Okazaki, T./Webb, C. (2009): OECD Patent Statistics Manual, OECD (Hrsg.), Paris, http://browse.oecdbookshop.org/oecd/pdfs/free/9209021e.pdf, Zugriff am 16.04.2014
OLTRA/SAINT JEAN 2009	Oltra, V./Saint Jean, M. (2009): Sectoral systems of environmental innovation: an application to the French automotive industry, in: Technological Forecasting and Social Change, Vol. 76, No. 4, Seiten 567-583
ÖMER-RIEDER/TÖTZER 2004	Ömer-Rieder, B./Tötzer, T. (2004): Umweltinnovation als spezieller Innovationstyp, ARC systems research GmbH, ZIT Zentrum für Innovation und Technologie (Hrsg.), http://www.innovationspolitik-wien.at/arge-berichte/umw-a.pdf, Zugriff am 11.10.2012
OPEC 2013	Organization of the Petroleum Exporting Countries (2013): Annual Statistical Bulletin, http://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/ASB2013.pdf, Zugriff am 13.03.2014
PAVITT 1984	Pavitt, K. (1984): Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory, in: Research policy, Vol. 13, No. 6, Seiten 343-373
PAVITT 2005	Pavitt, K. (2005): Innovation Processes, in: Fagerberg, J./Mowery, D. C./Nelson, R. R. (Hrsg.): The Oxford Handbook of Innovation, Oxford University Press, Seiten 86-114
PEARCE/TURNER 1990	Pearce, D. W./Turner, R. K. (1990): Economics of natural resources and the environment, Johns Hopkins University Press, Baltimore
PEREZ 1998	Perez, C. (1998): Neue Technologien und sozio-institutioneller Wandel, in: Thomas, H./Nefiodow, L.A. (Hrsg.): Kondratieffs Zyklen der Wirtschaft - An der Schwelle neuer Vollbeschäftigung?, Busse Seewald, Herford, Seiten 17-51
PEREZ 2004	Perez, C. (2004): Technological revolutions, paradigm shifts and socio-insitutional change, in: Reinert, E.S. (Hrsg.): Globalization, economic development and inequality: An alternative perspective, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Seiten 217-242
PEREZ 2010	Perez, C. (2010): Technological revolutions and techno-economic paradigms, in: Cambridge Journal of Economics, Vol. 34, No. 1, Seiten 185-202

PEREZ/SOETE 1988	Perez, C./Soete, L. (1988): Catching up in technology: entry barriers and windows of opportunity, in: Dosi, G./Freeman, C./Nelson, R./Soete, L. (Hrsg.): Technical Change and Economic Theory, Pinter Publishers, London, New York, Seiten 458-479
PETERS/HOFFMANN 2011	Peters, A./Hoffmann, J. (2011): Nutzerakzeptanz von Elektromobilität. Eine empirische Studie zu attraktiven Nutzungsvarianten, Fahrzeugkonzepten und Geschäftsmodellen aus Sicht potenzieller Nutzer, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe, http://isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/service/de/presseinfos/Forschungsergebnisse_Nutzerakzeptanz_Elektromobilitaet.pdf, Zufgriff am 19.02.2014
PETZINNA 2007	Petzinna, T. (2007): Chancen und Grenzen der Supply Chain Collaboration in der Konsumgüterdistribution, Universität Köln, Köln
PICOT et al. 2001	Picot, A./Reichwald, R./Wigand, R. (2001): Die grenzenlose Unternehmung: Information, Organisation und Management, 4. Auflage, Gabler, Wiesbaden
PICOT et al. 2005	Picot, A./Dietl, H./Franck, E. (2005): Organisation – Eine ökonomische Perspektive, 4. Auflage, Schäffer-Poeschl, Stuttgart
PIGOU 1932	Pigou, A. C. (1932): The Economics of Welfare, 4. Auflage, Macmillan and Co., London
POLANYI 1964	Polanji, M. (1964): Personal Knowledge – Towards a Post-Critial Philisophy, Harper & Row, New York
POPP 2006	Popp, D. (2006): ENTICE-BR: The effects of backstop technology R&D on climate policy models, in: Energy Economics 28, Seiten 188–222
PORTER 1980	Porter, M. E. (1980): Competitive Strategy – techniques for analysing industries and competitors, The Free Press, New York
PORTER/VAN DER LINDE 1995	Porter, M. E./Van der Linde, C. (1995): Green and Competitive - Ending the Stalemate, in: Harvard Business Review, Vol. 73, No.5, Seiten 120-134, Reprint 95507
POWELL 2012	Powell, W. W. (2012): Neither market nor hierarchy. Network forms of organization, in: Godwin, M./Gittel, J.H. (Hrsg.): Sociology of Organizations: Structures and Relationships, Pine Forge Press, Los Angeles, Seiten 30-40
PROFF 2012	Proff, H. (2012): Beidhändiges Management im langfristigen, radikalen diskontinuierlichen Übergang der Automobilindustrie in die Elektromobilität, in: Proff, H./Schönharting, J./Schramm, D./Ziegler, J. (Hrsg.): Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität – Betriebswirtschaftliche und technische Aspekte, Springer Gabler, Wiesbaden, Seiten 259-272
PRONZINI et al. 2012	Pronzini, A./Besio, C./Schmidt, R. J. (2012) : Versprechen der Innovation – Das Beispiel des politischen Diskurses über Klimawandel, in: Bohrmann, I/John, R./Aderhold, J. (Hrsg.): Indikatoren des Neuen – Innovation als Sozialmethodologie oder Sozialtechnologie?, Springer, Wiesbaden, Seiten 155-176

PWC 2012	PricewaterhouseCoopers (2012): Elektromobilität – Normen bringen die Zukunft in Fahrt, Studie im Auftrag des Deutschen Instituts für Normung (DIN) in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Bebtriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit (LBF) und der Fachhochschule Frankfurt am Main, http://www.pwc.de/de_DE/de/offentliche-unternehmen/assets/studie_normung.pdf, Zugriff am 14.03.2014
PYKA 1999	Pyka, A. (1999): Der kollektive Innovationsprozeß – Eine theoretische Analyse informeller Netzwerke und absorptiver Fähigkeiten, Volkswirtschaftliche Schriften, Heft 498, Duncker und Humblot, Berlin
PYKA 2000	Pyka, A. (2000): Informal networking and industrial life cycles, in: Technovation, Vol. 20, No. 1, Seiten 25-35
PYKA 2002	Pyka, A. (2002): Innovation networks in economics: from the incentive-based to the knowledge-based approaches, in: European Journal of Innovation Management, Vol. 5, No. 3, Seiten 152-163
PYKA 2011	Pyka, A. (2011): Avoiding evolutionary inefficiencies in innovation networks, Universität Hohenheim, FZID discussion paper 35-2011
PYKA/BUCHMANN 2012	Pyka, A./Buchmann, T. (2012): Netzwerkindikatoren zur Bewertung der innovativen Leistungsfähigkeit, in: Controlling & Management, Sonderheft 1/2012, Gabler, Wiesbaden, Seiten 22-28
RADTKE 2001	Radtke, V. (2001): Indikatoren der Nachhaltigkeit - Bedingungen der empirischen Messung des Konzepts, in: Held, M./Nutzinger G. (Hrsg.): Nachhaltiges Naturkapital – Ökonomik und zukuftsfähige Entwicklung, Campus, Frankfurt/Main, Seiten 69 ff.
RAHMEYER 2005	Rahmeyer, F. (2005): Wirtschaftliche Entwicklung oder evolutorischer Wandel. Ein integrativer Versuch zur Fundierung der evolutorischen Ökonomik, Volkswirtschaftliche Diskussionsreihe der Universität Augsburg, Beitrag Nr. 282
RAHMEYER 2007	Rahmeyer, F. (2007): From a routine-based to a knowledge-based view: towards an evolutionary theory of the firm, in: Hanusch, H./Pyka, A. (Hrsg.): Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Seiten 159-181
RAUTENSTRAUCH et al. 2003	Rautenstrauch, T./Generotzky, L./Bigalke, T. (2003): Kooperationen und Netzwerke – Grundlagen und empirische Ergebnisse, Eul, Köln
REDDY/CORT 1989	Reddy, N. M./Cort, S. G. (1989): Industrywide technical product standards, in: R&D Management, Vol. 19, No. 1, Seiten 13-25
REICHHUBER 2010	Reichhuber, A. W. (2010): Strategie und Struktur in der Automobilindustrie: Strategische und organisatorische Programme zur Handhabung automobilwirtschaftlicher Herausforderungen, Gabler | GWV Fachverlage, Wiesbaden

REIF 2010 — Reif, K. (Hrsg.) (2010): Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe mit Brennstoffzellen und alternativen Kraftstoffen, Vieweg+Teubner | Springer Fachmedien, Wiesbaden

REMIGIJUS et al. 2009 — Remigijus C./Jolita R./Bronislovas M. (2009): The Concept of Sustainable Development and its Use for Sustainability Scenarios, Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics 2, Vol. 2, No. 62, Seiten 28-37

RENNINGS 2000 — Rennings, K. (2000): Redefining Innovation – eco-innovation research and the contribution form ecological economics, in: Ecological Economics, Vol. 32, Seiten 319-332

RENNINGS 2005 — Rennings, K. (2005): Messung und Analyse nachhaltiger Innovationen, Beitrag zum Kolloquium des Statistischen Bundesamtes und der Deutschen Statistischen Gesellschaft 2005, http://kolloq.destatis.de/2005/rennings.pdf, Zugriff am 29.01.2013

RENNINGS et al. 2003 — Rennings, D./Kemp, R./Bartolomeo, M./ Hemmelskamp, J./Hitchens, D. (2003): Blueprints for an integration of science, technology and environmental policy (BLUEPRINT), Zentrum für Europäische Witschaftsführung GmbH (ZEW), http://www.blueprint-network.net, Zugriff am 16.02.2013

RENNINGS et al. 2010 — Rennings, K./Markewitz, P./Vögele, S. (2010): How clean is clean? Incremental versus radical technological change in coal-fired power plants, in: Journal of Evolutionary Economics, Vol. 23, No. 2, Seiten 331-355

RICHARDSON 1972 — Richardson, G. B. (1972): The organisation of industry, in: The economic journal, Vol. 82, No. 327, Seiten 883-896

RIP/KEMP 1998 — Rip, A./Kemp, R. P. M. (1998): Technological Change, in: Rayner S., Malone EL (Hrsg.): Human choice and climate change: an international assessment, Battelle Press, Seiten 327-399

ROGALL 2009 — Rogall, H. (2009): Nachhaltige Ökonomie: Ökonomische Theorie und Praxis einer Nachhaltigen Entwicklung, Metropolis, Marburg

ROSENBERG 1969 — Rosenberg, N. (1969): The direction of technological change: inducement mechanisms and focusing devices, in: Economic Development and Cultural Change, Vol. 18, No. 1, Seiten 1-24

ROSENBERG 1983 — Rosenberg, N. (1983): Inside the black box: technology and economics, Cambridge University Press, Cambridge

ROTHWELL 1992 — Rothwell, R. (1992): Successful industrial innovation: critical factors for the 1990s, in: R&D Management Vol. 22, No. 3, Seiten 221-240

ROTHWELL 1994 — Rothwell, R. (1994): Industrial Innovation: Success, Strategy, Trends, in: Dodgson, M./Rothwell, R. (Hrsg.): The Handbook of Industrial Innovation, Edward Elgar Publishing, Aldershot, Seiten 33-53

ROTHWELL 2002 Rothwell, R. (2002): Towards the Fifth-Generation Innovation Process, in: Henry, J./ Mayle, D. (Hrsg.): Managing Innovation and Change, 2. Auflage, Sage Publications, London, Thousand Oaks, New Delhi, Seiten 115-135

ROTHWELL/DODGSON 1994 Rothwell, R./Dodgson, M. (1994): Innovation and Size of the Firm, in: Dodgson, M./Rothwell, R. (Hrsg.): The Handbook of Industrial Innovation, Edward Elgar Publishing, Aldershot, Seiten 310-324

ROTHWELL/GARDINER 1989 Rothwell, R./Gardiner, P. (1989): The strategic management of re-innovation, in: R&D Management, Vol. 19, No. 2, Seiten 147-160

ROTHWELL/ZEGVELD 1985 Rothwell, R./Zegveld, W. (1985): Reindustrialization and Technology, ME Sharpe, New York

ROWLEY et al. 2000 Rowley, T./ Behrens, D./Krackhardt, D. (2000): Redundant governance structures: an analysis of structural and relational embeddedness in the steel and semiconductor industries, in: Strategic Management Journal, Vol. 21, No. 3, Seiten 369-386

RUDOLPH 2003 Rudolph, S. (2003): Die Innovation und Diffusion des Drei-Liter-Autos, Report 9-2003 der Forschungsstelle für Umweltpolitik (FFU) der Freien Universität Berlin, http://www.polsoz.fu-berlin.de/polwiss/forschung/systeme/ffu/publikationen/2003/rudolph_sebastian_2003/rep_2003_09.pdf, Zugriff am 16.02.2013

RUPPERT 2007 Ruppert, T. (2007): Modularisierung des Verbrennungsmotors als strategische Option in der Motorenindustrie, Kassel University Press, Kassel

RÜTTINGER/FEIL 2010 Rüttinger, L./Feil, M. (2010): Rohstoffkonflikte nachhaltig vermeiden: Risikoreiche Zukunftsrohstoffe? Fallstudie und Szenarien zu Lithium in Bolivien (Teilbericht 3.3), Forschungsprojekt FKZ 370819 102, http://www.adelphi.de/files/uploads/andere/pdf/application/pdf/rohkon_bericht_3-3_bolivien.pdf, Zugriff am 28.02.2014

SACHS et al. 2004 Sachs, J. L./Mueller, U. G./Wilcox, T. P./Bull, J. J. (2004): The evolution of cooperation, in: The Quarterly Review of Biology, Vol. 79, No. 2, Seiten 135-160

SAHAL 1981 Sahal, D. (1981): Patterns of technological Innovation, Addison Wesley

SAHAL 1985 Sahal, D. (1985): Technological guideposts and innovation avenues, in: Research Policy, Vol. 14, No. 2, Seiten 61-82

SAMUELSON 1954 Samuelson, P. A. (1954): The Pure Theory of Public Expenditure, in: The Review of Economics and Statistics, Vol. 36, No. 4, Seiten 387-389.

SAUER 2009 Sauer, D. U. (2009): Elektrische Energiespeicher in Hybrid- und Elektrofahrzeugen, Seminar für Kraftfahrzeug-und Motorentechnik, Berlin, http://lexikon.kfz.tu-berlin.de/kfz-seminar/downloads/vortrag_tu_berlin_29012009.pdf, Zugriff am 14.12.2013

SAUER/LANG 1999 — Sauer, D./ Lang, C. (Hrsg.) (1999): Paradoxien der Innovation – Perspektiven sozialwissenschaftlicher Innovationsforschung, Campus, Frankfurt (Main), New York

SAVIOTTI/PYKA 2008 — Saviotti, P. P./Pyka, A. (2008): Micro and macro dynamics: Industry life cycles, inter-sector coordination and aggregate growth, in: Journal of Evolutionary Economics, Vol. 18, No. 2, Seiten 167-182

SCHADE et al. 2011 — Schade, W./Peters, A./Doll, C./Klug, S./Köhler, J./Krail, M. (2011): VIVER - Vision für nachhaltigen Verkehr in Deutschland, Working Paper Sustainability and Innovation No. S 3/2011 des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe, http://www.isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/e-x/working-papers-sustainability-and-innovation/WP3-2011_VIVER.pdf , Zugriff am 10.01.2013

SCHEPPAT et al. 2011 — Scheppat, B./Bracht, A./Stahlschmidt, A./Wolf, J./ Kippeis, A.-K. (2011): Brennstoffzelle und Batterie - ein Vergleich, in: Korthauer, R. (Hrsg.): Handbuch Elektromobilität, 2. Auflage, EW Medien und Kongresse, Frankfurt, Seiten 85-90

SCHLICK et al. 2011 — Schlick, T./Hertel, G./Hagemann, B./Maiser, E./Kramer, M. (2011): Zukunftsfeld Elektromobilität. Chancen und Herausforderungen für den deutschen Maschinen und Anlagenbau, Roland Berger Strategy Consultants und Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), http://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland_Berger_Zukunftsfeld_Elektromobilitaet_rev_20110509.pdf, Zugriff am 09.03.2014

SCHMID 2010 — Schmid, M. S. (2010): Der Wettbewerb zwischen Business Webs: Strategien konkurrierender Unternehmensnetzwerke im IPTV-markt, Gabler | Springer Fachmedien, Wiesbaden

SCHMID-SCHÖNBEIN 2005 — Schmid-Schönbein, T. (2005): Standardisierung cum Differenzierung der Produktwelt als Voraussetzung und Folge steigenden Reichtums, in: Seiter, S. (Hrsg.): Neue Entwicklungen in der Wachstumstheorie und der Wachstumspolitik, Metropolis, Marburg, Seiten 181-210

SCHMIDTZ 2004 — Schmidtz, D. (2004): Satisficing as a Humanly Rational Strategy, in: Byron, M. (Hrsg.): Satisficing and Maximizing – moral theorists on practical reason, Cambridge University Press, Cambridge, Seiten 30-58

SCHMOCH 1999 — Schmoch, U. (1999). Eignen sich Patente als Innovationsindikatoren, in: Boch, R. (Hrsg.): Patentschutz und Innovation in Geschichte und Gegenwart, Peter Lang, Frankfurt, Seiten 113-126

SCHMOOKLER 1962 — Schmookler, J. (1962): Economic Sources of Inventive Activity, in: The Journal of Economic History , Vol. 22, No. 1, Seiten 1-20

SCHMOOKLER 1966 — Schmookler, J. (1966): Invention and Economic Growth, Harvard University Press, Cambridge

SCHNABL 2007 Schnabl, H. (2007): Catching a glimpse of national systems of innovation: the input–output approach, in: Hanusch, H./ Pyka, A. (Hrsg.): The Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Seiten 882-895

SCHOLTA 2005 Scholta, C. (2005): Erfolgsfaktoren unternehmensübergreifender Kooperation am Beispiel der mittelständischen Automobilindustrie in Sachsen, Wissenschaftliche Schriftenreihe der Universität Chemnitz, Heft 48

SCHÖN 2013 Schön, B. (2013): Mergers & Acquisitions als strategisches Instrument: Die Erschließung technologischen Wissens mittels Unternehmenszusammenschlüssen, Springer Gabler, Wiesbaden

SCHÖN/PYKA 2012 Schön, B./Pyka, A. (2012): A taxonomy of innovation networks, FZID discussion paper No. 42-2012

SCHONERT 2008 Schonert, T. (2008): Interorganisationale Wertschöpfungsnetzwerke in der deutschen Automobilindustrie – die Ausgestaltung von Geschäftsbeziehungen am Beispiel internationaler Standortentscheidungen, Gabler | GWV Fachverlage, Wiesbaden

SCHRAMM et al. 1997 Schramm, R./Ludwig, J./Töpfer, B. (1997): Patentanalyse und Patentstrategie. Gewerblicher Rechtsschutz im Spannungsfeld neuer Informations-und Kommunikationstechnologien, Paton Publikation, Ilmenau, Seiten 47-58

SCHREYER 2005 Schreyer, M. (2005): "New Economy" – Was bleibt aus wachstums- und beschäftigungspolitischer Sicht?, in: Seiter, S. (Hrsg.): Neue Entwicklungen in der Wachstumstheorie und der Wachstumspolitik, Metropolis, Marburg, Seiten 367-426

SCHROEDER 2011 Schröder, T. (2011): Smarte Energienetze, in: weiter.vorn. Das Fraunhofer-Magazin, Vol. 3/2011, Fraunhofer-Gesellschaft, München, Seiten 50-51

SCHUH 2005 Schuh, G. (2005): Produktkomplexität managen: Strategien-Methoden-Tools, 2. Auflage, Carl Hanser, München, Wien

SCHUH et al. 2005 Schuh, G./Friedli, T./Kurr, M. A. (2005): Kooperationsmanagement: Systematische Vorbereitung – Gezielter Auf- und Ausbau – Entscheidende Erfolgsfaktoren, Hanser Verlag, München, Wien

SCHUH et al. 2011 Schuh, G./Klappert, S./Schubert, J./Nollau, S. (2011): Grundlagen zum Technologiemanagement, in: Schuh, G./Klappert, S. (Hrsg.): Technologiemanagement - VDI Handbuch Produktion und Management 2, 2. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg

SCHUMANN 2011 Schumann, J. (2011): Humankapital und Wissen, in: Hagemann, H. (Hrsg.): Studien zur Entwicklung der ökonomischen Theorie XXVI, Schriften des Vereins für Socialpolitik, Band 115/XXVI, Duncker & Humblot, Berlin, Seiten 103-127

SCHUMPETER 1934 Schumpeter, J. A. (1934): Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung – Eine Untersuchung über Unternehmergewinn, Kapital, Kredit, Zins und den Konjunkturzyklus, 9. Auflage 1997 als unveränderter Nachdruck der 1934 erschienenen 4. Auflage, Duncker & Humblot, Berlin

SCHUMPETER 1939 Schumpeter, J. A. (1939): Business Cycles. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process, McGraw-Hill, New York, London, Genehmigte Übersetzung ins Deutsche durch Dockhorn, K. (2008): Konjunkturzyklen

SCHUMPETER 1942 Schumpeter, J. A. (1942): Capitalism, socialism and democracy, Routledge, London und New York, Abdruck 2012 mit einem Vorwort von Swedberg, R., Routledge, London

SCHÜTH 2007 Schüth, F. (2007): Energieversorgung der Zukunft – der Beitrag der Chemie, Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie (DECHEMA), Gesellshchaft Deutscher Chemiker (GDCh), Deutsche Bunsen-Gesellschaft für Physikalische Chemie (DBG), Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle (DGMK), Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (VDI-GVC), Verband der Chemischen Industrie (VCI), http://www.energie-und-chemie.de/pdf/psp_energie09.pdfm, Zugriff am 13.03.2014

SCHWEIKLE 2009 Schweikle, R. (2009): Innovationsstrategien japanischer und deutscher Unternehmen, Gabler | GWV Fachverlage, Wiesbaden

SEGAL 2005 Segal, H. P. (2005): Technological utopianism in American culture, 20th Anniversary Edition, Syracuse University Press, Syracuse

SEISENBERGER et al. 2012 Seisenberger, S./Ernst, M./Hartmann, V./Voigt, K. I. (2012): Empirische Analyse und Bewertung von Brennstoffzellen, in: Proff, H./Schönharting, J./Schramm, D./Ziegler, J. (Hrsg.): Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität – Betriebswirtschaftliche und technische Aspekte, Springer Gabler, Wiesbaden, Seiten 67-80

SEITER 2005a Seiter, S. (2005): Einleitung, in: Neue Entwicklungen in der Wachstumstheorie und der Wachstumspolitik, Metropolis, Marburg, Seiten 7-18

SEITER 2005b Seiter, S. (2005): Faktoren endogenen Wachstums aus postkeynesianisch-kaldorianischer und neoklassischer Sicht, in: Neue Entwicklungen in der Wachstumstheorie und der Wachstumspolitik, Metropolis, Marburg, Seiten 19-48

SEMLINGER 2010 Semlinger, K. (2010): Effizienz und Autonomie in Zulieferungsnetzwerken-zum strategischen Gehalt von Kooperation, in: Sydow, J. (Hrsg.): Management von Netzwerkorganisationen - Beiträge aus der „Managementforschung“, 5. Auflage, Gabler | GWV Fachverlage, Wiesbaden, Seiten 28-74

SERAGELDIN 1996 Serageldin, I. (1996): Sustainability and the Wealth of Nations: First Steps in an Ongoing Journey, Environmentally Sustainable Development Studies and Monographs Series No. 5, The World Bank, Washington DC

SIEBERT 1978 Siebert, H. (1978): ökonomische Theorie der Umwelt, J. C. B. Mohr (Paul Siebeck), Tübingen

SIEBERT 1991	Siebert, H. (1991): Ökonomische Analyse von Unternehmensnetzwerken, in: Stachle, W. H./Sydow, J. (Hrsg.): Managementforschung, Gabler, Berlin, New York, Seiten 291-311
SIEBERT 2010	Siebert, H. (2010): Ökonomische Analyse von Unternehmensnetzwerken, in: Sydow, J. (Hrsg.): Management von Netzwerkorganisationen - Beiträge aus der „Managementforschung“, 5. Auflage, Gabler | GWV Fachverlage, Wiesbaden, Seiten 7-27
SILVERBERG/ VERSPAGEN 2005	Silverberg, G., & Verspagen, B. (2005): A percolation model of innovation in complex technology spaces, in: Journal of Eco nomic Dynamics and Control, Vol. 29, No. 1, Seiten 225-244
SIMON 1955	Simon, H. A. (1955): A behavioral model of rational choice, in: The quarterly journal of economics, Vol. 69, No. 1, Seiten 99-118
SIMON 1979	Simon, H. A. (1979): Models of thought, Yale University Press, New Haven
SLOWAK 2012	Slowak, A. P. (2012): Die Durchsetzung von Schnittstellen in der Standardsetzung: Fallbeispiel Ladesystem Elektromobilität, Universität Hohenheim, FZID discussion paper 51-2012
SMITH 1776	Smith, A. (1776): An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations, Chicago
SOLOW 1956	Solow, R. M. (1956): A contribution to the theory of economic growth, in: The quarterly journal of economics, Vol. 70, No. 1, Seiten 65-94
SOLOW 1974	Solow, R. M. (1974): The Economics of Resources or the Resources of Economics, in: The American Economic Review, Vol. 64, No. 2: Papers and Proceedings of the Eighty-sixth Annual Meeting of the American Economic Association, Seiten 1–14
SOUDER 1983	Souder, W.E. (1983): Organizing for modern technology and innovation – a review and synthesis, in: Technovation, Vol. 2, No. 1, Seiten 27-44
SPATH et al. 2010	Spath, D./Bauer, W./Rothfuss, F./Voigt, S./Rath, K. (2010): Strukturstudie BWe mobil 2010 - Baden-Württemberg auf dem Weg in die Elektromobilität, http://www.konstanz.ihk.de/linkableblob/knihk24/innovation/beratung/tecfach/Mobilitaet/993248/.4./data/Strukturstudie_BWe_Mobil-data.pdf, Zugriff am 22.03.2014
SPATH et al. 2011	Spath, D./Rothfuss, F./Herrmann, F./Voigt, S./Brand, M./ Fischer, S./Ernst, T./Rose, H./Loleit, M. (2011): Strukturstudie BWe mobil 2011 - Baden-Württemberg auf dem Weg in die Elektromobilität, http://www.iao.fraunhofer.de/lang-de/images/downloadbereich/300/strukturstudie-bwe-mobil-2011.pdf, Zugriff am 22.03.2014

SPATH et al. 2012 — Spath, D./Bauer, W./Voigt, S./Borrmann, D./Herrmann, F./Brand, M./Rally, P./Rothfuss, F./Sachs, C./Frieske, B./Propfe, B./Redelbach, M./Schmid, S./Dispan, J. (2012): Elektromobilität und Beschäftigung. Wirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf Beschäftigung und Standortumgebung (ELAB), Fraunhofer Verlag, Stuttgart

SPENCER 1864 — Spencer, H. (1864): The Principles of Biology, Williams and Norgate, London/Edinbugh

SPIEGEL ONLINE 2012 — o. V. (2012): Jammern hilft nicht, in: Spiegel Online 2012, Ausgabe vom 11.06.2012, http://www.spiegel.de/auto/aktuell/dieter-zetsche-im-interview-a-838097.html, Zugriff am 21.03.2014

SRINIVASAN et al. 2006 — Srinivasan, R./Lilien, G. L./Rangaswamy, A. (2006): The emergence of dominant designs, in: Journal of Marketing, Vol. 70, No. 2, Seiten 1-17

STAHLECKER et al. 2011 — Stahlecker, T./Lay, G./Zanker, C. (2011): Elektromobilität: Zulieferer für den Strukturwandel gerüstet? Status quo und Handlungsempfehlungen für den Automobilstandort Metropolregion Stuttgart, http://www.stuttgart.ihk24.de/linkableblob/sihk24/serviceleiste/Publikationen/Branchen/1392898/.3./data/Elektromobilitaet_Zulieferer_fuer_den_Strukturwandel_geruestet-data.pdf, Zugriff am 22.03.2013

STAN 2012 — Stan, C. (2012): Alternative antriebe für automobile: Hybridsysteme, Brennstoffzellen, alternative Energieträger, 3. Auflage, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg

STEPHAN/AHLHEIM 1996 — Stephan, G./ Ahlheim, M. (1996): Ökonomische Ökologie, Springer, Berlin

STERNITZKE/ BARTKOWSKI 2005 — Sternitzke, C./Bartkowski, A. (2005): Ein Erfinderportfolio zur Evaluation von FuE-Personal mit Hilfe der Software PATONanalist, in: Schramm, R./Milde, Sabine: PATINFO 2005. Patentrecht, Patentrecherche und Patentanalyse – Mittel auf dem Weg zur Patentverwertung, Technische Universität Ilmenau, pp. 219 – 244

STEURER 2001 — Steurer, R. (2001): Paradigmen der Nachhaltigkeit, in: Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht. Beiträge zur Rechts-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Umweltforschung. Sonderdruck, Vol. 4/2001, Seiten 537-566

STIGLITZ 1987 — Stiglitz, J. E. (1987): Learning to learn, localized learning and technological progress, in: Dasgupta, P./Stoneman, P. (Hrsg.): Economic policy and technological performance, Cambridge University Press, Cambridge, Seiten 125-153

STROEHLE et al. 2011 — Stroehle, P./Becher, S./Lamparter, S./Schuller, A./Weinhardt, C. (2011): The impact of charging strategies for electric vehicles on power distribution networks, in: 8th International Conference on the European Energy Market (EEM), Seiten 51-56

SUAREZ 2004 — Suarez, F. F. (2004): Battles for technological dominance: an integrative framework, in: Research Policy, Vol. 33, No. 2, Seiten 271-286

SUAREZ/UTTERBACK 1995	Suárez, F. F./Utterback, J. M. (1995): Dominant designs and the survival of firms, in: Strategic Management Journal, Vol. 16, No. 6, Seiten 415-430
SWANN 2010	Swann, G. P. (2010): The economics of standardization: An update, Report for the UK Department of Business, Innovation and Skills (BIS), Version 2.2 https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/16509/The_Economics_of_Standardization_-_an_update_.pdf, Zugriff am 18.02.2014
SYDOW 2010a	Sydow, J. (2010): Über Netzwerke, Allianzsysteme, Verbünde, Kooperationen und Konstellationen, in: Sydow, J. (Hrsg.): Management von Netzwerkorganisationen - Beiträge aus der „Managementforschung“, 5. Auflage, Gabler | GWV Fachverlage, Wiesbaden, Seiten 1-6
SYDOW 2010b	Sydow, J. (2010): Management von Netzwerkorganisationen – Zum Stand der Forschung, in: Sydow, J. (Hrsg.): Management von Netzwerkorganisationen - Beiträge aus der „Managementforschung“, 5. Auflage, Gabler | GWV Fachverlage, Wiesbaden, Seiten 373-470
SYDOW/MÖLLERING 2009	Sydow, J./Möllering, G. (2009): Produktion in Netzwerken: Make, Buy & Cooperate, 2. Auflage, Vahlen, München
TAKEISHI 2001	Takeishi, A. (2001): Bridging inter-and intra-firm boundaries: management of supplier involvement in automobile product development, in: Strategic Management Journal, Vol. 22, No. 5, Seiten 403-433
TEECE 1986	Teece, D. J. (1986): Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy, in: Research policy, Vol. 15, No. 6, Seiten 285-305
TEECE 1988	Teece, D. J. (1988): Technological change and the nature of the firm, in: Dosi, G./Freeman, C./Nelson, R./Soete, L. (Hrsg.): Technical Change and Economic Theory, Pinter Publishers, London, New York, Seiten 256-281
TEECE et al. 1997	Teece, D. J./Pisano, G./Shuen, A. (1997): Dynamic capabilities and strategic management, in: Strategic management journal, Vol. 18, No. 7, Seiten 509-533
TEECE/PISANO 1994	Teece, D./Pisano, G. (1994): The dynamic capabilities of firms: an introduction, in: Industrial and corporate change, Vol. 3, No. 3, Seiten 537-556
TEGARDEN et al. 1999	Tegarden, L. F./Hatfield, D. E./Echols, A. E. (1999): Doomed from the start: What is the value of selecting a future dominant design?, in: Strategic Management Journal, Vol. 20, No. 6, Seiten 495-518
TERPORTEN et al. 2012	Terporten, M./Bialdyga, D./Planing, P. (2012): Veränderte Kundenwünsche als Chance zur Differenzierung, in: Proff, H./Schönharting, J./Schramm, D./Ziegler, J. (Hrsg.): Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität – Betriebswirtschaftliche und technische Aspekte, Springer Gabler, Wiesbaden, Seiten 367-382

TIDD et al. 2002	Tidd, J./Bessant, J./Pavitt, K. (2002): Learning through Alliances, in: Henry, J./ Mayle, D. (Hrsg.): Managing Innovation and Change, 2. Auflage, Sage Publications, London, Seiten 167-188
TIDD et al. 2005	Tidd, J./Bessant, J./Pavitt, K. (2005): Managing Innovation – Integrating Technological, Market and Organizational Change, 3. Auflage, John Wiley & Sons, West Sussex
TRAGE 2012	Trage, S. (2012): Weltweit breite Unterstützung für erneuerbare Energien, in: weiter.vorn. Das Fraunhofer-Magazin, Vol. 3/2012, Fraunhofer-Gesellschaft, München, Seiten 20-21
TRIPSAS 1997	Tripsas, M. (1997): Surviving Radical Technological Change through Dynamic Capability: Evidence from the Typesetter Industry, in: Industrial and Corporate Change, Vol. 6, No. 2, Seiten 341-377
TRIVERS 1971	Trivers, R. L. (1971): The evolution of reciprocal altruism, in: Quarterly review of biology, Vol. 46, No. 1, Seiten 35-57
TROTT 2005	Trott, P. (2005): Innovation Management and New Product Development, 3. Auflage, Pearson Education, Harlow
TUSHMAN et al. 1997	Tushman, M. L./Anderson, P. C./O'Reilly, C. (1997): Technology cycles, innovation streams, and ambidextrous organizations: organization renewal through innovation streams and strategic change, in: Managing strategic innovation and change, Seiten 3-23
TUSHMAN/ANDERSON 1986	Tushman, M. L./Anderson, P. (1986): Technological discontinuities and organizational environments, in: Administrative science quarterly, Vol. 31, No. 3, Seiten 439-465
TUSHMAN/ROSENKOPF 1992	Tushman, M. L./Rosenkopf, L. (1992): Organizational Determinants of Technological-Change-toward a Sociology of Technological Evolution, in: Research in organizational behavior, Vol. 14, Seiten 311-347
TÜV SÜD 2013	TÜV Süd AG und Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (H2Stations.org) (2013): Twenty-seven new hydrogen refuelling stations worldwide in 2012, http://www.tuev-sued.de/company/ press/press-archive/twenty-seven-new-hydrogen-refuelling-stations-worldwide-in-2012, Zugriff am 21.02.2014
UHLMANN 1978	Uhlmann, L. (1978): Der Innovationsprozess in westeuropäischen Industrieländern, Duncker & Humblot, Berlin
UNCED 1992	United Nations Conference on Environment and Development (1992): Agenda 21, Rio de Janeiro, http://www.un.org/Depts/german/conf/agenda21/agenda_21.pdf, Zugriff am 29.01.2014
USPTO 2000	United States Patent and Trademark Office (2000): Changes to Implement Eighteen-Month Publication of Patent Applications, http://www.uspto.gov/web/offices/com/sol/og/2000/week41/patpubl.htm, Zugriff am 01.05.2014
UTTERBACK 1996	Utterback, J. M. (1996): Mastering the dynamics of innovation, Harvard Business School Press, Boston

UTTERBACK/ ABERNATHY 1975	Utterback, J. M./Abernathy, W. J. (1975): A Dynamic Model of Process and Product Innovation, in: OMEGA, The International Journal of Management Science, VoI. 3, No. 6, Seiten 639-656
UTTERBACK/SUAREZ 1993	Utterback, J. M./Suarez, F. F. (1993): Innovation, competition, and industry structure, in: Research policy, Vol. 22, No. 1, Seiten 1-21
VAN DEN BERGH et al. 2007	van den Bergh, J. C./Faber, A./Idenburg, A. M./Oosterhuis, F. H. (2007): Evolutionary economics and environmental policy: survival of the greenest, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Northamption
VAN POTTELSBERGHE DE LA POTTERIE 2011	Van Pottelsberghe de la Potterie, B. (2011): The quality factor in patent systems, in: Industrial and Corporate Change, Vol. 20, No. 6, Seiten 1755-1793
VAN ZEEBROECK 2011	Van Zeebroeck, N. (2011): The puzzle of patent value indicators, in: Economics of Innovation and New Technology, Vol. 20, No. 1, Seiten 33-62
VARTA 2014	http://www.varta.de/, Zugriff am 08.05.2014
VDA 2011	Verband der Automobilindustrie (2011): Jahresbericht 2011, www.vda.de/de/downloads/973, Zugriff am 23.01.2012
VDA 2013	Verband der Automobilindustrie (2013): Jahresbericht 2013, www.vda.de/de/downloads/1182 , Zugriff am 25.01.2014
VEBLEN 1898	Veblen, T. (1898): Why is economics not an evolutionary science?, in: The Quarterly Journal of Economics, Seiten 373-397
VEBLEN 1914	Veblen, T. (1914): The Instinct of Workmanship: And the State of Industrial Arts, Macmillan, New York
VERSPAGEN 1990	Verspagen, B. (1990): Localized Technological Change, Factor Substitution and the Productivity Slowdown, in: Freeman, C./Soete, L. (Hrsg.): New Explanations in the Economics of Technical Change, Pinter Publishers, London, Seiten 193-221
VON AU 2010	Von Au, D. (2010): Strategisches Innovationsmanagement – eine empirische Analyse betrieblicher Innovationssysteme in der spezialchemischen Industrie in Deutschland, Gabler | Springer, Wiesbaden
VON HAUFF 2005	Von Hauff, M. (2005): Umwelttechnischer Fortschritt aus der Sicht der neuen Wachstumstheorie, in: Seiter, S. (Hrsg.): Neue Entwicklungen in der Wachstumstheorie und der Wachstumspolitik, Metropolis, Marburg, Seiten 211-232
VON HAUFF/JÖRG 2013	Von Hauff, M./Jörg, A. (2013): Nachhaltiges Wachstum, Oldenbourg, München
VON HAUFF/KLEINE 2009	Von Hauff, M./Kleine, A. (2009): Nachhaltige Entwicklung – Grundlagen und Umsetzung, Oldenbourg, Müchen
VON HIPPEL 1987	Von Hippel, E. (1987): Cooperation between rivals: Informal know-how trading, in: Research policy, Vol. 16, No. 6, Seiten 291-302

VON MONSCHAW 2011 Von Monschaw, H. (2011): Durch Kooperationen zum Erfolg. Zeitenwende E-Mobilität – Herausforderungen und Chancen, in: Korthauer, R. (Hrsg.): Handbuch Elektromobilität, 2. Auflage, EW Medien und Kongresse, Frankfurt, Seiten 79-84

WALLENTOWITZ et al. 2009 Wallentowitz, H./Freialdenhoven, A./Olschewski, I. (2009): Strategien in der Automobilindustrie: Technologietrends und Marktentwicklungen, Vieweg+Teubner | GWV Fachverlage, Wiesbaden

WALLENTOWITZ et al. 2010 Wallentowitz, H./Freialdenhoven, A./Olschewski, I. (2010): Strategien zur Elektrifizierung des Antriebstranges - Technologien, Märkte und Implikationen, Vieweg+Teubner | GWV Fachverlage, Wiesbaden

WAMSLER 2009 Wamsler, A. (2009): Konzeption eines interorganisationalen Kooperationsprozessmodells und Validierung mittels einer Fallstudie aus der Automobilindustrie, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Duisburg-Essen, Essen

WARD'S 2012 Ward's Automotive Group (2012): World Vehicles in Operation by Vehicle Type, http://wardsauto.com/data-center, Zugriff am 17.11.2014

WBGU 2011 Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2011): Welt im Wandel - Gesellschaftsvertrag für eine große Transformation (Hauptgutachten 2011), Bundesdrucksache 17/7331 vom 05.10.2011

WEBER 2013 Weber, S. (2013): Die Grenzen der grenzenlosen Mobilität, in: weiter.vorn. Das Fraunhofer-Magazin, Vol. 1/2013, Fraunhofer-Gesellschaft, München, Seiten 92-93

WEHRSPAUN 2012 Wehrspaun, M. (2012): Nachhaltigkeit als kulturelle Erneuerung, in: Bormann, I/John, R./Aderhold, J. (Hrsg.): Indikatoren des Neuen – Innovation als Sozialmethodologie oder Sozialtechnologie?, Springer, Wiesbaden, Seiten 57-76

WEIMANN 1995 Weimann, J. (1995): Umweltökonomik: eine theorieorientierte Einführung, 3. Auflage, Springer, Berlin

WELTHUNGERHILFE 2013 Deutsche Welthungerhilfe e.V. (2013): Der Weg in eine nachhaltige Zukunft, http://www.m.welthungerhilfe.de/fileadmin/user_upload/WHH-Mobil/Downloads-Themen/welthungerhilfe-nachhaltige-zukunft.pdf, Zugriff am 22.02.2014

WENTZ 2008 Wentz, R.-C. (2008): Die Innovationsmaschine - Wie die weltbesten Unternehmen Innovationen managen, Springer, Berlin, Heidelberg

WERHAHN 2009 Werhahn, J. (2009): Kosten von Brennstoffzellensystemen auf Massenbasis in Abhängigkeit von der Absatzmenge, Schriftenreihe Energie & Umwelt des Forschungszentrums Jülich, Band 35, Zentralbibliothek Verlag, Jülich

WHI 2012 Deutsche Welthungerhilfe e.V./Internationales Forschungsinstitut für Ernährungs- und Entwicklungspolitik (IFPRI)/Concern Worldwide (2012): Welthunger-Index 2012, http://dx.doi.org/10.2499/9780896299436, Zugriff am 22.02.2014

WHITEHEAD 1926	Whitehead, A. N. (1926): Science and the modern World, Cambridge University Press, Cambridge
WIELAND/BECKER 2000	Wieland, J./Becker, M. (2000): Methodologische Grundlagen der Neuen Organisationsökonomik, in: Beschorner, T./Pfriem, R. (Hrsg.): Evolutorische Ökonomik und Theorie der Unternehmung, Metropolis, Marburg, Seiten 25-50
WILDEMANN 2012	Wildemann, H. (2012): Komplexitätsmanagement in Vertrieb, Beschaffung, Produkt, Entwicklung und Produktion, 13. Auflage, TCW Transfer-Centrum Verlag, München
WILLIAMSON 1975	Williamson, O. E. (1975): Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust lmplications - A Study in the Economics of Internal Organization, Free Press, New York
WILLIAMSON 1985	Williamson, O. E. (1985): The Economic Institutions of Capitalism, Free Press, New York
WINDRUM 2007	Windrum, P. (2007):Neo-Schumpeterian simulation models, in: Hanusch, H./ Pyka, A. (Hrsg.): The Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Seiten 405-439
WINTER 1971	Winter, S. G. (1971): Satisficing, selection, and the innovating remnant, in: The Quarterly Journal of Economics, Vol. 85, No. 2, Seiten 237-261
WITT 1992	Witt, U. (1992): Überlegungen zum gegenwärtigen Stand der evolutorischen Ökonomik, in: Evolutorische Ökonomik: Neuerungen, Normen, Institutionen, Campus, Frankfurt am Main, New York, Seiten 23-55
WITT 2001	Witt, U. (2001): Wirtschaft und Evolution, einige neuere theoretische Entwicklungen, in: Zeitschrift für Sozialökonomie, Vol. 130, No. 38, Seiten 3-10
WOLPERT 2002	Wolpert, J. D. (2002): Breaking out of the innovation box, in: Harvard Business Review, Vol. 80, No. 8, Seiten 76-83
WÖRDENWEBER/ WICKORD 2008	Wördenweber, B./Wickord, W. (2008): Technologie- und Innovationsmanagement im Unternehmen - Lean Innovation, 3. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg
WVS 2008	World Values Survey (2008): Documentation of the Values Surveys, http://www.worldvaluessurvey.org, Zugriff am 28.01.2014
ZAHN/HÜLSMANN 2007	Zahn, E./Hülsmann, O. (2007): Unternehmensnetzwerke – eine strategische Option, in: Garcia Sanz, F. J./Semmler, K./Walther, J. (Hrsg.): Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz: Effiziente und flexible Supply Chains erfolgreich gestalten, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Seiten 109-128
ZHANG 2009	Zhang, N. (2009): Effektive Innovationsprozesse - Kritische Analyse von Entscheidungssituationen und Anforderungen an Bewertungsinstrumente, Diplomica Verlag, Hamburg

ZOBOLSKI 2008 Zobolski, A. (2008): Kooperationskompetenz im dynamischen Wettbewerb – eine Analyse im Kontext der Automobilindustrie, Gabler | GWV, Wiesbaden

ZOLLENKOP 2006 Zollenkop, M. (2006): Geschäftsmodellinnovation - Initiierung eines systematischen Innovationsmanagements für Geschäftsmodelle auf Basis lebenszyklusorientierter Frühaufklärung, Deutscher Universitäts-Verlag | GWV Fachverlage, Wiesbaden

ZÜRN 2010 Zürn, M. (2010): Auswirkungen des technologischen Fortschritts und des Klimaschutzes auf die Stromerzeugung – Analysen mit einem allgemeinen Gleichgewichtsmodell, Josef Eul, Köln

Anhang

Anhang 1: Batteriedimensionierung für den batterieelektrischen Antrieb[1560]

Dimensionierung einer energiedichteoptimierten Lithium-Ionen-Batterie für den batterieelektrischen Antrieb				
Ausprägung / Parameter	Einheit	techno-ökonomische Spanne		Eigenschaften der energiedichteoptimierten Referenzbatterie
		von	bis	
Gravimetrische Energiedichte	kWh/kg	0,10	0,14	0,12
Gravimetrische Leistungsdichte	kW/kg	0,20	0,35	0,28
Volumetrische Energiedichte	kWh/l	0,25	0,25	0,25
Volumetrische Leistungsdichte	kW/l	0,50	0,50	0,50
Energiebedarf Fahrzeug	kWh/100 km	12,00	20,00	16,00
Zyklenzahl Batterie	-	500,00	2.500,00	1.500,00
Batteriepreis	€/kWh	340,00	630,00	485,00
Elektrische Fahrzeugreichweite	km	-	-	200,00
Energiespeichervermögen Batterie	kWh	-	-	32,00
Leistung Batterie	kW	-	-	73,33
Gewicht Batterie	kg	-	-	266,67
Kosten Batterie	€	-	-	15.520,00

[1560] Eigene Darstellung auf Basis von Expertenbefragungen. Selektive Ergänzung aus SPATH et al. 2012, Seite 72 und ELEMENTENERGY 2012, Seite 50 ff. sowie NPE 2011, Seite 27 f. und HEYMANN et al. 2011, Seite 6 sowie KLOSE et al. 2011, Seite 55 und SPATH et al. 2011, Seite 52 sowie FETZER et al. 2011, Seite 97 ff. und VON MONSCHAW 2011, Seite 80 f. sowie HOFMANN 2010, Seite 18 und WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 87 sowie HENSLEY et al. 2009, Seite 88 ff. und SAUER 2009, Seiten 14 und Seite 20 sowie GERL 2007, Seite 74

Anhang 2: Batteriedimensionierung für den brennstoffzellenelektrischen Antrieb[1561]

Dimensionierung einer leistungsdichteoptimierten Lithium-Ionen-Batterie für den brennstoffzellenelektrischen Antrieb				
Ausprägung / Parameter	Einheit	techno-ökonomische Spanne		Eigenschaften der leistungsdichteoptimierten Referenzbatterie
		von	bis	
Gravimetrische Energiedichte	kWh/kg	0,07	0,10	0,09
Gravimetrische Leistungsdichte	kW/kg	2,00	4,00	3,00
Volumetrische Energiedichte	kWh/l	0,15	0,15	0,15
Volumetrische Leistungsdichte	kW/l	4,20	4,20	4,20
Energiebedarf Fahrzeug	kWh/100 km	12,00	20,00	16,00
Zyklenzahl Batterie	-	1.000.000,00	1.000.000,00	1.000.000,00
Batteriepreis	€/kWh	500,00	500,00	500,00
Elektrische Fahrzeugreichweite	km	-	-	12,40
Energiespeichervermögen Batterie	kWh	-	-	1,98
Leistung Batterie	kW	-	-	70,00
Gewicht Batterie	kg	-	-	23,33
Kosten Batterie	€	-	-	991,67

[1561] Eigene Darstellung auf Basis von Expertenbefragungen. Selektive Ergänzung aus SPATH et al. 2012, Seite 72 und ELEMENTENERGY 2012, Seite 50 ff. sowie NPE 2011, Seite 27 f. und HEYMANN et al. 2011, Seite 6 sowie KLOSE et al. 2011, Seite 55 und SPATH et al. 2011, Seite 52 sowie FETZER et al. 2011, Seite 97 ff. und VON MONSCHAW 2011, Seite 80 f. sowie HOFMANN 2010, Seite 18 und WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 87 sowie HENSLEY et al. 2009, Seite 88 ff. und SAUER 2009, Seiten 14 und Seite 20 sowie GERL 2007, Seite 74

Anhang 3: Batteriedimensionierung für Antriebe mit Plug-In[1562]

Dimensionierung einer kombiniert energie- und leistungsdichteoptimierten Lithium-Ionen-Batterie für den Plug-In-Hybrid und den elektrischen Antrieb mit Plug-In und Range-Extender				
Ausprägung / Parameter	Einheit	techno-ökonomische Spanne		Eigenschaften der kombiniert energie- und leistungsdichteoptimierten Referenzbatterie
		von	bis	
Gravimetrische Energiedichte	kWh/kg	0,09	0,12	0,10
Gravimetrische Leistungsdichte	kW/kg	1,10	2,18	1,64
Volumetrische Energiedichte	kWh/l	0,20	0,20	0,20
Volumetrische Leistungsdichte	kW/l	2,35	2,35	2,35
Energiebedarf Fahrzeug	kWh/100 km	12,00	20,00	16,00
Zyklenzahl Batterie	-	500.000,00	500.000,00	500.000,00
Batteriepreis	€/kWh	420,00	565,00	492,50
Elektrische Fahrzeugreichweite	km	-	-	27,39
Energiespeichervermögen Batterie	kWh	-	-	4,38
Leistung Batterie	kW	-	-	70,00
Gewicht Batterie	kg	-	-	42,75
Kosten Batterie	€	-	-	2.157,98

[1562] Eigene Darstellung auf Basis von Expertenbefragungen. Selektive Ergänzung aus SPATH et al. 2012, Seite 72 und ELEMENTENERGY 2012, Seite 50 ff. sowie NPE 2011, Seite 27 f. und HEYMANN et al. 2011, Seite 6 sowie KLOSE et al. 2011, Seite 55 und SPATH et al. 2011, Seite 52 sowie FETZER et al. 2011, Seite 97 ff. und VON MONSCHAW 2011, Seite 80 f. sowie HOFMANN 2010, Seite 18 und WALLENTOWITZ et al. 2010, Seite 87 sowie HENSLEY et al. 2009, Seite 88 ff. und SAUER 2009, Seiten 14 und Seite 20 sowie GERL 2007, Seite 74

Anhang 4: Antriebsbezogene Offenlegungen der Daimler AG inkl. Zuordnungslogik[1563]

Antriebsbezug	Erfassungsmethode	Objektbezug	Kriterium	1991	2001	2011
konventionell	IPC-Klassifikation	Teilsystem konventioneller Antrieb	IPC-Klassifikation F01: Kraft- und Arbeitsmaschinen oder Kraftmaschinen, Kraftanlagen, Dampfkraftmaschinen	27	86	104
		Teilsystem konventioneller Antrieb	IPC-Klassifikation F02: Brennkraftmaschinen, mit Heißgas oder Abgasen betriebene Kraftmaschinen	58	124	165
	Schlagwortsuche im Abstract der Offenlegungen außerhalb der IPC-Klassen F01 und F02	Modul Kraftstofftank	"Kraftstofftank" "Treibstofftank" "Benzintank" "Dieseltank"	0	5	7
		Modul Verbrennungsmotor	"Verbrennungsmotor" "Kolbenmotor" "Dieselmotor" "Ottomotor"	2	6	13
		Modul Getriebe*	"Getriebe"	32	87	109
Summe konventioneller Antrieb				**119**	**308**	**398**
Anteil konventioneller Antrieb				**0,75**	**0,67**	**0,50**
elektrisch	IPC-Klassifikation	Teilsystem elektrischer Antrieb	IPC-Klassifikation H01: Grundlegende elektrische Bauteile	15	92	202
		Teilsystem elektrischer Antrieb	IPC-Klassifikation H02: Erzeugung, Umwandlung oder Verteilung elektrischer Energie	19	37	49
	Schlagwortsuche im Abstract der Offenlegungen außerhalb der IPC-Klassen H01 und H02	Modul Wasserstoffspeicher	"Wasserstoff" "Drucktank"	0	9	12
		Modul Batterie	"Batterie" "Akkumulator"	1	2	24
		Modul Brennstoffzellensystem	"Brennstoffzelle"	0	0	17
		Modul Leistungselektronik	"Leistungselektronik" "Stromrichter" "Umrichter" "Gleichrichter" "Wechselrichter"	0	0	6
		Modul elektrische Maschine	"Elektromaschine" "Elektromotor" "Generator" "elektrische Maschine"	5	15	71
		Teilsystem elektrischer Antrieb	"Elektroantrieb" "elektrischer Antrieb" "Hochvolt"	0	0	10
Summe elektrischer Antrieb				**40**	**155**	**391**
Anteil elektrischer Antrieb				**0,25**	**0,33**	**0,50**

* Das Getriebe wurde aufgrund höherer Komplexität und Bedeutung im konventionellen Antrieb hier zugeordnet.

Anmerkung: Bei Mehrfachtreffern erfolgte eine Zuordnung auf Basis des Abstracts, um Mehrfachzählungen auszuschließen.

[1563] Eigene Darstellung

Anhang 5: Akteursgruppe der Top 30 Automobilhersteller

Diese Akteursgruppe umfasst global die 30 größten Automobilhersteller nach durchschnittlicher Produktionsstückzahl in den Jahren 2011 und 2012.[1564] Zur **Identifikation der Unternehmen** dienten der *Global Light Vehicle Production Forecast 2012* der *IHS (Information Handling Services) Inc.*[1565] sowie die Veröffentlichung *World Motor Vehicle Production 2012* der *Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (OICA).*[1566] Zum **Aufbau der 594 Suchstrings** wurden die Jahresabschlüsse[1567] und weitere Veröffentlichungen[1568] der Unternehmen sowie die *Thomson Reuters DWPI Patent Assignee Codes (PACO) Lookup Facility*[1569] herangezogen und mit einer Analyse des Zieldatensets kombiniert. Die **Zuordnung von Gesellschaften** erfolgte nach Beteiligungsanteilen, wobei ab 50 % eine Unterordnung (Aggregation) und bei paritätischen Joint Ventures (50 % : 50 %) eine Doppelzuordnung erfolgte.[1570] Die **Erfassungsgenauigkeit** auf Akteursebene liegt nahezu bei 100 %, der **Erfassungsanteil** der Akteursgruppe *Top 30 Automobilhersteller* an der globalen Produktion leichter Fahrzeuge liegt bei mehr als 98 %. Unterstriche zu Beginn und Ende der Suchstrings stehen für Leerzeichen und sind zur Vermeidung von Fehlerfassungen wesentlich.

Automobilhersteller	**Suchstrings (getrennt durch Kommata)**
(1) Toyota Motor Corp Ø LV Produktion 2011/2012: 9.016.488 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 11,4 %	toyota motor, toyota jidosha, calty design, toyota europe design, toyota technical center, toyota tesearch institute, toyota auto body, central motor, daihatsu motor, daihatsu kogyo, hino motor, hino jidosha, faw toyota, toyota faw, toyota kirloskar, kuozui motor, toyota peugeot, indus motor, primearth ev energy
(2) Volkswagen AG Ø LV Produktion 2011/2012: 8.831.246 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 11,2 %	volkswagen, audi_, porsche, skoda, seat_, bentley motor, bugatti, lamborghini, ducati motor, ducati japan, ducati north, ducati west, scania, man se, man nutz, man diesel, man bus, man truck, man capital, man turbo, man engines, mantab trucks, italdesign giugiaro, vw, mahag, nefkens, neoplan, pga, renk_, sitech, techstar, csi entwicklung, iav gmbh, abcis, mieschke, psw automotive, quattro gmbh, blitz motors, futurauto, alu-car, automotive safety tech, carmeq, tki automotive, tcu turbo charger, nsu gmbh, pmdtechnologies, deutsche automobil
(3) General Motors Corp Ø LV Produktion 2011/2012: 8.509.840	general motor, gm_, opel_, daewoo motor, onstar, acdelco, terex_, fisher body, chevrolet, buick-gmc, vauxhall, hydrogenics, atk au-

[1564] Erfasst werden leichte Fahrzeuge (*light vehicles*), d. h. Automobile (*cars*) und leichte Nutzfahrzeuge (*light commercial vehicles*) bis zu einem zulässigen Gesamtgewicht von 3,5 t.

[1565] www.ihs.com/products/automotive/light-vehicle-forecasts/index.aspx, Stand 07/12, Zugriff am 13.08.2012

[1566] www.oica.net/wp-content/uploads/2013/03/ranking-2012.pdf, Zugriff am 12.08.2013

[1567] Als Quellen dienten die Homepages der Unternehmungen und Veröffentlichungen des Bundesanzeigers sowie der U.S. Securities and Exchange Commission.

[1568] Als Quellen dienten die Homepages der Unternehmungen.

[1569] http://ip-science.thomsonreuters.com/support/patents/dwpiref/reftools/companycodes/lookup/

[1570] Vernachlässigt wurden folgende Zweckgesellschaften: Verwaltung, Verwertung, Versicherung, Wohnungsbau, Service, Wartung, Finanz, Accounting, Beteiligung, Vermietung, Leasing, Handel, Import, Export, Distribution, Fuhrpark, Flottenmanagement, Marketing und Immobilien. Außerdem: Autohäuser, Werkstätten, Logistikzentren, Museen und Sportvereine.

Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 10,8 %	tomotive tech, blackdown motor, envia systems, infinite velocity, lcv platform eng, lidlington eng, quantum fuel sys, sdc materials, sterling motor prop, tactus technology, the nanosteel, advanced battery con, automotive materials part, for automotive research, visole energy
(4) Renault-Nissan BV Ø LV Produktion 2011/2012: 7.333.377 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 9,3 %	renault, arkaneo, auto chassis internat, societe de transmissions auto, morito_, Avtoframos, dacia, nissan motor, nissan jidosha, nissan com, nissan kohki, nissan tech, nissan shatai, nissan arc, nissan creative, nissan network, nissan forklift, nissan north, nissan canada, nissan europe, nissan diesel, donfeng nissan, 4r energy, nmkv, creative box, aichi machine ind, yokohama marinos, unicarriers, automotive energy supply, prince motor, jatco, autech japan, calsonic, nihon radiator, kanto seiki, kantus co, ckf corp, ckk corp, tokyo radiator mfg, ckp corp, ks engineering, ck engineering, ck ks engineering
(5) Hyundai Kia Automotive Group AG Ø LV Produktion 2011/2012: 7.193.477 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 9,1 %	kia motor, hyundai motor, hyundai hysco, hyundai wia, hyundai powertech, hyundai dymos, kefico, hyundai autron, hyundai mnsoft, hyundai wisco, hyundai mseat, hyundai metia, hyundai partecs, hyundai autoever, hyundai ngv, hyundai cni, hyundai steel, hyundai bng, hyundai eng, rotem, green air, stamped metal american, hyundai america, hyundai auto
(6) Ford Motor Company Corp Ø LV Produktion 2011/2012: 4.498.095 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 5,7 %	ford motor, ford global, ford-werke, ford werke, ford asia pacific, ford capital, ford component, ford espana, ford europe, ford automotive, ford deutschland, ford holding, ford international, ford performance, ford lio ho, ford trading, fordsollers, getrag ford, flh holding, group fmc, lincoln motor, lincoln global, troller
(7) Fiat SpA Ø LV Produktion 2011/2012: 4.498.095 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 5,7 %	fiat, crf, c.r.f., ferrari_, maserati, lancia, alpha romeo, abarth, comau, teksid, magneti_, elasis, automotive lighting, plastic components and mod, iveco, naveco, chrysler group, chrysler canada, chrysler japan, chrysler deutschland, chrysler internat, chrysler jeep, american motor, autodie, global electric motor, global engine manu, cpk interior prod, rootes group, Street and Racing, vm north america, Specialty Vehicle Eng, Performance Vehicle Op, Mopar
(8) Honda Motor Co Ltd Ø LV Produktion 2011/2012: 3.519.879 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 4,5 %	honda motor, honda giken, honda r, honda research, honda performance, honda cars, honda racing, honda aircraft, honda engineering, honda access, honda of america, honda power, honda canada, honda siel, honda manufacturing, honda auto, ge honda, atlas honda, donfeng honda
(9) PSA Peugeot Citroën SA Ø LV Produktion 2011/2012: 3.283.082 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 4,2 %	citroen, peugeot, faurecia, psa_, process conception ing, societe industrielle auto, united parts exhaust sys, sai automotive, fnk north, cummins beijing, hambach automotive, leistritz abgastechnik, emission control tech, emcon technologies
(10) Suzuki Motor Corp Ø LV Produktion 2011/2012: 2.837.551 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 3,6 %	suzuki motor, suzuki jidosha, suzuki kogyo, suzuki akita, suzuki toyama, suzuki auto, suzuki international, suzuki france, suzuki manufacturing, suzuki canada, suzuki italia, suzuki gb, suzuki australia, suzuki new zea, magyar suzuki, maruti suzuki
(11) Bayerische Motoren Werke AG Ø LV Produktion 2011/2012: 1.901.389 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 2,4 %	bayerische motor, bmw, rolls royce motors car, rolls-royce motor car, designworks, mitech mikroelektronik, apd industries, swindon pressings, riley motors, triumph motor, husqvarna motor, automag, bpf midrand property, multisource properties, alphabet
(12) Daimler AG Ø LV Produktion 2011/2012: 1.718.973	daimler, mercedes, benz_, freightlinger, western star, sterling truck, master motor, mitsubishi fuso, manufacturing commercial,

Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 2,2 %	evobus, setra, smart france, smart-brabus, selectrucks, thomas built, detroit diesel, unimog, masterdrive, mdc power, deutsche accumotive, nucellsys, dbb fuel, xcellsis, car2go, automotive fuel cell, axle alliance, conemaugh hydro, tognum, mtu motoren, mtu friedrichshafen, mtu onsite, mtu cfc solution, mtu reman, bergen engines, l'orange, deutsche automobil
(13) SAIC Motor Corp Ø LV Produktion 2011/2012: 1.554.623 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 2,0 %	shanghai auto, saic, shanghai pengpu, shanghai sunwin, china united automotive, dias automotive, huayu automotive, donghua automotive, pan asia technical auto, nanjing tooling, shanghai jieneng auto, shanghai advanced traction, etsong vehicle, nanjing vehicle, nanjing automobile, nanjing nanya motor, mg motor, mg car, morris garages, mg rover, shanghai huizdong auto, nanjing iveco auto, shanghai volkswagen, shanghai general, shanghai gm, shanghai onstar, shanghai trw, shanghai koito, shanghai kolbenschmidt, kolbenschmidt shanghai, shanghai valeo, shanghai sachs, shanghai behr, shanghai plastic omnium, hua dong teksid, yanfeng visteon, dongfeng johnson controls, yanfeng johnson controls
(14) Mitsubishi Motors Corp Ø LV Produktion 2011/2012: 1.236.218 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 1,6 %	mitsubishi motor, mitsubishi jidosha, mitsubishi auto, ralliart, pcma rus, pajero manufacturing, suriyo plastics, mmth engine, asian transmission, nmkv, vina star motor, south east (fujian), harbin dongan auto, china motor
(15) Changan Automobile Group Co Ltd Ø LV Produktion 2011/2012: 1.056.981 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 1,3 %	changan auto, changan suzuki, changan ford, changan mazda, changan psa, changan bus, changan kuayue, changan new energy, changan special, changan europe, changan r&d, changan united kingdom r&d, changan japan design, changan united states r&d, jmc holding, tianhe chassis, inter air-cond, chongqing changfeng, chongqing auto, hafei motor, dongan auto engine, changhe auto, changhe-suzuki, chongqing anfu auto, chengdu ningxing auto, changdu huachuan elec, ningjiang zhaohe auto, harbin hafei auto, chana suzuki, harbin hf auto
(16) Tata Motors Ltd Ø LV Produktion 2011/2012: 992.933 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 1,3 %	tata_, jaguar, land rover, trilix, tal manufacturing sol, lanchester motor, hv transmissions, hv axles, tml drivelines, tml holdings, incat, sheba proper, concorde motor, telcon cons, miljobil gren, titan industries, brunner mond, voltas, fiat india
(17) Dongfeng Motor Corp Ø LV Produktion 2011/2012: 765.643 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 1,0 %	donfeng, dfg tech, t-engineering
(18) Zhejiang Geely Holding Group Co Ltd Ø LV Produktion 2011/2012: 704.403 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 0,9 %	geely internat, geely hold, geely group, geely auto, ningbo geely, geely gear, geely stars, geely louyou, fulin guorun auto, dsi holdings, shanghai lti auto, zhejiang kingkong auto, zhejiang jirun auto, zhejiang ruhoo auto, zhejiang vision auto, shou la shou auto, chongqing dsi gear, changdu gaoyuan auto, hunan louyou engine, qufu kailun auto, hunan jisheng internat, ningbo vision auto, london taxi, drivetrain sytems internat, shanghai maple, volvo person, volvo car
(19) Mazda Motor Corp Ø LV Produktion 2011/2012: 678.942 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 0,8 %	mazda, autoalliance, mco china engineering, colombiana automotriz, matsuda k, toyo kogyo
(20) Fuji Heavy Industries Ltd Ø LV Produktion 2011/2012: 666.510 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 0,8 %	fuji heavy, fuji jukogyo, fuji machinery, ichitan, kiryu ind, yusoki kogyo, subaru, robin europe, changzhou fuji
(21) Chery Automobile Co Ltd	chery auto, chery motor, chery quantum, chery jaguar, chery vehi-

Ø LV Produktion 2011/2012: 637.476 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 0,8 %	cle, chery co, chery inc, quoros auto, speranza motor
(22) JSC AvtoVAZ Common Ø LV Produktion 2011/2012: 632.766 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 0,8 %	avtovaz, avto vaz, awtowas, volzhsky avtomobilny zavod, obyedinennaya avto, lada-service, lada-image, lada internat, piter-lada, 173 technical service, ferro vaz
(23) FAW Group Corp Ø LV Produktion 2011/2012: 622.213 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 0,8 %	faw, first automotive works, tianjin huali motor, 9th industrial mach, hainan auto, hainan mazda, dalian diesel, deutz (Dalian) engine, hongta yunnan auto, chengdu araco auto, chun shing techno, elsecom, belayab enterprises, wamco motors, gaya makmur mobil, transafrica motors, jiefang motors, komsan otomotiv sana, belhasa motors, vladimir kaitazolf
(24) Baoding Great Wall Automobile Holding Co Ltd Ø LV Produktion 2011/2012: 563.913 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 0,7 %	baoding great wall, great wall motor, great wall internal, great wall lean, russia great wall, gwm technology, gwm engineering, gwm tooling, baoding great mach, baoding nuobo rubber, baoding yixin auto, baoding xinyuan auto, baoding mind auto, baoding boxiang auto, baoding xingchang auto, baoding xingcheng auto, baoding yanfeng johnson, baoding exquisite auto, tianjin boxin auto, macs (baoding) auto
(25) Mahindra & Mahindra Ltd Ø LV Produktion 2011/2012: 549.392 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 0,7 %	mahindra, normad tc, ga 200, ga8 airvan, aerostaff, gipps aero, gipp aero, stokes group, stokes forging, jensand, schoeneweiss &, gesenkschmiede schneider, jeco-jellinghaus, falkenroth umformtechnik, crest geartech, canvasm, navyug special steel, metalcastello, swaraj auto, panther westwinds, ssangyong_, nbs international, reva electric, bristlecone, satyam computer
(26) Beijing Automotive Industry Holding Co Ltd Ø LV Produktion 2011/2012: 469.007 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 0,6 %	beijing automotive ind, beiqi_, baic, beijing new energy, beijing foton, beijing automobile work, automotive and motorcycle, beijing hyundai, beijing jeep, beijing-benz, beijing benz
(27) BYD Co Ltd Ø LV Produktion 2011/2012: 453.372 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 0,6 %	byd, build your dream, golden link worldwide, beijing btc wireless, lead wealth internat, foshan jinhui hi, tsinchuan auto
(28) Brilliance China Automotive Holdings Ltd Ø LV Produktion 2011/2012: 442.645 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 0,6 %	brilliance, huachen auto, huachen group auto, shenyang jinbei passenger, shenyang jinbei vehilce, shenyang jinbei auto, xingyuandong auto, yuming machinery, shanghai hidea auto, shenyang automotive, mianyang ruian, jindong development, jianhua motors engine, beston asia, pure shine, key choices group, xinjinbei investment
(29) Anhui Jianghuai Automobile Co Ltd Ø LV Produktion 2011/2012: 346.821 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 0,4 %	anhui jianghuai, jac hold, jac motor, jianghuai auto, heifei automobile axle, jac italy, jac japan, hefei aam auto
(30) Lifan Industry (Group) Co Ltd Ø LV Produktion 2011/2012: 207.843 Ø Produktionsanteil LV 2011/2012: 0,3 %	lifan, chongqing hongda auto, chongquing special purpose, huayang auto manufacturing

Anhang 6: Akteursgruppe der Top 100 Automobilzulieferer

Diese Akteursgruppe umfasst weltweit die 100 größten Automobilzulieferer nach durchschnittlichem Umsatz in den Jahren 2011 und 2012. Zur **Identifikation der Unternehmen** dienten das *Top 100 Automotive Suppliers Global Ranking 2013,*[1571] die Studie *Global Top Automotive Supplier nach Umsatz 2012,*[1572] das *Top 100 Automotive Suppliers Global Ranking 2012*[1573] sowie Jahresabschlüsse, Homepages und weitere Veröffentlichungen der Unternehmen. Zum **Aufbau der 2.259 Suchstrings** wurden die Jahresabschlüsse[1574] und weitere Veröffentlichungen[1575] der Unternehmen sowie die *Thomson Reuters DWPI Patent Assignee Codes (PACO) Lookup Facility*[1576] herangezogen und mit einer Analyse des Zieldatensets kombiniert. Die **Zuordnung von Gesellschaften** erfolgte nach Beteiligungsanteilen, wobei ab 50 % eine Unterordnung (Aggregation) und bei paritätischen Joint Ventures (50 % : 50 %) eine Doppelzuordnung erfolgte.[1577] Die **Erfassungsgenauigkeit** auf Akteursebene liegt nahezu bei 100 %. Unterstriche zu Beginn und Ende der Suchstrings stehen für Leerzeichen und sind zur Vermeidung von Fehlerfassungen wesentlich.

Automobilzulieferer	**Suchstrings (getrennt durch Kommata)**
(1) Denso Corp Ø Umsatz 2011/2012: 31.047 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 4,91 %	denso, asmo, anden co ltd, anden (thailand), daishinseiki, kyosan denki, gac co, asahi manufacturing, sankyo radiator, shinizu industry, techma co, nippon wiper, korea wiper, ipics co, 3d corp, nippon soken, mobile medianet, advanced driver info, apines, suab co, hamaden, kyosan tecs, kyosan service, otari gac, gac human, systex japan, maultech co, associated fuel pump, kyosan denki, systex products, nwb usa, pecval industria, shimizu industry, ctr srl, joao de deus, lipastec, tianjin shimizu peng, philippine auto comp
(2) Continental AG Ø Umsatz 2011/2012: 30.996 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 4,90 %	continental, contitech, conti_, temic, teves, general tire, benecke, phoenix ag, thermopol, roulunds, specialised belting, vdo auto, vdo car, telefunken, emitec, estop, omitec, adam touring, contitrade, contitread, dekkmann, gty tire, semperit, synerject, adc automotive, beneform, cas muenchen, conseo, edelbuettel & schneider, goeppinger kaliko, idm gmbh, intech thueringen, max kammerer, vogtlaendische Reifenwerke, advance tyre company, cadorna, dynagen, viking tyres, drahtcord saar, sas autosystemtechnik, s-y technologies europe, brando-scholz, alphapeak, p-

[1571] Vgl. Automobil Produktion, Ausgabe 07/2013, 10. Auflage, Verlag Moderne Industrie, Landsberg, Seite 4 f.
[1572] Vgl. Berylls Strategy Advisors, April 2013, http://www.berylls.com/media/informationen/downloads/Studie-20130413-Global-Top-Automotive-Supplier-2012-Berylls.pdf, Seite 8 f., Zugriff am 18.07.2013
[1573] Vgl. Automobil Produktion, Ausgabe 07/2012, 9. Auflage, Verlag Moderne Industrie, Landsberg, Seite 4 f.
[1574] Als Quellen dienten die Homepages der Unternehmungen und Veröffentlichungen des Bundesanzeigers sowie der U.S. Securities and Exchange Commission.
[1575] Als Quellen dienten die Homepages der Unternehmungen.
[1576] http://ip-science.thomsonreuters.com/support/patents/dwpiref/reftools/companycodes/lookup/
[1577] Vernachlässigt wurden folgende Zweckgesellschaften: Verwaltung, Verwertung, Versicherung, Wohnungsbau, Service, Wartung, Finanz, Accounting, Beteiligung, Vermietung, Leasing, Handel, Import, Export, Distribution, Fuhrpark, Flottenmanagement, Marketing und Immobilien. Außerdem: Autohäuser, Werkstätten, Logistikzentren, Museen und Sportvereine.

	tec auto, dan-belt, dunlop oil & marine, evergomma
(3) Robert Bosch GmbH Ø Umsatz 2011/2012: 30.791 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 4,87 %	bosch_, rexroth, zf lenksysteme, zf steering, zf systemes de direction, zf shanghai steering, zf commercial vehicle steering, beissbarth, buderus, bsh_, aleo solar, sia abrasiv, holger christiansen, etas, eisai, spx, telex, freud_, em-motive, vetronix, sb limotive, cobasys, zexel, nefit, extreme cctv, worcester group, bse pv, pacific bba, fmp, pharmatec, constructa, gaggenau_, neff_, siemens-electrogeraete, haegglunds, ampack ammann, evi audio, hawera probst, huettlin, ingenieurbuero ammann, landau electronic, matra-werke, moehwald gmbh, sieger heiz, bma abrasives, e.l.m. leblanc, centro studi comp, sicam, tecnologie diesel, vhit, skill_, schoeller-bleckmann, sapal, scintilla, telealarm, derwent system, forward vision, sia fibral, valley forge, saguaro elec, fhp manufacturing, purolator filters north, daito hydraulics, fa niigata, , fuji aitac, gunma seiki, nippon injector, unipoint electric, aig planung, escrypt, inubit, makat candy, part gmbh, valicare, aresi, deca srl, ma.na, lagta, vl chruch, akustica, fuel pump systems, pbr, robotoolz, rti tech, ss great lakes, advanced driver info, kanto seiatsu kogyo, doowon pre, ersol_, blaupunkt, erphi electronic, dremel, eds electronics, junkers, asset automotive, cst/berger, lr nelson, deutsche star, zelmer, loos internat, ziegler anlagentechnik, livedevices, atco-qual
(4) Bridgestone Corp Ø Umsatz 2011/2012: 24.854 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 3,93 %	bridgestone, burijisuton, firestone, bandag, japan mould ind, asahi carbon
(5) Magna International Inc Ø Umsatz 2011/2012: 22.627 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 3,58 %	magna_, steyr, cosma inter, intier automotive, bluwav systems, new venture gear, erhard & soehne, acts advanced, tesma international
(6) Aisin Seiki Co Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 22.580 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 3,57 %	aisin, advics, hosei_, saitama kogyo, kotobuki industry, aichi giken, yamagata clutch, imra material, technova, ft techno_, sinsan co, konan kogyo, hekinan unsou, sanetsu unyu, fuji kousan, inatetsu co, sinwa kogyo, at kyushu, at tohoku, hirabayashi ind, ac industries, aw service, equos research, aw engineering, aw maintenance, aw software, cvtech co, awquis japan, aw is co, akkm co, ai machinetech, technometal co, tonamino kogyo, shinko seiki, ad nobi, ad sun utopia, ai dream life, ad green, ei maintenance co, toho chem, s&e brake, as brake, intat precision, attc manufacturing, aw transmission, aw north, aw technical, safa llc, imra europe, siam nawaloha, thai engineering, nawaloha industry, siam at ind, at india auto, takaoka lioho, tianjin aw auto, aw shanghai auto, aw hangzhou, aw suzhou, aw korea, elite sewing, long go industrial
(7) Michelin SA Ø Umsatz 2011/2012: 20.942 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 3,31 %	michelin, taurus tire, laurent_, transityre, eurodrive services, uniroyal-goodrich, euromaster, viborg, sarona, piot pneu, spika, tire centers, oliver rubber, tiger tyres, columbiana de llantas, societe des matieres, premieres tropicales
(8) Johnson Controls Inc Ø Umsatz 2011/2012: 20.141 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 3,18 %	johnson electric, johnson service, johnson control, JCS, JCI, penn controls, globe-union, hoover universal, hoover international, ferro manufacturing, pan am world, global workspace, naue gmbh, ikeda bussan, sagem, hoppecke, varta automotive, vb autobatt, nbt, borg instruments, york international, autoseat, building services, cointer, comerit, commer 1, controles reynosa, cyberton systems, ensamble de interiores, ikeda iom, intertec systems
(9) Goodyear Tire & Rubber Company	goodyear, springfield tyre, lee tire, fulda reifen, seiberling rubber,

Corp Ø Umsatz 2011/2012: 16.183 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 2,56 %	debica s, wingfoot, blue streak tyre, douglas tyre, dunlop grund, dunlop tyre, dunlop austr, fierce tires, long mile rubber, min tire equipment, hose coupling manu, retreading l, t&wa, tredcor, trentyre, tren tyre, celeron, dapper tire, divested, laurelwood, whell assemblies, abacom, artic retreading, industrial mercurio, dunglaide, hi-q automotive, kettering tyre, magister ltd, master-treads, motorway tyres, nippon giant tyre, o.t.r. internat, polar re-treading, portfel alliance, property leasing, rossal no 103, sacrt trading, safe-t-tyre, sandton wheel eng, sava trade, montajes eagle, sp brand holding, ssr-pneu, three way tyres, treadsetters tyres, tyre maintenance servies, vulco develop, vulco truck services, 4 fleet group
(10) ZF Friedrichshafen AG Ø Umsatz 2011/2012: 14.915 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 2,36 %	zf_, zahnradfabrik friedrich, lemfoerder, fichtel & sachs, mannesmann sachs, gesellschaft Kraftfahrwesen, gesellschaft fuer antrieb, hansen transmission, hansen drives, cherry co, sachs automotive, shanghai sachs
(11) Hyundai Mobis plc Ø Umsatz 2011/2012: 14.705 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 2,32 %	hyundai mobis, hyundai precision, hyundai ihl, hyundai motor (shanghai), mobis parts, mobis chonche, mobis auto, mobis india, mobis slovakia, mobis america, mobis north, mobis alabama, mobis module, mobis jiangsu, kasco, american autoparts, hl green power
(12) TRW Automotive Holdings Corp Ø Umsatz 2011/2012: 12.296 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 1,94 %	trw, thompson ramo, bdm international, temic bayern, lucas ind, lucasvarity, entire solution, dalphimetal, dalphi metal, kelsey-hayes, kh holdings, remsa_, lanke center ind, duly & hans, roadster hold, roadster auto, fmg asia, autocruise, gabriel europe, heerlen abs, eurofren, sm-sistemas, th braking, exponentia, nippon stud, shin han valve
(13) Delphi Automotive Plc Ø Umsatz 2011/2012: 11.775 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 1,86 %	delphi_, monarch antenna, spaceform, alliance friction, fci automotive, kdac co, daehan elec, proveedora de elec, technico herramental, termoelectrica del, delco de chi, rio bravo elec, radclive hold, hartridge, mecel ab, grundig car, prostep, teccom, tecdoc info, promotora de part, he microwave, suhan shenlong auto, sistemas elec, electrotecnica famar, famar geugina, ondas media, fci honduras, as catalizadores, arcomex sa, arness electricos, autoensambles y log, gabriel de mexico, cablena sl, cordaflex espa
(14) Valeo SA Ø Umsatz 2011/2012: 11.462 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 1,81 %	valeo, sofica sa, dav sa, cablinal, niles europe, niles america, sc2n, telma retarder, cablagens, cam italy, cam hold, connaught elec, hi-key, micro craft, delmex, cibie, emelar, ichikoh, jonan industrial, nitto manufacturing, ami co
(15) Lear Corp Ø Umsatz 2011/2012: 10.837 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 1,71 %	lear co, lear hold, lear auto, lear car, lear otomotiv, lear operations, lear trim, lear seating, lear chang'an, lear changan, lear dongfeng, lear yuhan, lear interior, lear electrial, lear north, lear east, lear west, lear south, lear europe, lear korea, lear mexic, lear canada, lear sewing, lear shanghai, lear thailand, lear shurlock, lear tuchfabrik, alfombras san, asia pacific comp, mexicanos de auto, general seating, interiores auto, ghw engineering, grote & hart, cotton plast, mawlaw 569, kusnacht, offransvillaise de tech, tacle seating, tacle auto, advanced assembly
(16) ThyssenKrupp Group AG Ø Umsatz 2011/2012: 10.552 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 1,67 %	thyssen, krupp_, hoesch, rheinstahl, twb, rip_, steba, uhde, polysius_, defontaine_, psl, rothe erde, berco, blohm + voss, inoxum, kbs kokerei, agozal ober, becker & co, eisen- und huetten, mgf magnesium, ertsoverslag, erich weit, herzog coilex, jakob bek, max cochius, peiniger inter, alfaplast, indu-light, neomat, notz plastics, rhoem italia, eleg europ, rheinstahl, christian hein, awg

	industrie, elex cemcat, rotek inc, bmb steering, buckau-walther, bucketwheel, gwh aufzuege, haisch aufzuege, hanseatische aufzug, liftequip, tepper aufzuege, ascenseurs drieux, bardeck lift, hammond & champness, hk services, mgti snev, mp transtec, proxi-line, skylift, britannic lift, trapo kueng, asel ascensores
(17) Toyota Boshoku Corp Ø Umsatz 2011/2012: 9.679 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 1,53 %	boshoku, arakawa sheet metal, araco, takashimaya nipp, takanichi co, toyota kakoh, arj manufacturing, motive technology sys, tbdn tennessee, systems automotive int, trim masters, tb sewtech, master trim, s.k. auto int, stb textiles, thai seat belt, shin san shing, feng'ai automotive seat, intex auto parts, tbai poland, tbmeca poland, trim leader, cowerk, kanto seat work, tb kawashima, tb engineering, tg technogreen
(18) Mahle Behr Industry GmbH & Co. KG Ø Umsatz 2011/2012: 9.547 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 1,51 %	mahle_, mahle-, behr, cosworth tech, norddeutsche filter, ako filter, knecht filter, civa compagnia, wsm krotoszyn, finsa functiones ind, tecafiltres, soparis, mondial piston, brockhaus soehne, innowa membrane, conso l, ueno kogyo, glacier vandervell, allied ring
(19) BASF SE Ø Umsatz 2011/2012: 9.490 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 1,50 %	basf, soda-fabrik, cognis, olefinwerke, badische chem, guanowerke, glasurit, luwoge, metanomics, pci, relius coatings, wingas, wintershall, btc, pronova bio, chemcat co, takeda chem ind, engelhard_, johnson poly, ciba ag, styrolution, ovonic batt, gascade, novolyte, construction research, wolman, e & a internat, gruenau iller, inge gmbh, polyad, sungene, allied colloids, underwood, sorex, procat testing, tradewinds, elba_, cela farben, automotive refinish, taiko shoji, cyanamid, cosmetic rheo, cropdesign, esuco beheer, low moor sec, microbio, zandvliet, achimgaz, polioles, thai ethoxylate, baseclick, awiag, hythe chem, inca bronze, interlates, chem2u, lipogene, magneta master, metalfx, sheffield smelting, dna landmarks, mustang property, whitmire micro, doobon fine chem, , aislapol, solvin europe, zembet entw, pemeas
(20) Yazaki Corp Ø Umsatz 2011/2012: 9.179 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 1,45 %	yazaki_, nihon jidosha keiki, australian arrow, eds engineering, tianmei automotive parts, sagara plastics, autocomp, eds manufacturing, eds techno, sagara metro, ytm component, ytp-lima manu, ygp pte, thai arrow, thai metal proc, yic asia pacific, arnecom, auto circuitos de, auto conectores de, autopartes y arneses, buenaventura autopartes, avanzada de colima, reliance wire & cable, electricos y conductores, autoelectronica de durango, curcuit control co, elcom inc, sy system tech, mays spa, hesto harnesses
(21) Sumitomo Electric Industries Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 8.835 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 1,40 %	sumitomo elec, sumitomo denki, sumitomo wiring, somitomo denko, tokai rubber, sumiden elec, autonetworks tech, sews-cabin, sumindenso, zhurun wiring, kiyohara sumiden, sei optifrontier, sei-futong opt, sumiden tomita, judd wire, nissin elec, sumitomo denetsu, daikoku elec, a.l.m.t., sumitomo (SEI) steel, sumiden serasi wire, kitanihon electric, sumitomo 3M, dyden co, j-power sys, kyungshin co, chengdu sei
(22) Cummins Inc Ø Umsatz 2011/2012: 8.570 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 1,35 %	cummins_, cummins-, consolidated diesel, avk electro, avk holding, wuxi newage, cmb technologies, markon sawafuji, fleetguard filter
(23) Schaeffler AG Ø Umsatz 2011/2012: 7.486 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 1,18 %	schaeffler, fag_, luk_, ina - drives, ina auto, ina beteiligung, ina invest, ina lanskroun, ina bearing, ina mexiko, ina rolamentos, ina kysuce, ina skalica, aft atlas, as auslandsholding, cbf europe, cvt beteiligungs, cvt verwaltungs, duerkopp maschinen, egon von ruville, guras beteiligungs, idam beteiligungs, industrieaufbaugesellschaft, kwk verwaltungs, medusa beteiligungs, pd qualifizie-

	rung, raytech composites, redon beteiligungs, wpb water pump, grico invest, hydrel, octon, rodisa, stocklook, the barden co, radine, lmc bridgeport, abcom hold
(24) Hitachi Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 7.403 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 1,17 %	babcock-hitachi, babcok hitachi, clarion, hitachi, ltd, hitachi ltd, hitachi a, hitachi b, hitachi c, hitachi d, hitachi e, hitachi h, hitachi i, hitachi k, hitachi l, hitachi m, hitachi n, hitachi p, hitachi r, hitachi s, hitachi t, hitachi u, hitachi v, hitachi-ge, hitachi-lg, hitachi-omron, deere-hitachi
(25) Panasonic Corp Ø Umsatz 2011/2012: 6.653 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 1,05 %	matsushita, panasonic, sanyo, panahome, sunx
(26) JTEKT Corp Ø Umsatz 2011/2012: 6.305 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 1,00 %	jtekt, koyo_, toyoda mach, favess co, toyoda-koki, toyoda trw, gkn toyoda, toyoda micromatic, sekiya seisakusho, automotive czech pard
(27) Autoliv Inc Ø Umsatz 2011/2012: 6.197 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,98 %	autoliv, morton asp, graeges weda, evert larsson ind, britax-kolb, autoflug, marling industries, van oerle alberton, sensor technologies co, izumi co, oea, livbag, visteon restraint elec, nippon steering ind, voa canada, norma as, normandy precision, ncs pyrotechnie, auto safety, svensk airbag, airbag international
(28) Pirelli & C SpA Ø Umsatz 2011/2012: 5.927 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,94 %	pirelli, drahtcord saar, driver, metzeler, armstrong inc, veith gummi, gecam, pneumobil, in & out, maristel, poliambulatorio bio, pzero, syro consumer, omnia motor, tyre & fleet, dackia, inter wheel, e-volution tyre, celikord, cpc 2010, ctc 1994, ctc 2008, alexandria tire, international tire, yanzhou hiyih eco, pt evoluzione
(29) Weichai Power Co Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 5.770 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,91 %	weichai, baoding shanqi tia, shaanxi automobile, shaanxi wuhai, chongqing light-duty, linde hydraulics, shandong huadong cast, shaanxi heavy-duty, shaanxi hande axle, shaanxi jinding cast, tianjin tiangua auto, tianjin xinming auto, fast gear co, fast auto drive, fast gear sales, zhuzhou gear, zhuzhou wande, zhuzhou euro grace, zhuzhou torch, shanghai he da auto, chongqing jialing chuan
(30) Benteler International AG Ø Umsatz 2011/2012: 5.756 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,91 %	benteler, farsund aluminium, aluminox, automotivos aragon, j.i.t martorell, rabet gmbh, swissauto eng, noordned hold, schrootverwerking, guenther voth, helens ou, helens roer, kindlimann, ooo helens, uab helens dis, polarputki, delta steel tube, blitz 11-48, fischer composite tech
(31) Dana Holding Corp Ø Umsatz 2011/2012: 5.511 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,87 %	dana co, dana canada, dana auto, dana austr, dana emerson, dana europe, dana gmbh, dana hold, dana japan, dana korea, dana ltd, dana s.a.s., dana spicer, dana tech, dana world, dcc project, dcc co, dcc fiber, echelin, glacier, nobel plast, reinz-dicht, spicer, torque-traction, driveline specialist, nippon reinz, reinz valve, united brake sys
(32) Tenneco Inc Ø Umsatz 2011/2012: 5.489 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,87 %	tenneco, gillet_, monroe_, peabody internat, walker_, barasset co, clevite industries, elgagest, kinetic pt, maco inversiones, marzocchi.com, mcpherson strut, montagewerk abgastechnik, precision modular, pullman standard, thompson and stammers, tmc texas
(33) Sumitomo Rubber Industries Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 5.444 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,86 %	sumitomo rubber, sumitomo gomu, goodyear japan, dunlop goodyear tires, dunlop sports, sumi rubber, dunlop tire (thailand), sumirubber, falken tyre, dunlop tire cis
(34) BorgWarner Inc Ø Umsatz 2011/2012: 5.376 Mio. €	borgwarner, borg-warner, acs corp, beru_, beru-, dytech ensa, etatech, nsk-warner, divgi-warner, seohanwarner

Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,85 %	
(35) Visteon Corp Ø Umsatz 2011/2012: 5.278 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,83 %	visteon, atlantic automotive, infinitive speech, sunglas, autovidrio, fairlane hold, tyler road, vc aviation, reydel, duckyang ind
(36) Corporación Gestamp SL Ø Umsatz 2011/2012: 5.266 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,83 %	gestamp, edscha, gonvarri, sofedit, autotech engineering, adral, araluce, estampaciones bizkaia, gmf metal forming, gmf otomotiv, gssa, galvanizaciones castel, matriceria deusto, prisma, solblank, ga solar, thyssenkrupp metal forming
(37) GKN plc Ø Umsatz 2011/2012: 5.203 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,82 %	guest keen, birfield ltd, kirkstall forge, tochigi fuji sangyo, gkn, unidrive, hoeganaes, chassis systems, emitec, ipsley ins
(38) Federal-Mogul Corp Ø Umsatz 2011/2012: 5.062 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,80 %	federal mogul, federal-mogul, bower roller bear, mather co, glyco-metall, glyco metall, daelen & Hofmann, goetze, mccord_, t&n, ferodo, neoprint, champion spark plug, fm sealing, weyburn-bartel, kfm bearing, raimsa sa, f-m uk hold, tba industrial prod, fm international, gasket hold , j.w.j. hold
(39) Hella KGaA Hueck & Co Ø Umsatz 2011/2012: 4.673 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,74 %	hella_, docter optics, innosent, enko automotive, reinhold poersch, manufacturas accesorios, induperm, ftz autodele, inter-team, intermobil otomotiv, nordic forum, hsl electronics
(40) Toyoda Gosei Co Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 4.470 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,71 %	toyoda gosei, tg (u.s.a.), tg missouri, fong yue, tg technical center, tg north america, th pongpara, pongpara codan, tg australia, california automotive seal, tg kentucky, tg kirkoskar, daicel safety, tg europe, tg opseed, tg fluid systems, tg safety systems, tg automotive seal, fts co, pt inoac tg, lexedis lighting
(41) Hankook Tires Co Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 4.428 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,70 %	hankook, daehwa engineering, hanyang tire, mkt holding, mk technology, mk mold
(42) NSK Group Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 4.354 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,69 %	nsk_, nippon seiko, amatsuji steel ball, nongbo mos
(43) Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. KG Ø Umsatz 2011/2012: 4.340 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,69 %	brose, madeni esya san
(44) Mitsubishi Electric Corp Ø Umsatz 2011/2012: 4.172 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,66 %	mitsubishi elec, mitsubishi denki, mitsubishi elev, tada electric, toyo electric, db seiko, meiryo technica, shizuki electric, nippon injector, shihlin electric, mitsubishi precision, spc electronic, seiryo electric, moyoshi electronic, oi electric co, melco diplay tech, it semicon, vencotech hold, renesas electronic, powerex, siam compressor ind, kang yong electric, ryoden elevator, ryoko co, ryo-sa beilware, hitachi mitsubishi, eta-melco elev, ryowa, ryoden koki eng, meldas system eng, setsuyo astec, diamond telecom, mitsubishi space, itec hanshin, melco semicon, melco facil, kodensha co, iplanet, kita koudensha, ryoden trading, kanaden co, mansei co, mitsubishi hitachi
(45) Plastic Omnium SA Ø Umsatz 2011/2012: 4.135 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,65 %	plastic omnium, inergy, sulo_, signature, metroplast, la reunion villes, plastic recycling, transit s, ludoparc, beauvais diffusion, techniques et materiels, inopart s, mist composites et rec, signalisation france, farcor s, sodilor s, envicomp, westfalia intra, rms rotherm, performance plastics, createc de mexico, pulidos de juarez, post & column, stavroro auto, signal ag, jiangsu xieno auto
(46) PPG Industries Inc	ppg, pittsburgh plate, lynx services, pinetree stockhold, prc-

Ø Umsatz 2011/2012: 3.967 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,63 %	desoto, stan-mark, the cei group, transitions optical, bellaria, hoba lacke, taiwan chlorine
(47) TE Connectivity Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 3.827 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,60 %	te connectivity, tyco, adc_, raychem, pinacl, corcom, lgc wire, sigma_, amp gmbh, amp taiwan, amp amermex, amp trading, amp singapore, amp manufacturing, amp finance, fayser, clarebury, critchley, grangehurst enter, microwave ass, morlynn ceramics, celis electrocomp, transpower electric, shenzen century man, butterfly management, carrier kheops, f.a.i. technology, original electro, xol technologies, precision interconnect, cima de acuma, kemex holding, potter & brum, crompton instr, mondragon tele, taiwan superior elec, taliq taiwan, dorman smith, dulmison, servo interconnect, soundtouch, tvm group, codenoll tech, image scan, ladd industries, planarmag, precision interconnect, rochester wire & cable, princeton optics, the whitaker, transoceanic calbe, wormald americas, deutsch connectors, compagnie deutsch, electriques deutsch, deutsch finance, deutsch group, deutsch sa, deutsch india, deutsch israel, deutsch italia, deutsch japan, deutsch servicios, deutsch gb, , deutsch uk, deutsch bonds, deutsch corporate, deutsch engine, deutsch offshore
(48) Yokohama Rubber Co Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 3.785 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,60 %	yokohama rubber, yokohama gomu, yokohama tire, yokohama tyre, yohohama industrial, Yokohama rpz, yokohama hpt, yokohama suisse, yokohama scand, yokohama europe, yokohama reifen, yokohama austria, yokohama danmark, yokohama iberia, yokohama russia, yokohama belgium, sas rubber, yh america, yokohama hoses, yokohama hamatite, sc kingflex, yokohama aero, y.t. rubber, yokohama continental, prgr co
(49) Takata Corp Ø Umsatz 2011/2012: 3.684 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,58 %	takata_, petri_, takata-toa, tk holdings, irvin automotive prod, highland industries
(50) Koito Manufacturing Ø Umsatz 2011/2012: 3.613 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,57 %	koito, aoitec, chizuokadenso, nissei industries, fujieda auto light, shizuoka wire harness, haibara machine, ki holdings, minatsu, okayama industry, north american lighting, india japan lighting
(51) Lanxess AG Ø Umsatz 2011/2012: 3.611 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,57 %	lanxess, aliseca, bond-laminates, dubay poly, iab ionentausch, perlon-monofil, rhein chemie, saltigo, europigments, rustenberg chrome, sybron chemical, nexachem trading
(52) NTN Corp Ø Umsatz 2011/2012: 3.488 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,55 %	ntn_, ntn-, nta precision axle, nte gardelegen, ifa-antriebstechnik, ntpt co, nippon kagaku yakin
(53) International Automotive Components Group SA Ø Umsatz 2011/2012: 3.440 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,54 %	iac group, international automotive comp, iac feltex
(54) Mando Corp Ø Umsatz 2011/2012: 3.345 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,53 %	mando_, halla_, roskorturbo, kamco co, jing yin mansion buld, mokpo newport, dae-ah remicon, daehan industry
(55) Futaba Industrial Co Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 3.287 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,52 %	futaba, apics co, fic america, fio automotive, tianjin shuang shye mech, fmi automotive comp, sankei industrial, shye shyang mechnical, ymp press
(56) Meritor Inc Ø Umsatz 2011/2012: 3.220 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,51 %	meritor, arvin rci, arvin canada, arvin cayman, arvin europe, arvin finance, arvin holding, arvin innovation, arvin international, arvin motion, arvin replacement, arvin technologies, avm inc, arvinyl west, euclid industries, fonderie veniss, mss holdings, romax uitlaatsystemen, trucktechnic, tyseley, wilmot-breeden

(57) Tokai Rika Co Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 3.194 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,50 %	tokai rika, tokairika, nsk co, rikaseiki, trmac engineering, sandenzaisha, miroku techno, trcz, trb, mindarika, thai seat belt, wuxi risho techno, daedong, trmi, trqss, tgr technical, tram inc, tac manufacturing, rica auto parts, trin inc, trp, trbr industria
(58) Alps Electric Co Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 3.101 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,49 %	alps, alpine_, arupusu, cirque co, kurikoma elec, nishiki elec, alcom elec, neusoft
(59) TS Tech Co Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 3.094 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,49 %	ts tech, kyusyu ts, sun chemical indus, ts logistics, sowa sangyo, tri-con, ts trim, trimold, tst na trim, trimont mfg, tst manufacturing, ts automotive, guangzhou tech interieur, guangzhou tsk auto, ts-gsk auto
(60) Cooper Tire & Rubber Co Plc Ø Umsatz 2011/2012: 3.088 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,49 %	cooper tire, cooper tyre, cooper international holding corp, cooper international rub, cooper global, pneus international, nemet international, corporacion de Occi, inversionistas del Bajio, cooper receivables, cooper (kunshan) tire, ctb (Barbados) invest, cooper chengshan, ctbx co, cttg inc, master assurance, max-trac tire, mickey thompson perf
(61) Getrag KG Ø Umsatz 2011/2012: 3.057 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,48 %	getrag
(62) Eaton Corp Ø Umsatz 2011/2012: 3.052 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,48 %	eaton_, polaron, martek, aeroquip, eic holding, mtl_, fhf_, sefelec, etn hold, apex, bussmann, funke+huster, durodyna, elpro technologies, illumination management, ebe services, hernis scan systems, intelligent switchgear, mcgraw-edison, standard automation &, vickers international, viking electronics, wright line hold, azonix, wpi-boston, cannon technologies, pederson co, rtk instruments, sure power, gecma comp, international product safety, cooper b-line, cooper bussmann, cooper crouse, cooper elec, cooper enter, cooper finance, cooper industrie, cooper lighting, cooper notification, cooper international fin, cooper power, cooper techno, cooper wheel, cooper wiring, cooper secu, cooper australia, cooper invest, cooper offshore, cooper columbia, cooper international holdings, cooper netherland, cooper switzerland, cooper (china), cooper (ningbo), cooper edison, cooper shanghai, cooper xi, cooper yuhua, cooper capri, cooper menvier, cooper germany, cooper univel, cooper hungary, , cooper mexico, cooper safety, cooper petronica, cooper korea, cooper (UK), cooper controls, cooper fulleon, cooper medc, cooper pensions
(63) E. I. du Pont de Nemours and Company Ø Umsatz 2011/2012: 3.008 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,48 %	du pont, dupont, agar cross, camtex fabrics, chemfirst, destination reality, dpc (luxemburg), dsrb, dukl hold, equipamiento industrial, helmstedter lack, holding dp sa, huajia chemical, initiatives de mexico, international dioxcide, laurel sa, oval securities, permatex, pioneer hi-bred, pitt-consol chem, polar vision, polyglobal ass, protein technologies, qualicon, sentinel transportation, spies hecker, sporting goods prop, teodur, uniax co, verniplast
(64) Bayer AG Ø Umsatz 2011/2012: 2.991 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,47 %	bayer_, baypo_, medrad, nuhems, schering, agrevo verwaltung, alcafleu, baule s, berlimed, berlis, biogenetic tech, chemion log, currenta, drugofa, epurex films, generics hold, grenzach prod, hild samen, intendis, intraserv, jenapharm, pharma+veter, mediwest, menadir heil, pandias re, pgs international, tectron, travelboard, agraquest, athenix, bippo co, collateral thera, guidance inter, hornbeck seed, isense co, nipponex, nor-am agro, radimetrics, sb capital, stoneville pedi, stwb, bilag industries, imaxeon, medipharm, alimtec, corporacion bonima, mediterranean seeds, qui-

	micos naturales, soytech seed
(65) Motherson Sumi Systems Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 2.914 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,46 %	motherson, mssl, smp, smr, peguform, portuguesa de pintura, global environment manag, vacuform 2000, celulosa fabril, modulos rivera alta, visiocorp
(66) Nemak SA Ø Umsatz 2011/2012: 2.854 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,45 %	memak, modellbau schoenheide, camen international, j. l. french, french holdings, allotech international, central die, nelson metal products, jlfr, alfa co, alfa sa, alpek, sigma_, alestra, newpek
(67) Honeywell International Inc Ø Umsatz 2011/2012: 2.744 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,43 %	honeywell, alliedsignal, allied-signal, allied corp, adi-gardiner, ems aviation, grimes aerospace, hand held prod, life safety distrib, lxe, maxon co, metrologic instr, norcross safety prod, novar ed, sperian protection, uop inc, uop llc, uop russel
(68) Pioneer Corp Ø Umsatz 2011/2012: 2.743 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,43 %	pioneer, paionia, increment p, pio tech, tps co, fukuin, tech experts, global survey, technical audio devices, discovision ass, dongguan monetech, mogami hong kong, mogami dungguan
(69) Eberspaecher GmbH & Co KG Ø Umsatz 2011/2012: 2.721 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,43 %	eberspaecher, catem, em automotive, em emissions, m&m handel, menesa verwaltung, abgastechnik emden, prototechnik, espar_
(70) Leoni AG Ø Umsatz 2011/2012: 2.716 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,43 %	leoni_, haarlaender, kb kabel, j-fiber, j-plasma, fibercore, neumatic, leonische, weihai daekyeung elec, weihai dk electronic, intedis
(71) Evonik Industries AG Ø Umsatz 2011/2012: 2.580 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,41 %	evonik, degussa, aqura, bk-wolfgang, cyplus, goldschmidt etb, goldschmidt skw, hd ceracat, heinrich schaefermeyer, huels service, infracor, li-tec, moench-kunststoff, r&b industrieanlagen, rhz handwerks, ruetgers, stockhausen unter, vivawest, westgas, cosmoferm, egesil kimya, egl ltd, insilco, laporte, nilok chemical, nippon aerosil, destek, roha bv, ruetgers organics, stockhausen nether, jssi, stohaas, ths gmbh, dsl japan, peroxidos organic, creavis, skw trostberg
(72) NHK Spring Co Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 2.564 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,41 %	nhk_, yokohama kiko, sumihatsu, ites co, nippatsu service, nippon shaft, horikiri inc, uniflex, tokuhatsu, tohoku nippatsu, topura, new mather metals, nat peripherals, nat (dongguan), ayase seimitsu, g.l.g., snic co, sindai, iberica de suspensiones
(73) Harman International Industries Inc Ø Umsatz 2011/2012: 2.538 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,40 %	harman_, martin professional, akg acoustics, ionroad, isgpas general, martin manufacturing, martin trading, mwm acoustics, mwm mobile, r&d international, studer_
(74) Compagnie de Saint-Gobain SA Ø Umsatz 2011/2012: 2.466 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,39 %	saint-gobain, cebrace cristal, hankuk, produits refractaires, sepr italia, certain teed, certainteed, gypsum_, mag-isover, bpb, izocam ticaret, sanitaire chauffage, lapeyre, point.p, norandex, optimera, sanitas troesch
(75) Illinois Tool Works Inc Ø Umsatz 2011/2012: 2.443 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,39 %	itw_, itw-, instrom, illinois tool, avery weigh, brooks instrument, caretex, cfc europe, cfc international, despatch industries, elro_, filtertek, forkhardt, hobart, kester_, lock inspection, m & c special, miller electric, mima films, premark, signode, speedline, stockvis, strapex, terra-s, tien tai elec, vitronics, applichem, illinois app, illinois instr, illinois mach, illinois prod
(76) Rheinmetall AG Ø Umsatz 2011/2012: 2.420 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,38 %	rheinmetall, kolbenschmitt, kspg, ms motor, pierburg, rwm, vingtech, nitrochemie, ks gleitlager, emg euromarine, meg marine, suprenum, ads gesellschaft, bil industriemetalle, eurometaal, i.l.e.e., laser 2000, ldt laserdisplay, oerlikon, rd investment, rfel_, rm euro, rtp-uk, servo konroll, swiss simtech, vinghog, bf engine parts, bf germany, intec france, karl schmidt trad, ks aluminium, ks atag, ks cz motor, ks france, ks large bore, ks produtos auto,

	kslp, ksus international, kus canada, mechadyne inter, mosellane de services, werkzeugbau walduern, aim infrarot, arge rde, artec gmbh, defense munitions, intelligente wirksysteme, n2 defense, psm projekt system, advanced bearing mat, ks atag trimet
(77) Webasto SE Ø Umsatz 2011/2012: 2.382 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,38 %	webasto, indel marine, wrsi, airmarco isitma
(78) Freudenberg SE Ø Umsatz 2011/2012: 2.354 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,37 %	freudenberg, surtec, eagle burgmann, klueber lubrication, chem-trend, corteco, bt-burgmann, ke-burgmann, burgmann in, dichto-matik, vileda, helix medical, jump_, integra accu, lederer, oks spezial, simrax, asia shine, e&j brush, scott-matrix, apec (asia), bt-tenute mecc, corcos ind, m. b. perform, trasfotex, alucon, tesneni a pruzne, fhp, international seal, kl texas, lakes region manu, med-venture, access textil, seal trade eura, park weinheim, vc uk, tia (hk), corcos simrit, marelli & berta, chemlease japan, vestpak, lucky gecko, ds hold, ds verwaltung, fcs, fit service, fremecs, fsvc verwaltung, fv_, ebi_, alantechnologies, filtramark, corfina, ex-terna, fim polska, tpe spravni, intpacor, lutrabond, lutradur, pel-lon, bristol ramp, trelleborg, vibracoustic, vistamed, korea vilene
(79) TI Automotive Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 2.268 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,36 %	ti auto, ti group auto, ti fluid, hanil tube, hanil u, ti brasil, ti po-land, ti otomotiv, bundy fluid, bundy india, pierburg fuel pumps, walbro, fulton ti, russel hobbs, armco, huron product ind, tech-noflow, s&h fabricating, kenmore italia, ti bainbridge, ti corpo-rate, ti cox, ti creda, ti crypton, ti france, ti fuel, ti gas, ti interlock, ti new, ti silence, ti techno, ti superform, ti eng, ti fords
(80) Nippon Sheet Glass Co Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 2.261 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,36 %	nippon sheet glass, nihon ita, pilkington, nsg_, thanxs, nanox, l-n safety, vidrieria argentina, vidrios lirquen, malaysian sheet glass, vietnam float glass, coldstream, qitaihe rijiu glass, d&g system, nippon safety glass, msg glazing, nippon glass fiber, micro optics, nippon muki, nippon ita glass
(81) Hutchinson SA Ø Umsatz 2011/2012: 2.251 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,36 %	hutchinson, paulstra, marquez transtech, gastket international, in-dustrielle desmarquoy, jehier sa, le joint francais, les stratifies, techlam, caoutchoucs modernes, espa_, knt, olutex, stop choc, catelsa, intesca, vibrachoc, pamargan, barry controls
(82) Grupo Antolin-Irausa SA Ø Umsatz 2011/2012: 2.249 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,36 %	grupo antolin, trimtec, intertrim, ash reciclado, selesia plasic, ges-tion industrial, keyland, cidut sl, broomco, alba speziallampen, ototrim panel, irmec auto, mexican door, guangzhou cocop, cml innovative, cml techno, antolin shanghai, antolin tanger, antolin quopu, antolin huaxiang, antolin kasai, nhk antolin
(83) Mann+Hummel GmbH Ø Umsatz 2011/2012: 2.226 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,35 %	mann+hummel, mann + hummel, industrial filters, mann ve hummel, purolator filters, fluid brasil sistemas, mann and hum-mel, mhb filter india, mann und hummel, mann & hummel
(84) Asahi Glass Co Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 2.214 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,35 %	asahi glass, asahi garasu, agc, ryugasaki glass, autoglass, optical coatings japan, ise chemicals, keiyo monomer, hokkaido soda, kashima chemical, tokai kogyo, asahimas flat, iwaki glass, asahi-mas chemical, woodward iodine, seimi tongda lithium, blibrico (dalian), hanwook techno glass, asahi pd glass, asahi-ici, asaki glass, asashi glass
(85) Toyo Tire & Rubber Co Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 2.187 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,35 %	toyo tire, toyo tyre, toyo rubber, silverstone, fukushima rubber, toyo soflan, soflan wiz, toyo advanced tech, nitto japan, toyo chemical, toyo seiki, showa estate, orient koki, f.t.g., sendai ser-vice, kuwana service, nitto tire, toyo automotive, nt mexico, wuxi toyo

(86) Cooper-Standard Holdings Inc Ø Umsatz 2011/2012: 2.156 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,34 %	cooper-standard, cooper standard, italia standard, cooper (wuhu), nisco hold, stantech, sterling invest, csa_, metzeler automotive, metzeler technical, sujan barre thomas, coopermex, manufacturera el jarudo, westborn service, csf poland, wahabi investments, north america rubber
(87) Fritz Dräxlmaier GmbH & Co. KG Ø Umsatz 2011/2012: 2.133 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,34 %	draexlmaier, eldra kunststoff, quantenelektronische systeme, wendl u. ulrich, elektro- und kunststofftechnik, w & u, dcon connection tech, egyptian german electric, d&b wiring, d&b interiors, union des ateliers tech, electro-technique des sousse, technique des siliana, automobile et technique
(88) NGK Spark Plug Co Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 2.122 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,34 %	ngk spark, nippon tokushu, ceramic sensor, nittoku seisa, nichiwa kiki, kamioka ceramic, ntk ceramic, tono ceramic, nansei ceramic, nittoku unyu, nittoku alpha, ntk techn, ngk busi indonesia, ngk do brasil, ngk de mexico, woojin industry, tokai taima
(89) American Axle & Manufacturing Holdings Inc Ø Umsatz 2011/2012: 2.117 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,33 %	american axle, aam_, colfor manufacturing, msp industries, accugear, oxford forge, dietronic, total-drive, albion automotive
(90) Knorr-Bremse AG Ø Umsatz 2011/2012: 2.089 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,33 %	knorr-brems, knorr brake, bendix, microelettrica, ife-tebel, ife-cr, ife north, ife-victall, albatros, anchor brake, bcvs, bost iberica, bsfb hold, comet fans, josef zelisko, freinrail systems, hasse & wrede, heine resistors, ige-cz, kalmar tagkompetens, knorr-amabhiliki, maquiladora de acuna, merak, msa electroteknik, s. resistances, york air brake, oerlikon-knorr, sigma air, sigma coachair, sigma transit, skach, sociedad associates, unicupler, westinghouse brakes australia, westinghouse platfrom screen, icer rail, webasto kiekert bustueren, black river air log, di-prio, freios knorr, metco technical con
(91) Linamar Corp Ø Umsatz 2011/2012: 2.016 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,32 %	linamar, skyjack, frank hasenfratz, camtac manu, linergy manu, linex manu, traxle mfg, llp manufacturing, autocom manu, camcor manu, comtech manu, eston manu, exkor manu, hastech manu, powercor, quadrad manu, roctel manu, spinic manu, transgear manu, vehcom manu, mclaren performance tech, eagle manufacturing, egincom, oros division, precision part machining
(92) Tachi-S Co Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 1.987 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,31 %	tachi-s_, tachikawa hatsujou, nui tec, nissin kogyosho, fuji kiko, kinryo kogyo, ts design, setex, syntec, tacle seating, technotrim, fuji autotech, industria de asiento sup, tacle guangzhou, zhengzhou taixin, nihon pullmaflex, tachikawa kogyo
(93) Keihin Corp Ø Umsatz 2011/2012: 1.980 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,31 %	keihin, nasu seiki, kanazu mfg, tatematsu mfg, e-giken, indiana precision tech, hadsys (thailand), hadsys philippines, carolina system tech
(94) Showa Corp Ø Umsatz 2011/2012: 1.968 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,31 %	showa corp, showa indonesia, american showa, showa do brasil, showa kyushu, summit showa, showa canada, showa industria, showa seiko, guangzhou showa, nissin showa, shanghai showa, showa india, showa autoparts, showa auto-parts, honda cars saitamakita, kaifa industry, manjal showa, hingjiang showa, showa regional center
(95) SKF AB Ø Umsatz 2011/2012: 1.950 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,31 %	skf, svenska kugellager, monitoring control center, trelanoak, bagaregarden 16, transrol, rft spa, lincoln industrial, lincoln gmbh, abba taipei, general bearing, s2m france, willy vogel, economos, skefko ball
(96) Nexteer Automotive Group Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 1.943 Mio. €	nexteer, rhodes_, steering holding, steering solution, fidass, steeringmex

Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,31 %	
(97) Wabco Holdings Inc Ø Umsatz 2011/2012: 1.935 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,31 %	wabco, ase holdings, ase finance, american standard, clayton dewandre, perrot north america, shangdong weiming auto, sundarim-clayton, westinghouse air brake, cardwell westinghouse, westinghouse fre, westinghouse brake, westinghouse bremsen, westinghouse pneu
(98) Martinrea International Inc Ø Umsatz 2011/2012: 1.924 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,30 %	martinrea, rea international, royal automotive group, royal laser tech, depco international, rollstar metal forming, thyssenkrupp budd, skd automotive, honsel
(99) Akebono Brake Industry Co Ltd Ø Umsatz 2011/2012: 1.841 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,29 %	akebono, alocs, neostreet, abma, tri dharma wisesa
(100) 3M Corp Ø Umsatz 2011/2012: 1.790 Mio. € Ø Umsatzanteil Top100 2011/2012: 0,28 %	3m, aearo hold, aearo tech, arizant, ceradyne, meguiar, gta-nht, rappold winterthur, emfi, gpi_, faab, dyneon, esk ceramics, wendt gmbh, cuno filtration, alpha beta global, minnesota mining, minnesoto mining, espe dental

Anhang 7: Akteursgruppe der Top 200 Batterie- und Brennstoffzellenentwickler

In die globale Liste der 200 patentseitig aktivsten Unternehmen der Batterie- und Brennstoffzellentechnologie werden keine Gesellschaften einbezogen, die bereits Bestandteil der Gruppen der Automobilhersteller oder -zulieferer (vgl. Anhang 5 und Anhang 6) sind.[1578] Zur **Identifikation von Unternehmen** dienten Veröffentlichungen und Teilnehmerlisten technologiebezogener Kongresse,[1579] Befragungen von Experten für elektrochemische Energiewandler[1580] sowie Markt- und Technologiestudien.[1581] Ergänzend wurden Jahresabschlüsse, Homepages und weitere Veröffentlichungen der Unternehmen herangezogen und mit einem detaillierten Screening des Patentdatensets hinsichtlich der Aktivität der identifizierten Akteure kombiniert. Die **Selektion eines Unternehmens** für diese Akteursgruppe setzt voraus, dass es noch existiert oder übernommen wurde (Existenznachweis), mindestens eine Patentanmeldung bzw. -offenlegung zur Batterie- oder Brennstoffzellentechnologie seit dem Jahr 2000 getätigt hat (Aktivitätsnachweis) und im analysierten Zeitraum bei mindestens einer Patentbehörde und Technologie einen Anteil von 0,07 % an den untersuchten Offenlegungen erreicht (Mindestaktivitätsniveau).[1582] Zum **Aufbau der 457 Suchstrings** wurden die Jahresabschlüsse[1583] und weitere Veröffentlichungen der Unternehmen[1584] sowie die *Thomson Reuters DWPI Patent Assignee Codes (PACO) Lookup Facility*[1585] herangezogen und mit einer Analyse des Zieldatensets kombiniert. Die **Zuordnung von Gesellschaften** erfolgte nach Beteiligungsanteilen, wobei ab 50 % eine Unterordnung (Aggregation) und bei paritätischen Joint Ventures (50 % : 50 %) eine Doppelzuordnung erfolgte.[1586] Von den betroffenen japanischen Keiretsu wurden alle Akteure, die nicht den Gruppen der Automobilhersteller oder -zulieferer zuzuordnen sind, in die Akteursgruppe der Batterie- und Brennstoffzellenentwickler aufge-

[1578] Die Gruppe beinhaltet im Wesentlichen Unternehmen aus den Bereichen Rohstoffe, Material, Chemie, Elektrotechnik und Energie sowie Hersteller und Nutzer elektrochemischer Energiewandler.

[1579] Einbezogen wurden die *Advanced Automotive Battery Conference (AABC) 2013*, der *Batterietag NRW 2013* sowie die Veranstaltung *Kraftwerk Batterie 2013*.

[1580] Befragt wurden Experten aus der (Automobil-) Industrie sowie von (Markt-) Forschungsinstituten.

[1581] Einbezogen wurden u. a. der *IHS Alternative Propulsion Forecast 2013* (IHS, 2013) sowie die Studien *Electric Dreams: Will Lithium-Ion Battery Technology Represent the Tipping Point for Hybrids and Electric Cars?* (IHS, 2013), *The Lithium-Ion Battery Value Chain* (Roland Berger, 2012), *Global Vehicle LiB Market Study Update* (Roland Berger, 2012) und *IIT LIB-Related Study Program 07-08* (Indian Institute of Technology, 2007).

[1582] Um 200 Unternehmen zu erhalten, wurden aus dem Anteilsbereich von 0,05 % bis 0,07 % der Offenlegungen an einer Patentbehörde und Technologie nach aktueller Anmeldeaktivität 6 Akteure ergänzt.

[1583] Als Quellen dienten die Homepages der Unternehmungen und Veröffentlichungen des Bundesanzeigers sowie der U.S. Securities and Exchange Commission.

[1584] Als Quellen dienten die Homepages der Unternehmungen.

[1585] http://ip-science.thomsonreuters.com/support/patents/dwpiref/reftools/companycodes/lookup/

[1586] Vernachlässigt wurden folgende Zweckgesellschaften: Verwaltung, Verwertung, Versicherung, Wohnungsbau, Service, Wartung, Finanz, Accounting, Beteiligung, Vermietung, Leasing, Handel, Import, Export, Distribution, Fuhrpark, Flottenmanagement, Marketing und Immobilien. Außerdem: Autohäuser, Werkstätten, Logistikzentren, Museen und Sportvereine.

nommen.[1587] Die technologiefokussierte **Erfassungsgenauigkeit** auf Akteursebene liegt nahezu bei 100 %.[1588] Unterstriche zu Beginn und Ende der Suchstrings stehen für Leerzeichen und sind wesentlich zur Vermeidung von Fehlerfassungen.

Batterie- und Brennstoffzellenentwickler	**Suchstrings (getrennt durch Kommata)**
(1) ABB Asea Brown Boveri Ltd	abb_, boveri, bbc
(2) Accelrys Inc	accelrys, symyx
(3) Airbus NV	airbus, eads_, dornier, deutsche aero
(4) Alcatel-Lucent SA	alcatel, lucent tech, Compagnie Generale d'Electricite, alsthom
(5) Alstom SA	alstom, aeg energie
(6) American Power Conversion Corp	american power
(7) Amprius Inc	amprius
(8) Angstrom Power Inc	angstrom
(9) Antig Technology Corp	antig tech
(10) Apple Inc	apple
(11) Applied Materials Inc	applied materials
(12) Asahi Kasei Corp	asahi kasei, asahi chem, asahi organic, asahi denka, asahi eng, asahi rubber
(13) Asia Pacific Fuel Cell Technologies Ltd	asia pacific fuel
(14) Ballard Power Systems Inc	ballard, idatech
(15) Biotronik SE & Co KG	biotronik
(16) Bloom Energy Corp	bloom energy
(17) Boston-Power Inc	boston-power
(18) Canon Inc	canon
(19) Casio Computer Co ltd	casio
(20) Celanese Ventures GmbH	celanese, hoechst_
(21) CellTech Power LLC	celltech power, cell tech power
(22) Central Glass Co Ltd	central glass
(23) Chemetall GmbH	chemetall
(24) Chubu Electric Power Co Inc	chubu electric, chubu denryoku
(25) Chuo Denki Kogyo Co Ltd	chuo denki

[1587] Dies betrifft folgende *Keiretsu*: Furukawa, Mitsui, Sumitomo, Mitsubishi und Toyota. Bei den drei letztgenannen erfolgte bei der Zuordnung von Unternehmen zu den drei Akteursgruppen eine auf den Beteiligungsanteilen basierende Trennung zwischen Automobilherstellern (Mitsubishi, Toyota), Automobilzulieferern (Sumitomo, Mitsubishi, Toyota) und Akteuren der Batterie- und Brennstoffzellentechnologie (Sumitomo, Mitsubishi, Toyota). Dies verhindert Mehrfachzählungen und erhöht die Genauigkeit der Ergebnisse.

[1588] Der technologiefokussierte Aufbau dieser Akteursgruppe führt zu einer technologiebezogenen Charakteristik der abgeleiteten Suchstrings, sodass diese (im Gegensatz zu den Gruppen der Top 30 Automobilhersteller sowie der Top 100 Automobilzulieferer) nur bedingt zur Auswertung anderer Technologien geeignet sind.

(26) Clariant AG	clariant, sued-chemie
(27) ClearEdge Power Inc	clearedge, utc power, utc fuel cell, international fuel cells corp
(28) ConocoPhillips Corp	conocophillips
(29) Corona Corp	corona corp
(30) Dai Nippon Printing Co Ltd	nippon printing, nippon insatsu
(31) Daido Steel Co Ltd	daido steel, daido metal, daido gakuen
(32) Daikin Industries Ltd	daikin ind, daikin kogyo, daikin appl
(33) De Nora SpA	de nora, eltech systems
(34) Denki Kagaku Kogyo KK	denki kagaku
(35) DIC Corp	dic corp, nippon ink
(36) Diehl Stiftung & Co KG	diehl_
(37) Dowa Holdings Co Ltd	dowa holdings, dowa elec, dowa mining, dowa eco, dowa metal
(38) Eagle-Picher Corp	eagle-picher, eaglepicher, eagle picher
(39) Ebara Corp	ebara corp, ebara res, ebara ballard, ebara katsuo
(40) Eisenhuth GmbH & Co KG	eisenhuth
(41) Elcomax GmbH	elcomax
(42) Electric Fuel Ltd	electric fuel
(43) Electric Power Development Co Ltd	electric power dev, dengen kaihatsu
(44) ElringKlinger AG	elringklinger
(45) EnerDel Inc	enerdel, enerfuel, ener1
(46) Energizer Holdings Inc	energizer, eveready
(47) Ener-Tek International Corp	ener-tek, yardney, lithion, alupower
(48) Enymotion GmbH	enymotion
(49) E-One Moli Energy Corp	moli energy
(50) Ericsson Mobile Communications AB	ericsson mobile, telcordia, bell com, bell tele
(51) Exide Corp	exide, gnb, hagen ag, hagen batt, sonnenschein, deta-akku
(52) F.X. Mittermaier & Söhne GmbH & Co KG	f.x., mittermaier, franz xaver
(53) Fluidic Energy Inc	fluidic
(54) FMC Corp	fmc
(55) FuelCell Energy Inc	fuelcell energy, energy research corp, versa power
(56) Fuji Chemical Industry Co Ltd	fuji chem, fuji electrochem, fuji elelctrochem, fuji kasei
(57) Fujifilm Holdings Corp	fujifilm, fuji film, fuji photo, fuji xerox, fuji seal, fuji raito, fuji corp
(58) Fujikura Ltd	fujikura
(59) Furukawa [*Keiretsu*]	furukawa co, furukawa batt, furukawa denchi, furukawa circuit, furukawa elec, furukawa mining, furukawa sky, furukawa-sky, furukawa techno, fuji electric, fuji denki, fujitsu, shinko elec, shinko denki, fdk corp, fdk energy, fdk twicell, nippon light, nippon foil, zeon corp, nippon zeon, riken corp, riken kogyo, riken

	elec, okano corp, okano kogyo, okano cable, adeka corp, kanto denka
(60) General Electric Corp	general electric
(61) Google Inc	google, motorola
(62) Greatbatch Ltd	greatbatch, electrochem solutions
(63) Grillo-Werke AG	grillo-werke
(64) GS Yuasa Corp	yuasa corp, japan storage, lithium energy japan, yuasa batt
(65) H2-Interpower Brennstoffzellensysteme GmbH	interpower
(66) HC Starck GmbH	starck
(67) Heliocentris Energy Solutions AG	heliocentris, p21
(68) Heraeus Holding GmbH	heraeus
(69) Hewlett-Packard Co Ltd	hewlett-packard, hewlett packard
(70) Hexis AG	hexis, sulzer
(71) Hydro-Quebec	hydro-quebec, hydro quebec
(72) Idemitsu Kosan Co Ltd	idemitsu kosan
(73) Intech Thueringen GmbH	intech thueringen
(74) International Business Machines Corp (IBM)	international business mach, ibm
(75) iON Worldwide LLC	ion world, ion america
(76) Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co Ltd	ishikawajima, ihi corp
(77) Japan Metals and Chemicals Company Ltd	japan metals
(78) Japan Vilene Co Ltd	japan vilene
(79) JFE Holdings Inc	jfe, nkk corp, kawasaki steel, kawasaki seitetsu
(80) JSR Corp	jsr, japan synthetic rubber
(81) JX Nippon Oil & Energy	jx nippon, nippon mining, nippon oil, japan energy, eneos celltech
(82) Kaneka Corp	kaneka
(83) Kao Corp	kao corp, guhl ikebana
(84) Kawasaki Heavy Industries Ltd	kawasaki heavy, kawasaki jukogyo
(85) Kobe Steel Ltd	kobe steel, kobelco, kobe seikōsho
(86) Konica Minolta Holdings Inc	konica, minolta
(87) Koninklijke Philips NV	koninklijke philips, philips elec, philips corp
(88) Kuraray Co Ltd	kuraray
(89) Kureha Corp	kureha
(90) Kurita Water Industries Ltd	kurita water
(91) Kyocera Corp	kyocera
(92) LG Corp	lg corp, lg elec, lg chem
(93) Liebherr-International SA	liebherr

(94) Linde Group	linde ag, linde aktien
(95) Lithium Technology Corp	lithium tech, gaia
(96) Lynntech Inc	lynntech
(97) Maxwell Technologies Inc	maxwell tech
(98) Medtronic Inc	medtronic
(99) Merck KGaA	merck
(100) Micron Communications Inc	micron com, micron tech
(101) Mitsubishi [*Keiretsu*]	mitsubishi corp, mitsubishi alum, mitsubishi cable, mitsubishi chem, mitsubishi kasei, mitsubishi kagaku, mitsubishi gas, mitsubishi heavy, mitsubishi jukogyo, mitsubishi materials, mitsubishi metal, mitsubishi paper, mitsubishi pencil, mitsubishi petro, mitsubishi plastic, mitsubishi rayon, mitsubishi shindoh, mitsubishi steel, mitsubishi research, mitsubishi kakoki, mitsubishi nuclear, mitsubishi atom, nikon corp
(102) Mitsui [*Keiretsu*]	mitsui &, mitsui bussan, mitsui chem, mitsui toatsu chem, mitsui eng, mitsui mining, mitsui petro, japan steel, toray ind, kanebo
(103) Montana Tech Components AG	montana tech, varta micro
(104) More Energy Ltd	more energy
(105) MTI Instruments Inc	mti instr, mti micro
(106) Murata Manufacturing Co Ltd	murata mfg, murata manu, murata seisakusho
(107) Nanosys Inc	nanosys
(108) Neos International GmbH	neos inter
(109) New Enerday GmbH	enerday
(110) NGK Insulators Ltd	ngk insu
(111) Nichia Corp	nichia chem, nichia kagaku
(112) Nichias Corp	nichias corp
(113) Nikkiso Co Ltd	nikkiso
(114) Nippon Chemical Industrial Co Ltd	nippon chem
(115) Nippon Shokubai Co Ltd	nippon shokubai
(116) Nippon Steel Corp	nippon steel
(117) Nippon Telegraph and Telephone Corp	nippon tele, ntt_
(118) Nisshin Steel Co Ltd	nisshin steel
(119) Nisshinbo Holdings Inc	nisshinbo
(120) Nitto Denko Corp	nitto denko
(121) Nok Corp	nok_
(122) Nokia Corp	nokia
(123) Noritake Co Ltd	noritake
(124) Nuvera Fuel Cells Inc	nuvera fuel cell
(125) Olympus Corp	olympus, orimpasu
(126) Osaka Gas Co Ltd	osaka gas

(127) Plug Power Inc	plug power, cellex, h power corp
(128) Polyfuel Inc	polyfuel
(129) PolyPlus Battery Company Inc	polyplus
(130) Powergenix Corp	powergenix
(131) Proton OnSite	proton onsite, proton energy
(132) Proton Power Systems Plc	proton power, proton motor fuel
(133) Protonex Technology Corp	protonex
(134) Quallion LLC	quallion
(135) Quantumsphere Inc	quantumsphere
(136) Raytheon Corp	raytheon, hughes aircraft, hughes elec, hrl laboratories
(137) ReliOn Inc	relion
(138) Ricoh Company Ltd	ricoh
(139) Saft SA	saft, silberkraft
(140) Samsung Group	samsung, sb limotive, cobasys
(141) Sanofi SA	sanofi, aventis, synthelabo
(142) Sartorius AG	sartorius
(143) Schott AG	schott_
(144) Schunk Group	schunk_
(145) Seeo Inc	seeo_
(146) Seiko Group	seiko group, seiko epson, seiko instr, seiko elec
(147) Sekisui Chemical Co Ltd	sekisui chem
(148) SGL Carbon SE	sgl carbon, great lakes, sigri elektro
(149) Sharp Corp	sharp corp, sharp k
(150) Shin Kobe Electric Machinery Co Ltd	shin kobe, shin-kobe
(151) Shin-Etsu Chemical Co Ltd	shin etsu, shin-etsu
(152) Showa Denko KK	showa denko
(153) Siemens AG	siemens, mannesmann
(154) Sineurop Nanotech GmbH	sineurop
(155) Sion Power Corp	sion power, moltech
(156) Solvay Group	solvay
(157) Sony Corp	sony corp, sony ebar, sony chem, sony eric, sony-eveready
(158) Spectrum Brands Inc	spectrum brands, rayovac, ray-o-vac, rovcal, varta geraete, varta consumer
(159) STMicroelectronics NV	stmicro, sgs-thomson
(160) Sumitomo [*Keiretsu*]	sumitomo bakelite, sumitomo cement, sumitomo chem, sumitomo seika, sumitomo corp, sumitomo dow, sumitomo durez, sumitomo heavy, sumitomo light metal, sumitomo metal ind, sumitomo metal mining, sumitomo mitsui, sumitomo osaka, sumitomo precision, sumitomo shoji, sumitomo special metal, sumitomo titan,

	nec corp, nec energy, nec environment, nec home, nec lamilion, nec mobile, nec moli, nec tokin, nec yone, nec toho, nissin elec, meidensha, japan research institute, tokai rubber
(161) Sunfire GmbH	sunfire, staxera
(162) Tanaka Holdings Co Ltd	tanaka hold, tanaka chem, tanaka kiki
(163) TDK Corp	tdk, tokyo denki kagaku
(164) Teijin Ltd	teijin, nanogram
(165) Tesla Motors	tesla motor
(166) The Dow Chemical Company Ltd	dow chem, union carbide, dow kokam
(167) The Kansai Electric Power Co Inc	kansai elec
(168) The Procter & Gamble Company	procter &, p&g, gilette, duracell
(169) Toagosei Co Ltd	toagosei
(170) Toda Kogyo Corp	toda kogyo
(171) Toho Gas Co Ltd	toho gas
(172) Tokai Carbon Co Ltd	tokai carbon
(173) Tokuyama Corp	tokuyama co
(174) Tokyo Electric Power Co Inc	tokyo electric power
(175) Tokyo Gas Co Ltd	tokyo gas
(176) Tomoegawa Paper KK	tomoegawa
(177) TonenGeneral Group	tonengeneral, tonen chem, tonen corp
(178) Toppan Printing Co Ltd	toppan printing
(179) Toshiba Corp	toshiba
(180) Tosoh Corp	tosoh corp
(181) Toto Ltd	toto ltd
(182) Toyobo Co Ltd	toyobo co
(183) Toyota [*Keiretsu*]	toyota autom loom, toyota industr, jidoshokki, toyota central, toyota chuo, toyota tsusho, aichi steel, aichi elec
(184) Ube Industries Ltd	ube ind, ube mach
(185) Ultra Electronics Holdings plc	ultra elec, adaptive material
(186) Ultracell Corp	ultracell
(187) Umicore SA	umicore, omg ag
(188) United Technologies Corp	united technologies
(189) Vaillant Group	vaillant
(190) Valence Technology Inc	valence tech
(191) Viessmann Werke GmbH & Co KG	viessmann
(192) W. L. Gore & Associates Inc	gore &, gore tex, gore-tex
(193) Wacker Chemie AG	wacker_
(194) Wanxiang Group Corp	wanxiang, a123
(195) Westinghouse Electric Corp	westinghouse power, westinghouse elec

(196) Xebec Adsorption Inc	xebec, questair
(197) Yamaha Corp	yamaha corp, yamaha motor, yamaha marine, yamaha hatsudoki
(198) Yokogawa Electric Corp	yokogawa elec, yokogawa denki
(199) ZOXY Energy Systems AG	zoxy
(200) Ztek Corp	ztek corp