



Agrarökonomische  
Forschung  
Agricultural Economic  
Research



Universität Hohenheim  
Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre  
Fachgebiet: Analyse, Planung und  
Organisation der landwirtschaftlichen Produktion

University of Hohenheim  
Institute of Farm Management  
Department: Analysis, Planning and  
Organisation of Agricultural Production



Forschungsbericht 15/2012

Nachhaltiger Anbau von Bioenergie:  
eine ökonomisch-ökologische  
Analyse für die Landwirtschaft in  
Baden-Württemberg

Angelika Konold

Universität Hohenheim  
Institut und Fachgebiet für Landwirtschaftliche Betriebslehre  
Ehemaliges Fachgebiet: Analyse, Planung und  
Organisation der landwirtschaftlichen Produktion

University of Hohenheim  
Institute and Department of Farm Management  
Former Department: Analysis, Planning and  
Organisation of Agricultural Production

**Angelika Konold:**

Nachhaltiger Anbau von Bioenergie: eine ökonomisch-ökologische Analyse für die Landwirtschaft in Baden-Württemberg

Prof. Dr. Enno Bahrs und Prof. Dr. Drs. h.c. Jürgen Zeddies, Institut und Fachgebiet für Landwirtschaftliche Betriebslehre (Hrsg.), Agrarökonomische Forschung – Agricultural Economic Research, Forschungsbericht 14/2012.

ISSN 1862-4235

© 2012 Prof. Dr. Enno Bahrs und Prof. Dr. Drs. h.c. Jürgen Zeddies  
Institut und Fachgebiet für Landwirtschaftliche Betriebslehre  
Ehemaliges Fachgebiet: Analyse, Planung und Organisation  
der landwirtschaftlichen Produktion.  
Universität Hohenheim, 70593 Stuttgart, Deutschland.  
E-Mail: i410b@uni-hohenheim.de

All rights reserved.

Printed in Germany.

Druck: F. u. T. Müllerbader GmbH  
Forststr. 18, 70794 Filderstadt, Germany

Die Forschungsberichte dieser Serie sollen dazu beitragen, die Diskussion zwischen Forschern, Praktikern und politischen Entscheidungsträgern anzuregen. Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine Dissertation, die am Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre der Universität Hohenheim angefertigt wurde. Prof. Dr. Jürgen Zeddies, Prof. Dr.-Ing. Giselher Kaule und Prof. Dr. Iris Lewandowski haben diese wissenschaftliche Arbeit begutachtet.



Aus dem Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre  
der Universität Hohenheim

Fachgebiet: Landwirtschaftliche Betriebslehre

Prof. Dr. Drs. h.c. Jürgen Zeddies

**Nachhaltiger Anbau von Bioenergie –  
eine ökonomisch-ökologische Analyse für die Landwirtschaft  
in Baden-Württemberg**

Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors  
der Agrarwissenschaften

vorgelegt

der Fakultät Agrarwissenschaften  
der Universität Hohenheim

von

Angelika Konold  
aus Bad Segeberg

2011

Die vorliegende Arbeit wurde am 14. Dezember 2011 von der Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim als „Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften“ angenommen.

Tag der mündlichen Prüfung: 24. April 2012

1. Prodekan: Prof. Dr. rer. nat. Andreas Fangmeier

1. Prüfer, Berichterstatter: Prof. Dr. Drs. h.c. Jürgen Zeddies

2. Prüfer, Mitberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Giselher Kaule

Weitere Prüferin: Prof. Dr. agr. Iris Lewandowski

## **Danksagung**

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Jürgen Zeddies danke ich an dieser Stelle ganz herzlich für die Überlassung des Themas, das entgegengebrachte Vertrauen und die fachliche Begleitung. Bei Herrn Prof. Giselher Kaule bedanke ich mich für die Übernahme des Koreferats und bei Frau Prof. Iris Lewandowski für die Funktion der Drittprüferin.

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen von zwei interdisziplinären Forschungsvorhaben, die durch das Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg durch das Förderprogramm BWPLUS finanziert wurden, angefertigt. Das Projekt „Nachwachsende Energieträger und Biodiversität: naturschutzbezogene und ökonomische Entwicklung und Bewertung von Anbauszenarien (NawEn-Nat)“ wurde gemeinsam mit dem Institut für Landschaftsplanung und Ökologie (ILPÖ) der Universität Stuttgart bearbeitet, das Projekt „Abschätzung der Produktionspotenziale für den Anbau von Energiepflanzen zur CO<sub>2</sub>-Bindung in Baden-Württemberg und deren ökologische und ökonomische Bewertung“ gemeinsam mit dem Institut für Bodenkunde und Standortlehre (IBS) der Universität Hohenheim. Allen Projektkollegen möchte ich für die gute Zusammenarbeit sowie die anregenden und interessanten Diskussionen danken. Mein besonderer Dank gilt dabei Frau Dr. Elisabeth Angenendt. Bei ihr möchte ich mich für die stets unkomplizierte und freundschaftliche Zusammenarbeit, die kritische Auseinandersetzung mit den einzelnen Fragestellungen und die unermüdliche Unterstützung bei der Weiterentwicklung des Modells bedanken. Meine große Wertschätzung gilt ihr auch für die anschließende kritische Durchsicht meiner Dissertation und die Verbesserungsvorschläge.

Für die Zusammenarbeit bei der Recherche und Aufbereitung von Basisdaten für die Modellierung bin ich Thomas Kolditz und Sebastian Gollnow zu großem Dank verpflichtet. Des Weiteren danke ich allen Mitarbeitern des Fachgebietes für die interessanten Gespräche und anregenden Diskussionen.

Mein herzlicher Dank gilt Mareike Reinhardt und Sebastian Schürlein, für die stets hilfreiche und verständnisvolle Unterstützung und das große Interesse an meiner Arbeit.

Von ganzem Herzen danke ich meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, die mir das Studium ermöglicht haben und mich auch während der Promotion immer unterstützen und motiviert haben.

Feuchtwangen, im Juli 2012

Angelika Konold



## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Verzeichnis der Abbildungen .....</b>	<b>IV</b>
<b>Verzeichnis der Tabellen .....</b>	<b>V</b>
<b>Anhangsverzeichnis.....</b>	<b>IX</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>X</b>
<b>1 Einführung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung .....	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise .....	3
<b>2 Nachhaltiger Anbau von Energiepflanzen.....</b>	<b>5</b>
2.1 Klimaschutz durch regenerative Energien.....	5
2.1.1 Rahmenbedingungen für den Klimaschutz und die Bereitstellung regenerativer Energien.....	6
2.1.2 Anbauentwicklung der Kulturen und ihre Verwertungspfade zur Energiebereitstellung .....	9
2.2 Biodiversität .....	11
2.2.1 Auswirkungen der Landwirtschaft auf die Biodiversität unter besonderer Betrachtung des Energiepflanzenanbaus .....	12
2.2.2 Politische Rahmenbedingungen zum Schutz der Biodiversität .....	15
2.2.3 Maßnahmen zum Schutz der Biodiversität, insbesondere bei der Energiepflanzenerzeugung .....	18
<b>3 Analyseansätze für die Bewertung landwirtschaftlicher Systeme.....</b>	<b>22</b>
3.1 ProLand .....	23
3.2 MODAM .....	24
3.3 ACRE.....	25
3.4 Modellverbund EUruralis.....	26
3.5 Projekt SENSOR.....	29
3.6 Projekt SEAMLESS.....	32
<b>4 Beschreibung des Modells EFEM .....</b>	<b>37</b>
4.1 Die Untersuchungsregion Baden-Württemberg .....	37

---

4.2	Das ökonomisch-ökologische Regionalmodell.....	41
4.2.1	Betriebsmodelle und die Hochrechnung .....	43
4.2.2	Das Produktionsmodul.....	46
4.2.2.1	<i>Bezugs- und Absatzkapazitäten.....</i>	<i>46</i>
4.2.2.2	<i>Produktionsverfahren.....</i>	<i>48</i>
4.2.3	N-Ertragsmodell und N-Kreislaufmodell.....	57
4.2.4	Treibhausgasemissionen.....	58
4.2.5	Integrierte Naturschutzmaßnahmen für die Landnutzung.....	63
<b>5</b>	<b>Szenarienannahmen .....</b>	<b>68</b>
5.1	Agrarpolitische Rahmenbedingungen.....	68
5.2	Business-as-usual 2015.....	69
5.3	Biomasseszenarien.....	72
5.4	Naturschutzauflagen.....	74
5.5	Sensitivitätsanalysen .....	77
5.6	Zusammenfassende Übersicht .....	79
<b>6</b>	<b>Analyse der berechneten Referenzsituation und deren Projektion auf das Jahr 2015 .....</b>	<b>81</b>
6.1	Die Referenzsituation 2003.....	81
6.2	Vergleich der Referenz_2003 und des Szenarios BAU_2015 .....	83
6.2.1	Anbaustruktur und Tierproduktion.....	83
6.2.2	Ökonomische Kennzahlen.....	89
6.2.3	Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen.....	92
<b>7</b>	<b>Analyse der modellierten Szenarien.....</b>	<b>94</b>
7.1	Die Auswirkungen verbesserter Naturschutzmaßnahmen im Szenario Business-as-usual 2015.....	94
7.1.1	Anbaustruktur und Tierproduktion.....	94
7.1.2	Bioenergieerzeugung.....	100
7.1.3	Ökonomische Kennzahlen.....	101
7.1.4	Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen.....	102
7.2	Szenarien mit einer Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus und die Auswirkungen verbesserter Naturschutzmaßnahmen.....	104
7.2.1	Anbau einjähriger Energiepflanzen auf maximal 30% der Landnutzungsfläche.....	104
7.2.1.1	<i>Anbaustruktur und Tierproduktion.....</i>	<i>105</i>

---

7.2.1.2	<i>Bioenergieerzeugung</i> .....	114
7.2.1.3	<i>Ökonomische Kennzahlen</i> .....	116
7.2.1.4	<i>Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen</i> .....	118
7.2.2	Anbau einjähriger Energiepflanzen auf bis zu 100% der Landnutzungsfläche.....	123
7.2.2.1	<i>Anbaustruktur und Tierproduktion</i> .....	123
7.2.2.2	<i>Bioenergieerzeugung</i> .....	130
7.2.2.3	<i>Ökonomische Kennzahlen</i> .....	132
7.2.2.4	<i>Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen</i> .....	134
7.2.3	Anbau ein- und mehrjähriger Energiepflanzen auf bis zu 100% der Landnutzungsfläche.....	139
7.2.3.1	<i>Anbaustruktur und Tierproduktion</i> .....	140
7.2.3.2	<i>Bioenergieerzeugung</i> .....	148
7.2.3.3	<i>Ökonomische Kennzahlen</i> .....	152
7.2.3.4	<i>Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen</i> .....	155
<b>8</b>	<b>Auswertung der Sensitivitätsanalysen</b> .....	<b>161</b>
8.1	Auswirkungen verschiedener Preisannahmen auf die Landnutzung.....	161
8.2	Auswirkungen unterschiedlicher Flächenanteile für den Energiepflanzenanbau auf die Landnutzung.....	167
<b>9</b>	<b>Diskussion und Schlussfolgerungen</b> .....	<b>171</b>
9.1	Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der modellierten Szenarioergebnisse .....	171
9.2	Beurteilung der Auswirkungen verbesserter Naturschutzrestriktionen .....	186
9.3	Beurteilung und mögliche Weiterentwicklung des verwendeten Modellansatzes .....	191
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung / Summary</b> .....	<b>194</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>204</b>
	<b>Anhang</b> .....	<b>218</b>

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Anteile erneuerbarer Energien an der Energieversorgung in Deutschland .....	8
Abbildung 2: Verwertungspfade der wichtigsten Kulturen .....	10
Abbildung 3: Umwelt und naturverträgliche Maßnahmen zur Erhöhung der biologischen Vielfalt auf landwirtschaftlich genutzten Flächen .....	19
Abbildung 4: Einteilung Baden-Württembergs in Vergleichsgebietsgruppen .....	39
Abbildung 5: Nutzung der landwirtschaftlichen Fläche in den Vergleichsgebietsgruppen im Jahr 2003 (in 1000ha) .....	40
Abbildung 6: Großvieheinheiten pro Hektar in den Vergleichsgebietsgruppen im Jahr 2003 .....	41
Abbildung 7: Modellaufbau von EFEM .....	43
Abbildung 8: In EFEM berücksichtigte Quellen landwirtschaftlich bedingter Treibhausgasemissionen .....	59
Abbildung 9: Überblick über die untersuchten Modellszenarien .....	80
Abbildung 10: Grünlandnutzung in der Referenz_2003 und dem Szenario BAU_2015 in Baden-Württemberg .....	87
Abbildung 11: Grünlandnutzung in der Referenz_2003 und in dem Szenario BAU_2015 in VGG_1 und VGG_5 .....	89
Abbildung 12: Grünlandnutzung in den Szenarien BAU_2015, BAU_Nat und BAU_NatXL in VGG_5 .....	99
Abbildung 13: Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 1, BioE 1_Nat und BioE 1 NatXL im Vergleich zum Szenario BAU_2015 in Baden-Württemberg .....	109
Abbildung 14: Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 1, BioE 1_Nat und BioE 1_NatXL im Vergleich zum Szenario BAU_2015 in VGG_5 .....	112
Abbildung 15: Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 2 und BioE 2_Nat im Vergleich zum Szenario BAU_2015 in Baden-Württemberg .....	126
Abbildung 16: Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 2 und BioE 2_Nat im Vergleich zum Szenario BAU_2015 in VGG_5 .....	130
Abbildung 17: Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 3, BioE 3_Nat und BioE 3 NatXL im Vergleich zum Szenario BAU_2015 in Baden-Württemberg .....	144
Abbildung 18: Energiepflanzenanbau und Energieproduktion in den einzelnen Szenarien, dargestellt für Baden-Württemberg .....	180

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (ha) .....	10
Tabelle 2:	Chancen, Risiken und Probleme des Energiepflanzenanbaus .....	21
Tabelle 3:	Natürliche Bedingungen der Vergleichsgebietsgruppen (VGG) .....	38
Tabelle 4:	Kapazitäten der angepassten Betriebe in den einzelnen Vergleichsgebietsgruppen.....	45
Tabelle 5:	Durchschnittliche Erzeugerpreise für das Referenzjahr 2003 .....	47
Tabelle 6:	Durchschnittliche Betriebsmittelpreise für das Referenzjahr 2003 ....	48
Tabelle 7:	maximale Fruchtfolgeanteile in den Vergleichsgebietsgruppen für das Referenzjahr 2003.....	49
Tabelle 8:	Basiserträge der einzelnen Ackerbaukulturen im Referenzjahr 2003.....	50
Tabelle 9:	Basiserträge für die verschiedenen Nutzungsformen des Grünlandes in den einzelnen Vergleichsgebietsgruppen (in Form von Nettoerträgen) .....	51
Tabelle 10:	In EFEM integrierte Energiepflanzen und deren Verwertungspfade .	53
Tabelle 11:	Erträge und Energieerträge der in EFEM integrierten Energiepflanzen .....	53
Tabelle 12:	Vergleich der Bioenergieträger Hackschnitzel, Miscanthus, Stroh, Biogas, RME und Ethanol hinsichtlich der Klimafreundlichkeit.....	55
Tabelle 13:	Haltungs- und Entmistungsverfahren für die einzelnen Tierarten.....	57
Tabelle 14:	Lagerungs- und Ausbringungsverfahren von Wirtschaftsdünger.....	57
Tabelle 15:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren des vorgelagerten Bereichs .....	60
Tabelle 16:	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren der verwendeten Energieträger.....	60
Tabelle 17:	Integrierte Faktoren zur Bestimmung der Lachgasemissionen .....	61
Tabelle 18:	Integrierte Faktoren zur Bestimmung der verdauungsbedingten Methanemissionen.....	61
Tabelle 19:	Integrierte Faktoren zur Bestimmung der Methanemissionen bei der Lagerung tierischer Exkrememente .....	62
Tabelle 20:	Übersicht der Zielarten für die Ableitung von Maßnahmen und Flächenforderungen.....	63
Tabelle 21:	Übersicht über die in EFEM integrierten Naturschutzmaßnahmen im Acker- und Grünland .....	64
Tabelle 22:	MEKA-Punkte, die den Naturschutzmaßnahmen in EFEM zugeordnet sind.....	66
Tabelle 23:	Geeignete Anbauflächen für mehrjährige Kulturen .....	67
Tabelle 24:	Erzeuger- und Betriebsmittelpreise für die Jahre 2003 und 2015 in EFEM .....	71
Tabelle 25:	Prognostizierte Erträge der wichtigsten Kulturen für das Jahr 2015..	72

---

Tabelle 26: Übersicht über die Annahmen für die Biomasseszenarien .....	73
Tabelle 27: Geeignete Anteile der Ackerfläche für die mehrjährigen Kulturen in den Biomasseszenarien.....	74
Tabelle 28: Im Modell berücksichtigte Naturschutzannahmen.....	76
Tabelle 29: Geeignete Anteile der Ackerfläche für die mehrjährigen Kulturen in den Naturschutzszenarien .....	77
Tabelle 30: Übersicht über die Annahmen für die Sensitivitätsanalysen basierend auf dem Szenario BioE 3.....	79
Tabelle 31: Vergleich der Modellergebnisse für die Referenz_2003 hinsichtlich der Flächennutzung und Tierhaltung mit den statistischen Werten für das Jahr 2003 .....	82
Tabelle 32: Vergleich der Anbaustrukturen der Referenz_2003 und des Szenarios BAU_2015.....	86
Tabelle 33: Energiepflanzenanbau und Energieproduktion in der Referenz_2003 und dem Szenario BAU_2015 .....	87
Tabelle 34: Deckungsbeiträge und MEKA-Förderung in der Referenz_2003 und dem Szenario BAU_2015.....	91
Tabelle 35: Treibhausgasemissionen in der Referenz_2003 und dem Szenario BAU_2015.....	93
Tabelle 36: Vergleich der Anbaustrukturen des Szenarios BAU_2015 mit den Szenarien BAU_Nat und BAU_NatXL für Baden-Württemberg .....	96
Tabelle 37: Vergleich der Anbaustrukturen des Szenarios BAU_2015 mit den Szenarien BAU_Nat und BAU_NatXL für VGG_1 und VGG_5.....	97
Tabelle 38: Energiepflanzenanbau in Baden-Württemberg in den Szenarien BAU_2015, BAU_Nat und BAU_NatXL .....	100
Tabelle 39: Energiepflanzenanbau in VGG_1 und VGG_5 in den Szenarien BAU_2015, BAU_Nat und BAU_NatXL .....	101
Tabelle 40: Deckungsbeiträge und MEKA-Förderung in den Szenarien BAU_2015, BAU_Nat und BAU_NatXL in Baden-Württemberg.....	101
Tabelle 41: Deckungsbeiträge und MEKA-Förderung in den Szenarien BAU_2015, BAU_Nat und BAU_NatXL in VGG_1 und VGG_5.....	102
Tabelle 42: Treibhausgasemissionen in den Szenarien BAU_2015, BAU_Nat und BAU_NatXL in Baden-Württemberg.....	103
Tabelle 43: Treibhausgasemissionen in den Szenarien BAU_2015, BAU_Nat und BAU_NatXL in VGG_1 und VGG_5.....	104
Tabelle 44: Vergleich der Anbaustrukturen des Szenarios BAU_2015 mit den Szenarien BioE 1, BioE 1_Nat und BioE 1_NatXL für Baden-Württemberg .....	108
Tabelle 45: Vergleich der Anbaustrukturen des Szenarios BAU_2015 mit den Szenarien BioE 1, BioE 1_Nat und BioE 1_NatXL für VGG_1 und VGG_5.....	113

---

Tabelle 46: Energiepflanzenanbau in Baden-Württemberg in den Szenarien BAU_2015, BioE 1, BioE 1_Nat und BioE 1_NatXL.....	115
Tabelle 47: Energiepflanzenanbau in VGG_1 und VGG_5 in den Szenarien BAU_2015, BioE 1, BioE 1_Nat und BioE 1_NatXL.....	116
Tabelle 48: Deckungsbeiträge und MEKA-Förderung in den Szenarien BioE 1, BioE 1_Nat und BioE 1_NatXL im Vergleich zum Szenario BAU_2015 in Baden-Württemberg.....	117
Tabelle 49: Deckungsbeiträge und MEKA-Förderung in den Szenarien BioE 1, BioE 1_Nat und BioE 1_NatXL im Vergleich zum Szenario BAU_2015 in VGG_1 und VGG_5 .....	118
Tabelle 50: Treibhausgasemissionen in den Szenarien BioE 1, BioE 1_Nat und BioE 1_NatXL im Vergleich zum Szenario Bau_2015 in Baden-Württemberg .....	120
Tabelle 51: Treibhausgasemissionen in den Szenarien BioE 1, BioE 1_Nat und BioE 1_NatXL im Vergleich zum Szenario Bau_2015 in VGG_1 und VGG_5.....	122
Tabelle 52: Vergleich der Anbaustrukturen des Szenarios BAU_2015 mit den Szenarien BioE 2 und BioE 2_Nat für Baden-Württemberg .....	125
Tabelle 53: Vergleich der Anbaustrukturen des Szenarios BAU_2015 mit den Szenarien BioE 2 und BioE 2_Nat für VGG_1 und VGG_5 .....	128
Tabelle 54: Energiepflanzenanbau in Baden-Württemberg in den Szenarien BioE 2 und BioE 2_Nat im Vergleich zu dem Szenario BAU_2015.	131
Tabelle 55: Energiepflanzenanbau in VGG_1 und VGG_5 in den Szenarien BioE 2 und BioE 2_Nat im Vergleich zu dem Szenario BAU_2015.	132
Tabelle 56: Deckungsbeiträge und MEKA-Förderung in den Szenarien BioE 2 und BioE 2_Nat im Vergleich zum Szenario BAU_2015 in Baden-Württemberg .....	133
Tabelle 57: Deckungsbeiträge und MEKA-Förderung in den Szenarien BioE 2 und BioE 2_Nat im Vergleich zum Szenario BAU_2015 in VGG_1 und VGG_5.....	134
Tabelle 58: Treibhausgasemissionen in den Szenarien BioE 2 und BioE 2_Nat im Vergleich zum Szenario Bau_2015 in Baden-Württemberg .....	135
Tabelle 59: Treibhausgasemissionen in den Szenarien BioE 2 und BioE 2_Nat im Vergleich zum Szenario Bau_2015 in VGG_1 und VGG_5.....	138
Tabelle 60: Vergleich der Anbaustrukturen des Szenarios BAU_2015 mit den Szenarien BioE 3, BioE 3_Nat und BioE 3_NatXL für Baden-Württemberg .....	142
Tabelle 61: Nutzung der möglichen Anbaufläche für mehrjährige Kulturen in Baden-Württemberg.....	143

Tabelle 62: Vergleich der Anbaustrukturen des Szenarios BAU_2015 mit den Szenarien BioE 3, BioE 3_Nat und BioE 3_NatXL für VGG_1 und VGG_5.....	147
Tabelle 63: Nutzung der möglichen Anbaufläche für mehrjährige Kulturen in VGG_1 und VGG_5.....	148
Tabelle 64: Energiepflanzenanbau in Baden-Württemberg in den Szenarien BAU_2015, BioE 3, BioE 3_Nat und BioE 3_NatXL.....	150
Tabelle 65: Energiepflanzenanbau in VGG_1 und VGG_5 in den Szenarien BAU_2015, BioE 3, BioE 3_Nat und BioE 3_NatXL.....	152
Tabelle 66: Energiepflanzenanbau in Baden-Württemberg in den Szenarien BAU_2015, BioE 3, BioE 3_Nat und BioE 3_NatXL.....	153
Tabelle 67: Energiepflanzenanbau in VGG_1 und VGG_5 in den Szenarien BAU_2015, BioE 3, BioE 3_Nat und BioE 3_NatXL.....	154
Tabelle 68: Treibhausgasemissionen in den Szenarien BioE 3, BioE 3_Nat und BioE 3_NatXL im Vergleich zum Szenario Bau_2015 in Baden-Württemberg .....	157
Tabelle 69: Treibhausgasemissionen in den Szenarien BioE 3, BioE 3_Nat und BioE 3_NatXL im Vergleich zum Szenario Bau_2015 in VGG_1 und VGG_5.....	160
Tabelle 70: Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen für die Preisannahmen in Baden-Württemberg.....	166
Tabelle 71: Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen für die Anbauumfänge von Energiepflanzen in Baden-Württemberg .....	170
Tabelle 72: Übersicht über die Szenarienannahmen.....	173
Tabelle 73: Zusammenfassung der Szenarioergebnisse für Baden-Württemberg .....	179

---

## Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Grünlandnutzung in den Szenarien BAU_2015, BAU_Nat und BAU_NatXL in Baden-Württemberg.....	218
Anhang 2: Grünlandnutzung in den Szenarien BAU_2015, BAU_Nat und BAU_NatXL in VGG_1 .....	218
Anhang 3: Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 1, BioE 1_Nat und BioE 1 NatXL im Vergleich zum Szenario BAU_2015 in VGG_1 ...	219
Anhang 4: Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 2 und BioE 2_Nat im Vergleich zum Szenario BAU_2015 in VGG_1 .....	219
Anhang 5: Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 3, BioE 3_Nat und BioE 3 NatXL im Vergleich zum Szenario BAU_2015 in VGG_1 ...	220
Anhang 6: Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 3, BioE 3_Nat und BioE 3 NatXL im Vergleich zum Szenario BAU_2015 in VGG_5 ...	220

## Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
ACRE	Agro-economic production model on regional level
APES	Agricultural production and externalities simulator
CAPRI	Common Agricultural Policy Regional Impact Analysis Model
CH <sub>4</sub>	Methan
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CO <sub>2</sub> e	Kohlendioxidäquivalent
dt	Dezitonne
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFISCIN	European Forest Information Scenario Model
ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
EU	Europäische Union
EXPAMOD	Extrapolation Model
FM	Frischmasse
FoPIA	Framework for Participatory Impact Assessment
FSSIM	Farm system simulator
GTAP	Global Trade Analysis Project
GWP	Global Warming Potential
ha	Hektar
ILPÖ	Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart
IMAGE	Integrated Model to Assess the Global Environment
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
KUP	Kurzumtriebsplantagen (Pappel, Weide)
kW	Kilowattstunde
LEITAP	globales, allgemeines Gleichgewichtsmodell
LP	lineare Programmierung
MEKA	Markt-Entlastungs- und Kulturlandschafts-Ausgleichsprogramm
Mio.	Millionen

---

MLR	Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg
MODAM	Multi-Objective Decision support system for Agro-ecosystem Management
N	Stickstoff
N <sub>2</sub> O	Lachgas
NawEnNat	Projekt: „Nachwachsende Energieträger und Biodiversität: naturschutzbezogene und ökonomische Entwicklung und Bewertung von Anbauszenarien“
NEMESIS	New Econometric Model for Environment and Strategies Implementation for Sustainable Development
NfE	N-freie Extraktstoffe
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
PICA	Procedure for Institutional Compatibility Assessment
PJ	Petajoule
PMP	Positive Mathematische Programmierung
RME	Rapsmethylester
SEAMLESS	System for Environmental and Agricultural Modelling; Linking European Science and Society
SEAMLESS-IF	SEAMLESS Integrated Framework
SIAT	Sustainability Impact Assessment Tool
t	Tonne
TEEB	The Economics of Ecosystems and Biodiversity
THG	Treibhausgase
TM	Trockenmasse
TWh	Terawattstunden
VG	Vergleichsgebiet
VGG	Vergleichsgebietsgruppe
vTI	Johann Heinrich von Thünen-Institut
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
ZMP	Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle



# 1 Einführung

## 1.1 Problemstellung

Steigende Energiepreise, die zunehmende Verknappung fossiler Energieträger und der weltweite Klimawandel nehmen in der internationalen und nationalen Klimaschutzpolitik eine wichtige Stellung ein. Vor dem Hintergrund eines Anstieges der durchschnittlichen Temperaturen, der in Europa in den letzten hundert Jahren bei 0,9°C liegt, wird die Nutzung erneuerbarer Energieträger und ihr Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen zunehmend wichtiger (UM, 2005; AEE 2011; BMU, 2010b). Deutschland verpflichtete sich bereits 1997 im Rahmen des Kyoto-protokolls seine Emissionen bis 2020 gegenüber 1990 um 40% zu reduzieren (BMU, 2010d; BMU, 2007; UM, 2009).

Laut Schätzungen des IPCC verursacht die Landwirtschaft 10 - 12% der anthropogenen Treibhausgasemissionen. Gleichzeitig leistet sie aber mit der Bioenergieerzeugung auch einen wichtigen Beitrag zur Einsparung von Treibhausgasen (Plieninger und Schleyer, 2010). Für den Ausbau der erneuerbaren Energien wurden mehrere Ziele festgelegt, um die nationalen und internationalen Klimaschutzziele zu erreichen und die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen zu reduzieren. Für das Jahr 2020 strebt die Bundesregierung an 30% des Stroms, 14% der Wärme und 12% des Kraftstoffverbrauchs aus erneuerbaren Energien bereitzustellen. Bereits jetzt wird im Bereich der Wärme- und der Kraftstoffbereitstellung aus erneuerbaren Energien der Großteil aus Bioenergie produziert (WM, 2010).

Wichtig ist, dass der Ausbau naturverträglich erfolgt. Für eine Vielzahl von Tier- und Pflanzenarten bietet die Agrarlandschaft einen wichtigen Lebensraum. Um die landwirtschaftlichen Flächen als wertvolle Lebensräume zu erhalten, ist eine nachhaltige und umweltverträgliche Bewirtschaftung unerlässlich. In den letzten 50 Jahren haben veränderte Bewirtschaftungsformen zu einer Reduzierung der biologischen Vielfalt auf landwirtschaftlichen Nutzflächen geführt, da aufgrund der Intensivierung vieler landwirtschaftlicher Flächen Arten, die an eine extensive Bewirtschaftung angepasst sind, verdrängt wurden (BMU, 2010a). Durch die Option des Energiepflanzenbaus wurde eine Nutzungskonkurrenz zwischen der Energiepflanzen- und der Futtermittel- bzw. Nahrungsmittelproduktion ausgelöst und die Konkurrenz

zwischen der Landwirtschaft insgesamt und dem Naturschutz verstärkt (Glemnitz et al., 2008). Klima- und Naturschutzziele schließen sich beim Anbau von Energiepflanzen jedoch nicht zwingend aus. Im Gegenteil, der Energiepflanzenanbau bietet aufgrund der geringeren Qualitätsansprüche die Möglichkeit besonders umweltverträglich zu produzieren (BfN, 2010d). Das Spannungsfeld zwischen Bioenergieerzeugung und Naturschutz wird auch in der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufgezeigt und daraus folgende Vision formuliert: *„Rohstoffe und Energieträger werden so sparsam und naturschonend wie möglich gewonnen und eingesetzt, damit sie auch für zukünftige Generationen noch zur Verfügung stehen. Gewinnung und Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen und regenerativen Energien erfolgen im Einklang mit der Erhaltung der biologischen Vielfalt.“* (BMU, 2007, S. 49).

Es hat sich gezeigt, dass sich für die Landwirtschaft durch den Anbau von Energiepflanzen und deren Verwertung eine neue Einnahmequelle erschlossen hat, was auch durchaus positiv zu beurteilen ist. Hingegen zeigen sich im Bereich des Natur- und Ressourcenschutz durch die teilweise sehr intensive Biomasseerzeugung negative Auswirkungen. Die Analyse der Konflikte und Synergieeffekte, die sich infolge des verstärkten Energiepflanzenanbaus ergeben, bildeten den Ausgangspunkt für zwei interdisziplinäre Forschungsvorhaben, die durch das Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg im Rahmen des Förderprogramms BWPLUS finanziert wurden. Das Projekt „Nachwachsende Energieträger und Biodiversität: naturschutzbezogene und ökonomische Entwicklung und Bewertung von Anbauszenarien (NawEnNat)“ wurde gemeinsam mit dem Institut für Landschaftsplanung und Ökologie (ILPÖ) der Universität Stuttgart bearbeitet, das Projekt „Abschätzung der Produktionspotenziale für den Anbau von Energiepflanzen zur CO<sub>2</sub>-Bindung in Baden-Württemberg und deren ökologische und ökonomische Bewertung“ gemeinsam mit dem Institut für Bodenkunde und Standortslehre (IBS) der Universität Hohenheim. Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen dieser beiden Projekte am Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre der Universität Hohenheim (ILB) erstellt und soll einen Beitrag zur ökonomisch-ökologischen Analyse des nachhaltigen Energiepflanzenanbaus in Baden-Württemberg leisten.

## 1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Anbau von Energiepflanzen in Baden-Württemberg vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeit mithilfe eines ökonomisch-ökologischen Regionalmodells zu bewerten. Zum einen sollen die Produktionspotenziale für den Anbau von Energiepflanzen zur CO<sub>2</sub>-Bindung in Baden-Württemberg abgeschätzt werden. Zum anderen steht die Frage im Fokus, welche Wechselwirkungen sich durch die Einführung verbesserter Naturschutzmaßnahmen mit der Landbewirtschaftung auf regionaler Ebene ergeben. Neben der Veränderung der Anbaustruktur werden auch die ausgelösten Einkommenseffekte, die durch die Landwirtschaft verursachten Treibhausgasemissionen und der potenzielle Beitrag zur Energieversorgung betrachtet.

Die Herausforderungen rund um das Spannungsfeld Klimawandel, nachwachsende Energieträger und Biodiversität wird im ersten Teil der vorliegenden Arbeit anhand einer Literaturstudie verdeutlicht. Daran anschließend werden aus der Vielzahl bereits vorhandener Modellansätze zur Beurteilung der Entwicklung des Agrarsektors drei landwirtschaftliche Simulationsmodelle sowie drei Modellverbunde vorgestellt, die teilweise eine ähnliche Fragestellung analysieren, wie die vorliegende Arbeit.

In Kapitel 4 wird die Weiterentwicklung des bestehenden ökonomisch-ökologischen Regionalmodells EFEM (Economic Farm Emission Model) beschrieben. Dieses wird aktualisiert, um weitere Verfahren der Energiepflanzenproduktion erweitert und die Möglichkeit zur obligaten Einhaltung verschiedener Naturschutzmaßnahmen implementiert. Anschließend werden die Szenarien mit ihren unterschiedlichen Ausprägungen hinsichtlich des Energiepflanzenanbaus und der Naturschutzvorgaben vorgestellt. Für die Modellierung wird die Einteilung Baden-Württembergs in Vergleichsgebietsgruppen genutzt, was eine sehr regionalspezifische Aussage ermöglicht. Die Ergebnisse werden auf einzelbetrieblicher Ebene berechnet und anschließend auf Vergleichsgebietsgruppen- und Landesebene projiziert. Um die Auswirkungen der unterschiedlichen Szenarioannahmen beurteilen zu können, wird zunächst die Referenzsituation des Jahres 2003 modelliert und diese anschließend auf das Jahr 2015 projiziert. Diese bildet die Basis- und Vergleichssituation für die weiteren Szenarien. In den anschließenden Szenariorechnungen wird analysiert, wie sich die Option den Energiepflanzenanbau weiter auszudehnen auswirkt und welche Wechselwirkungen durch die Implementierung verbesserter Naturschutz-

restriktionen entstehen. Daran anschließend werden Sensitivitätsanalysen durchgeführt, um zu untersuchen, inwiefern sich besonders einflussreiche Parameter auf die Stabilität der Modellergebnisse auswirken.

In der abschließenden Diskussion werden die Ergebnisse der Modellierung zusammengefasst und beurteilt. Dabei wird insbesondere auch auf die Auswirkungen der verbesserten Naturschutzmaßnahmen eingegangen. Der verwendete Modellansatz wird beurteilt und Möglichkeiten zur Weiterentwicklung aufgezeigt. Den Abschluss bildet die Zusammenfassung, die eine Übersicht über die vorliegende Arbeit gibt.

Insgesamt soll diese Arbeit politische Entscheidungsträger dabei unterstützen, geeignete Strategien hinsichtlich des Klima- und Naturschutzes abzuwägen und mögliche erwünschte wie unerwünschte Entwicklungen und Folgen zu eruieren.

## 2 Nachhaltiger Anbau von Energiepflanzen

Neben der Begrenzung des Klimawandels stellt der Schutz der Biodiversität gegenwärtig eine der wichtigsten Herausforderungen für die Menschheit dar. Der Anbau nachwachsender Energieträger leistet bereits einen wichtigen Beitrag zur Reduktion der Treibhausgase. Während die Ziele im Bereich Klimaschutz erreichbar scheinen, weist die Biodiversität eine rückläufige Entwicklung auf und muss stärker in den Focus rücken. Immer mehr natürliche Lebensräume werden durch Landnutzungsänderungen zerstört und zersplittert. Dies führt zu rückläufigen Ökosystemleistungen und gefährdet damit unser wirtschaftliches und gesellschaftliches Wohl. Ökosystemleistungen sind „Dienstleistungen, die von der Natur (unentgeltlich) erbracht werden und vom Menschen genutzt werden können, um sein Wohlergehen zu gewährleisten“ (Burger-Scheidlin, 2010; BMU, 2010a). Die Landwirtschaft ist besonders von intakten Ökosystemen und deren Leistungen abhängig. In den letzten Jahrzehnten wurden einige Ökosysteme durch eine intensivere Landbewirtschaftung jedoch eingeschränkt oder geschädigt (BMU, 2010a; Kantelhardt und Hübner, 2010). Hier bietet der Energiepflanzenanbau aufgrund der potenziell geringeren Qualitätsansprüche neue Verbesserungsmöglichkeiten. Gleichzeitig können aber auch Konkurrenzeffekte mit der Biodiversität auftreten. Diese Auswirkungen sollen im Folgenden ebenso ausgeführt werden, wie die Rahmenbedingungen unter denen der Klimaschutz und der Energiepflanzenanbau sowie der Schutz der Biodiversität stattfinden.

### 2.1 Klimaschutz durch regenerative Energien

Um nationale sowie internationale Klimaschutzziele zu erreichen und die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen zu reduzieren, wird sowohl auf Bundes- als auch auf Landesebene der Anbau nachwachsender Energieträger forciert. Daher sollen zunächst die Rahmenbedingungen dargestellt werden, unter denen die Bereitstellung der regenerativen Energien erfolgt. Daran anschließend wird ausgeführt, wie sich der Energiepflanzenanbau in den letzten Jahren entwickelt hat und auf welche Art und Weise die Pflanzen zur Energiebereitstellung genutzt werden können.

### 2.1.1 Rahmenbedingungen für den Klimaschutz und die Bereitstellung regenerativer Energien

Bereits in den 70er Jahren wurde erkannt, dass die zunehmende Industrialisierung durch den Ausstoß von Treibhausgasen eine Änderung des Klimas verursacht. Vor diesem Hintergrund sah die Klimarahmenkonvention, die bereits 1992 auf dem Weltgipfel in Rio de Janeiro verabschiedet wurde, eine globale Stabilisierung der Treibhausgasemissionen auf den Wert von 1990 vor. Darauf aufbauend legten die Industriestaaten 1997 im sogenannten Kyotoprotokoll Ziele für die Reduktion der Treibhausgasemissionen für den Zeitraum 2008 - 2012 gegenüber dem Referenzjahr 1990 fest. Alle teilnehmenden Staaten verpflichteten sich, ihre Emissionen um 5% zu reduzieren, die Europäische Union strebt mit 8% ein etwas höheres Ziel an. Deutlich ehrgeiziger ist das Ziel der Bundesrepublik, die zunächst eine Reduktion von 21% anstrebte (dieses Ziel wurde bereits 2008 mit 23,3% übererfüllt) und bis 2020 sogar einen Wert von 40% (BMU, 2010d, BMU, 2007; UM, 2009). Um diese Ziele umzusetzen, hat die Bundesregierung ein integriertes Energie- und Klimaprogramm sowie eine Klimaschutzinitiative verabschiedet, deren Ziel eine Erhöhung der Energieeffizienz und ein Ausbau der erneuerbaren Energien ist. Selbst wenn es jedoch gelingt die Ziele der Emissionsminderung zu erreichen, ist die Konzentration von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre schon so hoch, dass ein Klimawandel nicht mehr abzuwenden ist (BMU, 2010d; BMU, 2007; UM, 2005; UVM und LUBW, 2010; UM, 2009). In den letzten Dekaden wurde bereits ein Anstieg der durchschnittlichen Temperaturen beobachtet. Auf globaler Ebene liegt er bei 0,7°C, in Europa sogar bei 0,9°C und in Baden-Württemberg bei über 1°C (UM, 2005; UVM und LUBW, 2010). Da eine Klimaerwärmung um mehr als 2°C laut den Ergebnissen von Klimamodellen gefährliche Auswirkungen haben könnte, müssen die globalen Emissionen bis etwa 2050 um 45 - 60% gegenüber 1990 reduziert werden. Industrienationen wie Deutschland müssen ihre Emissionen sogar um 80 - 95% reduzieren (UM, 2005; UVM und LUBW, 2010; Plieninger, Schleyer, 2010; SRU, 2011).

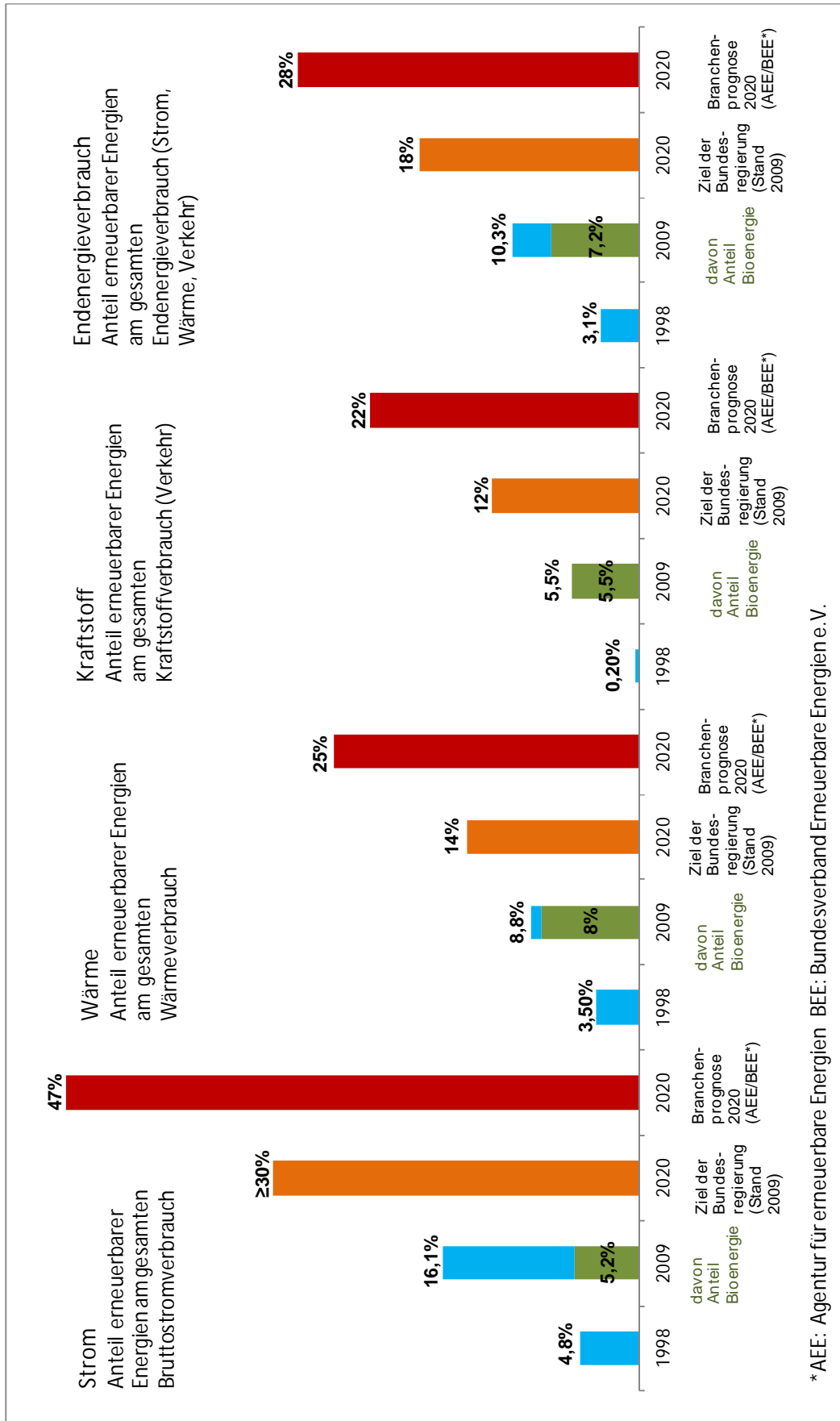
Da der Klimawandel bereits eingetreten ist, hat die Bundesregierung neben den Maßnahmen für den Klimaschutz im Jahr 2008 die „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ (DAS) beschlossen. 2011 soll gemeinsam mit den Ländern ein „Aktionsplan Anpassung“ ausgearbeitet werden (UVM und LUBW, 2010).

Verursacht wird der Klimawandel überwiegend durch anthropogene Einflüsse. 2008 lag die Produktion von energiebedingten Treibhausgasen in Deutschland bei etwa

773 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, wovon etwa 9% in Baden-Württemberg entstanden. Aufgrund der Wirtschaftskrise sanken die Emissionen im Jahr 2009 leicht. Die Einsparung durch den Einsatz erneuerbarer Energieträger betrug 2009 ca. 108 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente (BMU, 2010b; UBA, 2010a; UBA, 2010b; StaLa, 2010).

Obwohl die Landwirtschaft laut Schätzungen des IPCC 10 - 12% der anthropogenen Treibhausgasemissionen verursacht, kommt ihr eine wichtige Rolle hinsichtlich des Klimaschutzes zu, da sie neben der Produktion von Treibhausgasen auch als Senke dienen kann. Einsparpotenziale bietet neben dem prognostizierten Rückgang der Rinderhaltung und der damit einhergehenden Extensivierung des Grünlandes besonders die Erzeugung von Biogas (UM, 2005; UVM und LUBW, 2010; Plieninger und, Schleyer, 2010). Aber auch die übrigen erneuerbaren Energien können einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen leisten. Daher hat die Bundesregierung aufbauend auf den Vorgaben des Europäischen Rates Ziele für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland festgelegt. Für das Jahr 2020 strebt sie an 30% des Stroms, 14% der Wärme und 12% des Kraftstoffverbrauchs aus erneuerbaren Energien bereitzustellen (WM, 2010). Wie aus der Abbildung 1 zu entnehmen ist, liegen die Branchenprognosen über den Zielen der Bundesregierung. Daneben zeigt die Abbildung auch, dass in Deutschland vor allem im Bereich der Wärme- und der Kraftstoffbereitstellung aus erneuerbaren Energien der Großteil aus Bioenergie produziert wird. Dies trifft auch auf Baden-Württemberg zu (WM, 2010).

In Deutschland stammten 2009 etwa 242 TWh der Endenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energien. Dies entspricht 10,3% des gesamten Endenergiebedarfs der Bundesrepublik. Etwa 70% der Energiebereitstellung aus regenerativen Quellen stammt dabei aus Biomasse (BMU, 2010b; UVM und WM, 2010). Der Endenergieverbrauch in Baden-Württemberg betrug 2009 etwa 292 TWh und damit 5% weniger als 2008. Dabei stammten ebenfalls 10,3% aus erneuerbaren Energien, wobei etwa zwei Drittel aus Biomasse wie Energiepflanzen, Waldholz, Abfällen, etc. bereitgestellt wurden (UVM und WM, 2010).



Quelle: AEE 2009, verändert nach AEE 2011 und BMU, 2010b

Abbildung 1: Anteile erneuerbarer Energien an der Energieversorgung in Deutschland

Im Jahr 2006 verabschiedete das Land Baden-Württemberg zum ersten Mal einen Biomasse-Aktionsplan. 2010 wurde eine Fortschreibung erstellt. Darin wurde geprüft, ob die Ziele des ersten Aktionsplanes erreicht wurden und neue Ziele festgelegt. Abweichend von den Vorgaben der Bundesregierung hat die Landesregierung in ihrem Energiekonzept Baden-Württemberg 2020 etwas andere Ziele formuliert. So will sie, um den Primärenergieverbrauch zu senken, die Energieproduktivität um 2% erhöhen. Bei der Stromproduktion setzt sie einen Anteil von 20% aus regenerativen Energien an. Der angestrebte Wert von 16% für die Wärmebereitstellung liegt über dem Ziel der Bundesregierung. Insgesamt sollen bis 2020 mindestens 13% des Primärenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien stammen. Zu diesen Zielen soll besonders die Bioenergie beitragen. Laut den Berechnungen im Biomasseaktionsplan können etwa 130 bis 200 PJ in Baden-Württemberg aus Biomasse erzeugt werden, wobei 10 bis 20% aus Anbaubiomasse stammen können und der übrige Teil aus Rest- und Abfallstoffen. Das berechnete Potenzial der gesamten Biomasse entspräche einem Anteil von 8 bis 10% des gegenwärtigen Primärenergieverbrauchs (WM, 2010).

Unterstützt werden die Ziele des Bundes und der Länder durch das *Erneuerbare-Energien-Gesetz* (EEG), das 2000 eingeführt und zuletzt 2012 novelliert wurde. Damit war es möglich den Anbau von Energiepflanzen in kurzer Zeit stark auszuweiten (BfN, 2010a).

### **2.1.2 Anbauentwicklung der Kulturen und ihre Verwertungspfade zur Energiebereitstellung**

Energiepflanzen gehören zu den nachwachsenden Rohstoffen und dienen der Energieerzeugung in Form von Wärme, Strom und Kraftstoff. In Deutschland sind Raps, Mais und Getreide die wichtigsten Energiepflanzen (AEE, 2009). Im Jahr 2011 wurden in Deutschland auf etwa 2 Mio. ha Energiepflanzen angebaut. Dies entspricht etwa 12% der landwirtschaftlichen Nutzfläche Deutschlands (vgl. dazu Tabelle 1) (Destatis, 2010; FNR, 2010, FNR, 2011).

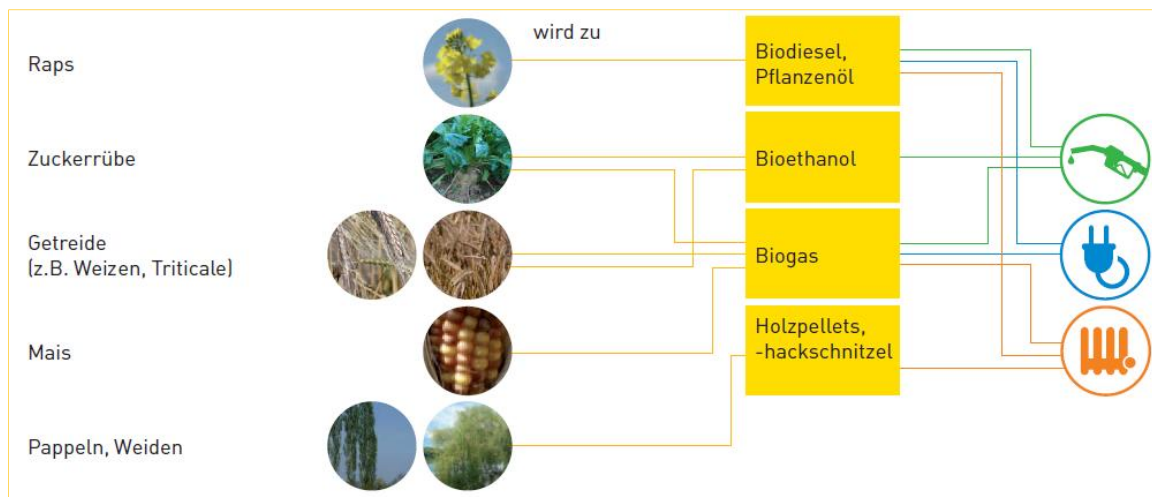
Tabelle 1: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (ha)

Pflanzen	Rohstoff	2009	2010	2011*
<b>Industriepflanzen</b>	<b>Summe Industriepflanzen</b>	<b>294.000</b>	<b>317.000</b>	<b>316.500</b>
<b>Energiepflanzen</b>	Rapsöl für Biodiesel/Pflanzenöl	942.000	940.000	910.000
	Pflanzen für Bioethanol	226.000	240.000	250.000
	Pflanzen für Biogas	530.000	650.000	800.000
	Pflanzen für Festbrennstoffe (u.a. Agrarholz, Miscanthus)	3.500	4.000	6.000
	<b>Summe Energiepflanzen</b>	<b>1.701.500</b>	<b>1.834.000</b>	<b>1.966.000</b>
<b>Gesamtfläche nachwachsende Rohstoffe</b>		<b>1.995.500</b>	<b>2.151.000</b>	<b>2.282.500</b>

\* vorläufige Schätzung

Quelle: nach FNR 2010 und FNR, 2011

Bei den Energiepflanzen kann zwischen einjährigen und mehrjährigen Kulturen unterschieden werden. Zu den einjährigen Kulturen gehören Raps und Sonnenblumen für die Biodiesel- und Pflanzenölerzeugung, Getreide und Zuckerrüben für die Produktion von Bioethanol oder Biogas und Mais für die Biogasproduktion. Der Anbau der mehrjährigen Kulturen Kurzumtriebsplantagen (KUP, z.B. Pappeln und Weiden) und Miscanthus erfolgt überwiegend zur Wärmeerzeugung (vgl. Abbildung 2) (AEE, 2010). Dauergrünland kann für die Erzeugung von Biogas eingesetzt werden.



Quelle: AEE, 2009

Abbildung 2: Verwertungspfade der wichtigsten Kulturen

Neue, an die Energieerzeugung angepasste Anbausysteme und Kulturen sind Mischfruchtbestände, Zweikultursysteme, Kurzumtriebsplantagen und Miscanthus. Unter Mischfruchtbeständen wird die gleichzeitige Kultivierung von zwei Pflanzenarten, wie z.B. Mais und Sonnenblumen, auf einer Fläche verstanden. Beim Zweikultursystem wird zunächst eine Winterkultur angelegt, die aber früher geerntet wird, wie z.B. Winterroggen, der als Ganzpflanzensilage geerntet wird. Daran anschließend wird dann eine Sommerkultur angebaut, beispielsweise Mais. Unter der Voraussetzung, dass ausreichend Wasser für beide Kulturen verfügbar ist, lässt sich so der Biomasseertrag steigern (AEE, 2010).

Als mehrjährige Energiepflanzen werden in Deutschland bisher hauptsächlich Miscanthus und Kurzumtriebsplantagen angebaut. Miscanthus ist ein ausdauerndes Gras, das bis zu 15 Jahre lang genutzt werden kann und dessen Erträge bei 80% TM 10 bis 27 t FM/ha betragen. Geerntet wird jährlich im Frühjahr vor dem neuen Austrieb (AEE, 2010; KTBL und ATB, 2006). Für die Anlage von Kurzumtriebsplantagen werden schnellwachsende Baumarten mit der Fähigkeit zum Stockausschlag verwendet. In Deutschland kommen hauptsächlich Weiden und Pappeln zum Einsatz. Die Ernte für die Hackschnitzelgewinnung erfolgt über einen Nutzungszeitraum von etwa 20 Jahren alle 2 - 4 Jahre zwischen Dezember und März. Die Erträge bei Pappeln liegen zwischen 9 und 20 t FM/ha mit einem TM-Gehalt von 70%. Bei Weiden sind die Erträge mit 6 bis 16 t FM/ha (70% TM) etwas niedriger (AEE, 2010; KTBL und ATB, 2006).

## 2.2 Biodiversität

Die Europäische Union definiert Biodiversität wie folgt: „Biodiversität ist die Vielfalt des Lebens auf der Erde. Sie beinhaltet alle Lebewesen – Pflanzen, Tiere und auch für uns unsichtbare Mikroorganismen und Bakterien sowie die Vielfalt der Erbanlagen. Die Lebewesen interagieren alle gemeinsam in einem komplexen System mit der unbelebten Umwelt und bilden so Ökosysteme“ (EU, 2008).

Bereits in den 1970er Jahren wurde von der Wissenschaft auf die starke Reduktion der Artenvielfalt hingewiesen (BMU, 2007). Im Moment gehen Schätzungen davon aus, dass es weltweit 3 - 30 Mio. Arten gibt, beschrieben sind bisher etwa 1,7 Mio. Arten, wobei die Insekten die größte Klasse ausmachen. Die gegenwärtige Aussterberate der Arten übersteigt die natürliche Rate um das 100 - 1.000 fache. Dies

wird auf anthropogene Einflüsse zurückgeführt. Laut der roten Liste der Weltnaturschutzunion (IUCN) waren 2006 weltweit mindestens 20% der Säugetiere, 12% der Vögel und 31% der Amphibien gefährdet. Daneben sind etwa 60% der Ökosysteme beschädigt. In Deutschland sind etwa 9.500 Pflanzen- und 48.000 Tierarten heimisch. Von den Farn- und Blütenpflanzen sind etwa 27% in ihrem Bestand gefährdet und von den Tierarten etwa 36%. Mit einer Gefährdungsrate von 72,5% der Lebensräume liegt in Deutschland einer der höchsten Werte Europas vor. Gründe für diese Entwicklung sind beispielsweise die Vernichtung von Lebensräumen, die Aufgabe der landwirtschaftlichen Nutzung, eine intensivere landwirtschaftliche Nutzung, Stoffeinträge in Ökosysteme oder der Klimawandel (BMU, 2007).

### **2.2.1 Auswirkungen der Landwirtschaft auf die Biodiversität unter besonderer Betrachtung des Energiepflanzenanbaus**

Da etwa die Hälfte der Landesfläche in Deutschland landwirtschaftlich genutzt wird, hat die Landwirtschaft einen besonders großen Einfluss auf die Biodiversität sowie die Ökosysteme und deren Leistungen. Nachhaltig und naturverträglich bewirtschaftete landwirtschaftliche Flächen stellen für eine Reihe von Tieren und Pflanzen einen wichtigen Lebensraum dar. Wird, wie in den vergangenen Jahrzehnten zu beobachten, die extensive Bewirtschaftung zugunsten einer intensiveren Nutzung oder einer Nutzungsaufgabe auf Grenzertragsstandorten aufgegeben, so verliert eine Vielzahl an Arten ihren Lebensraum. In den vergangenen 50 Jahren hat dies zu einer starken Reduktion der biologischen Vielfalt geführt (BMU, 2010a; Kantelhardt und Hübner, 2010).

Besondere Bedeutung kommt im Zusammenhang mit der intensiveren Bewirtschaftung der Stickstoffdüngung zu. Zu hohe Stickstoffgaben, die weder von den Pflanzen aufgenommen noch vom Boden gespeichert werden können, führen zur Belastung von Gewässern und Entstehung von Treibhausgasen. Neben den Stickstoffverbindungen aus der Pflanzenproduktion (62%) gelangen auch Einträge aus der Tierproduktion (33%) und der Luft (5%) auf die Flächen. Untersuchungen haben gezeigt, dass sich nach wie vor Nährstoffe in Gewässern anreichern und über die Luft in ursprünglich nährstoffarme Ökosysteme eingetragen werden, was für deren biologische Vielfalt eine starke Belastung ist (BMU, 2010a).

Die zu beobachtende Intensivierung sowohl im Ackerbau z.B. in Form höherer Düngegaben, früherer Erntetermine und engerer Fruchtfolgen als auch im Grünland

z.B. durch eine Erhöhung der Schnitzzahl, stellt für die Arten der Agrarlandschaft eine Einschränkung ihrer Lebensräume dar (LfU, 2010c). Daneben hat auch die Aussetzung der obligatorischen Stilllegungsverpflichtung seit dem Jahr 2008 zu einem deutlichen Rückgang der Bracheflächen und damit einem Verlust wertvoller Lebensräume geführt (BfN, 2010a). Diese Entwicklungen wurden durch die Verabschiedung des EEGs, das die Erzeugung von Energie aus nachwachsenden Energieträgern fördert, noch verstärkt (EU, 2008; Europäische Kommission, 2006; BMU, 2007).

Durch den Ausbau der Bioenergienutzung finden immer mehr an die Energieerzeugung angepasste Kulturen und Anbausysteme Anwendung. Ihre Nutzungsformen bringen aber immer wieder auch Probleme für die Arten der Agrarlandschaft mit sich. So hat beispielsweise die Nutzung von Zweikultursystemen den Nachteil, dass die frühen Erntetermine den Bruterfolg von Vogelarten dezimieren, die auf den bewirtschafteten Flächen brüten. Auch der Samenvorrat von gefährdeten Ackerwildkräutern im Boden kann dadurch reduziert werden. Zudem haben diese Anbausysteme meist einen hohen Wasserbedarf, was den Grundwasserhaushalt negativ beeinflussen kann (AEE, 2009; BfN, 2010a). Der Bau einer Biogasanlage oder einer Biokraftstoffanlage führt häufig dazu, dass in ihrem Umfeld vermehrt Energiepflanzen wie Mais und Raps angebaut werden. Dies kann z.B. aufgrund einer verengten Fruchtfolge zu einer Reduktion der Biodiversität führen. Daneben können, wie auch bei der Produktion von Futter- und Lebensmitteln, zu hohe Stickstoffgaben, die weder von den Pflanzen aufgenommen noch vom Boden gespeichert werden können, zur Belastung von Gewässern und zur Entstehung von Treibhausgasen führen (AEE, 2009).

Die Anlage von Kurzumtriebsplantagen ist aus Sicht des Naturschutzes ebenfalls nicht in jedem Fall positiv zu beurteilen. Hier spielen besonders der Anbaustandort und die Eigenschaften des Landschaftsraumes eine wichtige Rolle. KUP stellen keinen Ersatz für Hecken oder Wälder dar, da sie im Vergleich dazu eine geringere Artenvielfalt aufweisen. Besonders negativ ist die Anlage von KUP auf (artenreichem) Grünland zu beurteilen, da z.B. Wiesenbrüterarten ihr Bruthabitat verlieren. Zudem werden durch den Grünlandumbruch hohe Mengen CO<sub>2</sub> freigesetzt. Auch eine Anlage der Plantage ohne Umbruch ist zu vermeiden, da sich das Artenspektrum von Grünland- zu Waldarten verschiebt. Durch das Befahren der Flächen mit schweren Maschinen während der Ernte kann es zu Bodenverdichtungen kommen.

Da Pappeln und Weiden einen hohen Transpirationskoeffizienten aufweisen, kann ihr Anbau zu einer Grundwasserabsenkung führen (BfN, 2010a).

Neben den Ackerflächen ist auch das Grünland von der Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus betroffen. Zum einen kommt es zu einer Intensivierung der Nutzung, zum anderen werden Flächen umgebrochen. Dies trägt zu einer Zerstörung von Ökosystemen bei und im Fall des Umbruchs können große Mengen an CO<sub>2</sub> freigesetzt werden. Diese Entwicklung ist besonders vor dem Hintergrund kritisch zu beurteilen, dass 52% der Arten in Deutschland ihren Lebensraum im Grünland haben. Jedoch verliert das Grünland, v.a. wenn es sich um extensive Standorte handelt, zunehmend an ökonomischer Attraktivität. Daher wird es häufig zu Ackerland umgewandelt (BfN, 2010a).

Im Rahmen des Projektes „Auswirkungen nachwachsender Rohstoffe auf Natur und Umwelt in Bayern“ des Bayerischen Landesamtes für Umwelt wurde für den Landkreis Traunstein südöstlich von München untersucht, welche Auswirkungen Biogasanlagen auf die Flächennutzung und den Grünlandumbruch haben. Es zeigte sich, dass eine höhere Substratnachfrage die naturverträgliche Bewirtschaftung einschränkt und zu einer zunehmenden Konkurrenz mit dem Naturschutz führt (LfU, 2010b). Neben einer Intensivierung der Flächen ist auch eine Zunahme des Grünlandumbruchs zu beobachten. Dies kann sich negativ auf Grundwasser, Klima und Biodiversität auswirken. Zwar ist der Grünlandumbruch durch Cross-Compliance beschränkt, die Grenze ist jedoch noch nicht ausgeschöpft. Im Vergleich zum Referenzjahr 2003 wurden in Deutschland bis zum Jahr 2009 etwa 3,6% des Dauergrünlandes umgebrochen, in Baden-Württemberg 2,4% (BfN, 2010d). Jedoch stellt nicht nur der Grünlandumbruch ein Problem dar, sondern auch die intensivere Nutzung ehemals extensiver Grünlandstandorte. Das Bayerische Landesamt für Umwelt fand heraus, dass im Landkreis Ansbach/ Bayern, extensive Grünlandflächen aus dem Agrarumweltprogramm genommen wurden, um sie zur intensiven Futterproduktion und Verwertung in Biogasanlagen zu nutzen (LfU, 2010d).

Bisher wurden die Leistungen der Ökosysteme kaum oder nur unzureichend ökonomisch bewertet. Dabei bilden sie besonders für die Landwirtschaft eine unverzichtbare Basis zur Produktion von Wirtschaftsgütern. So leistete beispielsweise im Jahr 2002 ein Bienenvolk in der Schweiz durch die Bestäubung von Obstbäumen einen Beitrag zur Agrarproduktion in Höhe von 1.050 US-Dollar, während die Imke-

reiprodukte, wie beispielsweise Honig mit etwa 215 US-Dollar nur ein Fünftel dieses Wertes erreichten (TEEB, 2010a). Um die ökonomischen Auswirkungen des Verlustes von Ökosystemen zu bewerten, gaben die G8+5-Staaten 2007 unter der Präsidentschaft Deutschlands die Studie „The Economics of Ecosystems and Biodiversity“ (TEEB) in Auftrag. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass es weltweit etwa 100.000 Schutzgebiete gibt, deren gesamten Leistungen sich auf jährlich 4,4 bis 5,2 Milliarden US-Dollar belaufen und damit weit über den bisher geschätzten Werten liegen. Diese Zahlen verdeutlichen, wie wichtig der Schutz der Ökosystemleistungen und der damit verbundenen Artenvielfalt ist (BMU, 2010e; BMU, 2010f; TEEB, 2010a; TEEB, 2010b).

### **2.2.2 Politische Rahmenbedingungen zum Schutz der Biodiversität**

Um dem Artensterben entgegenzuwirken, hat die Völkergemeinschaft bereits 1992 auf der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung (UNCED) in Rio de Janeiro das Übereinkommen über die biologische Vielfalt (Convention on Biological Biodiversity, CBD) verabschiedet. Der wichtigste Grundgedanke des Übereinkommens ist der Schutz der Biodiversität durch Nutzung und der Schutz der Lebensgrundlagen für die zukünftigen Generationen. Aus ökologischer Sicht stellt eine höhere Artenvielfalt eine Art Versicherung für das Ökosystem dar, da sie über eine höhere Anpassungsfähigkeit an veränderte Rahmenbedingungen verfügt. Dies ist entscheidend, um die Funktion des Ökosystems und seine Leistung für den Menschen zu erhalten. Intakte Ökosysteme erbringen Leistungen, die technisch entweder nicht oder nur unter sehr hohem Aufwand und hohen Kosten möglich sind, wie z.B. die Bereitstellung von Trinkwasser (BMU, 2007).

Um die Vorgaben des Übereinkommens einzuhalten, wurden sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene Strategien und Aktionspläne entwickelt. 1993 wurde das Übereinkommen in Deutschland ratifiziert und mit der „Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt“ umgesetzt (BMU, 2007). Auf europäischer Ebene wurde 1998 die „Strategie zur Erhaltung der Artenvielfalt“ entwickelt (Europäische Kommission, 1998). Mit dem „Aktionsplan für die biologische Vielfalt in der Landwirtschaft“, der 2001 verabschiedet wurde, will die Europäische Kommission in der Landwirtschaft einen Intensivierungsgrad erreichen, der die Ökosysteme nicht beeinträchtigt und zu einer nachhaltigen Bewirtschaftungsweise beiträgt (Europäische Kommission, 2001).

Da die getroffenen Maßnahmen nicht den gewünschten Erfolg hatten und der Rückgang der Artenvielfalt anhielt, beschlossen die Staats- und Regierungschefs 2002 in Johannesburg auf dem Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung bis 2010 den Verlust stark einzuschränken. Die Europäische Union hat 2001 in Göteborg auf dem Gipfel zur europäischen Nachhaltigkeitsstrategie sogar beschlossen den Rückgang bis 2010 zu stoppen (BMU, 2007).

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde im Jahr 2006 von der Europäischen Union ein Aktionsplan zur Biodiversität verabschiedet, der Ziele auch über das Jahr 2010 hinaus festlegt. In dem Aktionsplan werden zehn Hauptziele festgelegt, die den vier Politikbereichen „Biologische Vielfalt in der EU“, „die EU und die weltweite biologische Vielfalt“, „Biologische Vielfalt und Klimawandel“ und „Wissensgrundlage“ zugeordnet werden (EU, 2008). Wichtige Ziele sind der flächendeckende Biodiversitätsschutz und der Aufbau eines EU-weiten Netzes an Schutzgebieten. Dessen Aufbau ist besonders vor dem Hintergrund wichtig, dass die Studie „Millennium Ecosystem Assessment“, die von den Vereinten Nationen in Auftrag gegeben wurde, zu dem Ergebnis kam, dass vor allem die europäischen Ökosysteme durch Zerschneidung beeinträchtigt werden. Des Weiteren zielt der Aktionsplan darauf ab, die Anpassung der biologischen Vielfalt an den Klimawandel zu unterstützen. Dafür ist neben der Begrenzung des Temperaturanstiegs durch Klimaschutzmaßnahmen auch entscheidend, den Arten ausreichend Rückzugsräume zur Verfügung zu stellen und diese Gebiete miteinander zu vernetzen (EU, 2008; Europäische Kommission, 2006; BMU, 2007). Die gleichen Forderungen stellt auf Landesebene auch das Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg in seinem Projektbericht „Klimawandel und biologische Vielfalt – welche Anpassungen von Naturschutzstrategien sind erforderlich?“ (MLR, 2007a).

Die Bewertung des Aktionsplanes der EU zur Biodiversität zeigte, dass zwar in einigen Bereichen Fortschritte erzielt werden konnten, so wurde z.B. das Natura-2000-Netz erheblich ausgedehnt, das übergeordnete Ziel des Aktionsplans, den Verlust der Artenvielfalt aufzuhalten, wurde jedoch verfehlt. Unter anderem sind die Arten des Grünlandes und der landwirtschaftlich genutzten Flächen besonders betroffen (EU, 2010). Da das Ziel, das Artensterben bis 2010 stark einzuschränken nicht erreicht wurde, wurde im internationalen Jahr der biologischen Vielfalt 2010 auf der 10. Vertragsstaatenkonferenz zum Übereinkommen über die biologische Vielfalt in Nagoya/ Japan eine Strategie für den weltweiten Schutz der Artenvielfalt

von 2011 bis 2020 erarbeitet und festgelegt den Artenrückgang bis 2020 zu stoppen (BMU, 2010c).

Um unter anderem den Artenreichtum der Acker- und Grünlandflächen zu erhalten und traditionelle, umwelt- und naturverträgliche Produktionsstrukturen der Landwirtschaft zu fördern, verabschiedete die Bundesregierung 2007 die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Ein Ziel der Strategie ist es, den Anteil der landwirtschaftlichen Fläche mit hohem Naturwert, wie z.B. artenreiche Grünland- und Ackerflächen, deutlich zu erhöhen, und zwar um mindestens 10 Prozentpunkte innerhalb des Zeitraumes 2005 - 2015. Im Jahr 2015 sollten dann 19% der landwirtschaftlich genutzten Flächen einen hohen Naturwert haben (BMU, 2010a). Daneben hat diese Strategie, ebenso wie die Convention on Biological Diversity (CBD), unter anderem das Ziel einen naturverträglichen Energiepflanzenanbau zu unterstützen. Dies wird auf europäischer Ebene auch durch die Nachhaltigkeitskriterien der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie und auf deutscher Ebene durch die Nachhaltigkeitsverordnungen zu Biokraftstoffen und zu Strom aus Biomasse gefördert. Darin werden die nachhaltige Flächenbewirtschaftung, der Schutz von Ökosystemen und die Reduktion von Treibhausgasen gefordert. Die Vorgaben gelten sowohl für europäische als auch für aus Drittländern importierte Kraftstoffe (BfN, 2010a; BfN, 2010c, BfN, 2010d).

Um eine nachhaltige Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen zu fördern und damit den Erhalt der landschaftstypischen Arten zu unterstützen, wurden bereits im Zuge der EU-Agrarreform von 1992 die umweltbezogenen Beihilfen für die Landwirtschaft eingeführt und zu den heutigen Agrarumweltmaßnahmen ausgebaut. Während die Landwirte die Direktzahlungen nur erhalten, wenn sie die gute fachliche Praxis und die Vorgaben von Cross Compliance einhalten, die gewährleisten, dass die Umwelt, die Gesundheit der Verbraucher und die Tiere geschützt und die landwirtschaftlichen Flächen in einem guten Zustand erhalten werden, gehen die Agrarumweltmaßnahmen darüber hinaus und sind freiwillige Maßnahmen (BMU, 2007). In der Europäischen Union werden diese Umweltmaßnahmen durch die zweite Säule der Agrarpolitik gefördert. Mit dem Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) werden Agrarumweltmaßnahmen unterstützt. Umgesetzt werden die Maßnahmen der zweiten Säule von den einzelnen Bundesländern. Das Programm, das in Baden-Württemberg zu diesem Zweck aufgelegt wurde, heißt MEKA (Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsaus-

gleich). Darüber hinaus können mit ELER auch weitere Ausgleichszahlungen finanziert werden, wie z.B. für Natura 2000-Gebiete (BMU, 2010a). Agrarumweltmaßnahmen können einen wichtigen Beitrag zum Erhalt der Artenvielfalt leisten. In Österreich beispielsweise zeigte die Auswertung der Bestände der Großtrappen (Vogel der offenen Agrarlandschaft), dass die Förderung durch Agrarumweltmaßnahmen zu einer deutlichen Erholung der Bestände geführt hat (Plieninger und Schleyer, 2010; Steurer, 2010).

### **2.2.3 Maßnahmen zum Schutz der Biodiversität, insbesondere bei der Energiepflanzenerzeugung**

Um die Leistungen der verschiedenen Ökosysteme zu erhalten und die Biodiversität insbesondere der Agrarlandschaft zu schützen, können eine Reihe von Maßnahmen ergriffen werden. Wichtig ist deren Umsetzung auch vor dem Hintergrund, dass viele Tier- und Pflanzenarten vom Klimawandel betroffen sind und daher eines besonderen Schutzes bedürfen (BMU, 2010a). Eine umfangreiche Studie des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt hat untersucht, wie der Klimawandel Arten und deren Lebensräume beeinflusst. Die aus der Analyse entstandenen notwendigen Anpassungsmaßnahmen können größtenteils auch auf die Situation in Baden-Württemberg übertragen werden. So betont die Studie, dass vor allem die bestehenden Lebensräume verbessert und ausgedehnt werden müssen und die Vernetzung der einzelnen Habitate ausgedehnt werden muss (MKULNV, 2010).

In Abbildung 3 sind die Maßnahmen aufgeführt, die im Zuge der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt vorgeschlagen wurden, um zu erreichen, dass bis zum Jahr 2015 mindestens 19% der landwirtschaftlich genutzten Fläche über einen hohen Naturwert verfügen (BMU, 2010a).

- Vermeidung weiteren Grünlandumbruchs,
- Einrichtung von extensiv genutzten oder ungenutzten Pufferstreifen um Landschaftselemente und Äcker,
- Erhaltung von Ackerbracheflächen auf Böden mit niedrigen Bodenpunkten durch gezieltes Brachemanagement,
- Erhöhung des Umfangs des Vertragsnaturschutzes zur Sicherung artenreicher, agrarisch geprägter Offenlandlebensräume,
- Integration von Extensivflächen (u.a. gemanagte Naturschutzbrachen, Blühstreifen, Pufferstreifen entlang von naturnahen Biotopen) in leistungsfähige konventionelle und ökologische Nutzungssysteme,
- Nutzungsextensivierung auf geeigneten Grünlandflächen.

Quelle: nach BMU, 2010a

*Abbildung 3: Umwelt und naturverträgliche Maßnahmen zur Erhöhung der biologischen Vielfalt auf landwirtschaftlich genutzten Flächen*

Besondere Chancen bietet im Zusammenhang mit einer an Naturschutzforderungen angepassten Landbewirtschaftung der Energiepflanzenanbau. Dieser ist nicht per se mit negativen Auswirkungen auf den Naturhaushalt verbunden, sondern eröffnet aufgrund der geringeren Qualitätsansprüche sogar die Möglichkeit durch einen reduzierten Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmitteln umweltgerechter zu produzieren, als bei der Erzeugung von Lebens- und Futtermitteln (BfN, 2010d). Die Möglichkeit des reduzierten Düngereinsatzes im Energiepflanzenanbau ist besonders vor dem Hintergrund der nach wie vor hohen Stickstoffeinträge in Ökosysteme interessant. Die Bundesregierung hat 2007 das Ziel festgelegt, den Stickstoffüberschuss landwirtschaftlicher Flächen in der jährlichen Gesamtbilanz auf 80 kg N/ha bis 2010 zu reduzieren (AEE, 2009; BfN, 2010d; BMU, 2007; BMU, 2010a). Bereits Mitte des Jahres 2010 war klar, dass dieses Ziel bis zum Ende des Jahres nicht erreicht wird (Deutscher Bundestag, 2010).

Die Intensivierung im Ackerbau und in der Grünlandbewirtschaftung bedeutet für viele Arten der Agrarlandschaft eine Lebensraumeinschränkung, die durch einfache Maßnahmen ausgeglichen werden kann. So kann z.B. der vermehrte Anbau von Sommergetreide und Ackersenf als Zwischenfrucht für Feldvögel von hohem Nutzen sein. Zusätzlich können ökologische Ausgleichsflächen beispielsweise in Form von Randstreifen, Lerchen- und Ortolanfenstern den Schutz der Feldvögel unterstützen (LfU, 2010c). Einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung der Ökosysteme leisten auch Brachen und Säume. Sie sind aus Sicht des Naturschutzes auch weiterhin ein

unverzichtbarer Bestandteil der Kulturlandschaft, da sie als Nahrungsquelle, Rückzugs- und Reproduktionsort dienen. Zudem reduzieren sie die Erosionsgefahr und die Auswaschung von Nährstoffen (BfN, 2010a).

Die an die Bioenergienutzung angepassten Kulturen und Anbausysteme können neben den Konflikten und Nachteilen wie sie in Kapitel 2.2.1 geschildert wurden, auch für Synergieeffekte mit der Biodiversität sorgen. Der Anbau von Zweikultursystemen hat beispielsweise den Vorteil, dass Erosion und Nährstoffauswaschung reduziert werden. Außerdem ist der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln aufgrund der geringeren Qualitätsansprüche nur in einem geringen Umfang notwendig (AEE, 2009). Insbesondere in den vieharmen Regionen Ostdeutschlands, wo vor allem Marktfrüchte angebaut werden, trägt der Anbau von Energiepflanzen auch zu einer Auflockerung der Fruchtfolge bei (Breitschuh und Gernand, 2010).

Kurzumtriebsplantagen haben den Vorteil, dass sie, an den richtigen Standorten angelegt, zur Vernetzung von Biotopen beitragen und abhängig von ihrer Ausgestaltung häufig eine höhere Vielfalt an Tieren und Pflanzen aufweisen als z.B. annuelle, intensive Kulturen. Zudem kann mit ihrem Anbau die Produktion von Treibhausgasen reduziert werden. Da die Plantagen über einen Zeitraum von etwa 20 Jahren genutzt werden können, ohne dass eine Bodenbearbeitung stattfindet, wird die Erosion stark reduziert und die Humusbildung gefördert. Die extensive Bewirtschaftung hat geringere Nährstoffeinträge zur Folge. Besonders positiv zu beurteilen sind KUP, wenn sie klein und strukturiert sind, unterschiedliche Baumarten sowie zeitversetzte Anpflanz- und Erntetermine in einer Plantage aufweisen. Längere Umtriebszeiten, Randstreifen und keine Bearbeitung während der Brutzeit können weitere positive Eigenschaften sein (BfN, 2010a). Die verstärkte Anlage von KUP fordert z.B. der Nachhaltigkeitsbeirat Baden-Württemberg. Da er davon ausgeht, dass max. 10% der Ackerflächen für eine nachhaltige und wirtschaftliche Nutzung zur Verfügung stehen, empfiehlt er im Biomasse-Aktionsplan Baden-Württemberg die knappe Fläche mit Kulturen zu nutzen, die eines geringen Inputs wie z.B. Düngemittel bedürfen, aber gleichzeitig große Mengen an Biomasse liefern. Diese Anforderungen erfüllen beispielsweise Kurzumtriebsplantagen und Miscanthus (WM, 2010).

Tabelle 2 fasst die Chancen, Risiken und Probleme für die Biodiversität, die insbesondere durch den Energiepflanzenanbau entstehen können, noch einmal zusammen und zeigt weitere wichtige Punkte auf.

*Tabelle 2: Chancen, Risiken und Probleme des Energiepflanzenanbaus*

	<b>Chancen</b>	<b>Risiken und Probleme</b>
<b>Anbauweisen und Fruchtfolgen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möglichkeit für erweiterte Fruchtfolgen</li> <li>• Anbausysteme mit Neuzüchtungen bzw. alten, regionalen Kulturen</li> <li>• Förderung der Vielfalt der Agrarlandschaft</li> <li>• Bei Zweikultursystemen längere Bodenbedeckung und geringeres Erosionsrisiko</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Engere Fruchtfolgen</li> <li>• Tendenz zum Anbau großflächiger Monokulturen mit energieeffizientesten Kulturen Energielieferanten wie z.B. Mais</li> <li>• Bei Zweikultursystemen evtl. erhebliche Störungen durch häufigeren Maschineneinsatz und erhöhte Anzahl an Arbeitsgängen</li> <li>• Vorgezogene Erntetermine zur Hauptbrut- und Aufzuchtzeit vieler Tierarten im Mai/Juni</li> <li>• Erhöhter Herbizideinsatz in der Summenwirkung von Haupt- und Zweitfrucht</li> </ul>
<b>Maisanbau</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ähnlich hohe Artenvielfalt bei Maisanbau im Wechsel mit anderen Fruchtarten verglichen mit Flächen ohne Mais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzierung der Artenvielfalt durch Maisanbau in Monokultur auf ein Drittel bis ein Viertel im Vergleich zu vielfältigen Fruchtfolgen</li> <li>• Zunahme der Erosion</li> </ul>
<b>Grünland</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möglichkeit zur stofflichen Verwertung des Aufwuchses aus Landschaftspflege und extensivem Grünland</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensivierung zuvor extensiv genutzter Grünlandstandorte</li> </ul>
<b>Kurzumtriebsplantagen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schaffung neuer Biotopstrukturen</li> <li>• Ergänzung von Biotopverbundsystemen</li> <li>• Beitrag zur Strukturanreicherung ausgeräumter Landschaften</li> <li>• Geringer Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserentzug aus Feuchtgebieten</li> <li>• Negative Veränderung des Landschaftsbildes</li> <li>• Verfremdung des landschaftstypischen Arteninventars durch Einbringung nichtheimischer Arten</li> </ul>
<b>Ausbringung Gärreste</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möglichkeit des Ausgleichs von Nährstoffentzug und Etablierung eines geschlossenen Nährstoffkreislaufs</li> <li>• Positive Auswirkungen auf Bodenlebewesen und mikrobielle Aktivität im Boden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gefahr einer ungleichmäßigen Ausbringung mit Konzentration auf anlagennahe Flächen</li> <li>• Nährstoffüberschüsse bei hohen Anteilen von Kofermenten wie Fette oder Reststoffe aus der Nahrungsmittelindustrie</li> </ul>

Quelle: Verändert nach LfU, 2010a

### 3 Analyseansätze für die Bewertung landwirtschaftlicher Systeme

Um die Unterstützung einer nachhaltigen Entwicklung der europäischen Landwirtschaft rechtfertigen zu können, muss die Agrar- und Umweltpolitik möglichst effizient gestaltet werden. Bevor Regierungen oder politische Entscheidungsträger neue politische Instrumente umsetzen, werden daher deren erwarteten und unerwarteten ökonomischen, ökologischen und sozialen Auswirkungen überprüft (EC, 2011a; EC, 2011b). Da dies ein sehr komplexer Vorgang ist, werden häufig vereinfachende Modelle für die Analyse eingesetzt. Während in den Modellen lange Zeit die ökonomischen Auswirkungen im Vordergrund standen, fanden in den letzten Jahren zunehmend auch die ökologischen Aspekte Berücksichtigung (Mittenzwei, et al., 2007; van Tongeren, et al., 2001). Mit landwirtschaftlichen Simulationsmodellen können politische Entscheidungsfindungen im Bereich des Agrarsektors unterstützt werden. Sie ermöglichen die Analyse der Auswirkungen der ökonomischen und politischen Rahmenbedingungen auf die landwirtschaftliche Produktion, das Einkommen und ökologische Indikatoren. Der Vorteil eines Modellverbundes ist, dass mehrere Sektoren gleichzeitig betrachtet und die relevanten Sektoren dennoch detailliert abgebildet werden können. In solchen interdisziplinären Projekten werden die landwirtschaftlichen Akteure durch landwirtschaftliche Simulationsmodelle repräsentiert (Henseler et al., 2006; SENSOR, 2009).

Aus der Vielzahl der vorhandenen Modellansätze werden im Folgenden zunächst drei landwirtschaftliche Simulationsmodelle und nachfolgend drei Modellverbunde vorgestellt. Das Ziel der Simulationsmodelle ist die Optimierung der landwirtschaftlichen Produktion. Sie analysieren eine ähnliche Fragestellung wie die hier vorliegende Arbeit und unterscheiden sich besonders hinsichtlich der Abbildungsebene der landwirtschaftlichen Prozesse. In den anschließend beschriebenen Modellverbunden wird die Verknüpfung von Modellen und die Einbindung des Agrarsektors dargestellt. Sie unterscheiden sich durch die integrierten Modelle sowie die Generierung der Ergebnisse.

### 3.1 ProLand

Im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 299 „Landnutzungskonzepte für periphere Regionen“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurde an der Universität Gießen seit 1997 der Modellverbund „Integrated Tools for Economic and Ecological Modelling“ (ITE<sup>2</sup>M) entwickelt. Damit wird die räumlich explizite Simulation ökonomischer, abiotischer und biotischer Landschaftsfunktionen ermöglicht (ProLand, 2011, Sheridan, 2010). In aktuell mit dem Modellverbund ITE<sup>2</sup>M durchgeführten Studien wird der Energiepflanzenanbau in Südhessen vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeit und unter ökonomischen Gesichtspunkten analysiert (Frede, 2010). Das Modell ProLand ist Bestandteil dieses Verbundes und bildet die ökonomische Komponente. Bei ProLand handelt es sich um ein räumlich explizites, deterministisches, komparativ-statisches, bioökonomisches Modell. SHERIDAN (2010) entwickelte das Modell in der vierten Projektphase (2002 - 2006) weiter und optimierte die Anwenderfreundlichkeit (ProLand, 2011, Sheridan, 2010).

Mit ProLand kann unter bestimmten natürlichen, wirtschaftlichen, technischen und politischen Rahmenbedingungen die räumliche Verteilung von land- und forstwirtschaftlichen Landnutzungssystemen prognostiziert und die korrespondierenden sozioökonomischen und volkswirtschaftlichen Kennzahlen abgeschätzt werden. Es wird angenommen, dass standortvariante Bodenrenten die räumliche Verteilung von land- und forstwirtschaftlichen Anbauflächen bestimmen. Die Maximierung der Bodenrente unter der Nebenbedingung, dass bestimmte Werte für die Opportunitätskosten der Arbeit und des Kapitals erreicht werden, stellt die Zielfunktion dar. ProLand betrachtet keine Betriebe, sondern räumliche Entscheidungseinheiten. Jede Region wird durch Rasterdaten beschrieben, wobei den einzelnen Rasterpunkten die optimale Landnutzung zugewiesen wird. Es verfügt über 16 Bodenproduktionsverfahren, die auch die Grünland- und Forstnutzung umfassen. Es besteht die Möglichkeit, Fruchtfolgen exogen vorzugeben sowie Nachfrage-restriktionen und Bewirtschaftungsaufgaben einzubeziehen. Die Tierhaltung wird in dem Modell nicht abgebildet. Für nicht marktgängige Futtermittel werden lediglich Veredlungswerte berücksichtigt (ProLand, 2002; Sheridan, 2010).

SHERIDAN (2010) hat das Modell in seiner Arbeit unter anderem angewandt, um die Angebotspotenziale für nachwachsende Rohstoffe in Deutschland abzuschätzen. Dabei erwiesen sich Zuckerrüben zur Zuckerproduktion auf allen Standorten als die

Kultur mit der höchsten Bodenrente, jedoch wirkte die Quote als Anbaubegrenzung. Daran anschließend waren Winterraps, Silomais, Winterweizen und Ethanolrüben die konkurrenzstärksten Kulturen. Auf 32% der Ackerfläche würde Silomais angebaut werden, auf 27% Winterweizen und auf 24% Raps. Dagegen wären Kulturen wie Miscanthus, Energiegetreide und Roggen ohne Preissteigerungen oder Transferzahlungen nicht konkurrenzfähig.

### **3.2 MODAM**

Im Rahmen des Projektes „Wege zur naturschutzgerechten Erzeugung von Energiepflanzen für Biogasanlagen: Verfahren, Betriebe, Rahmenbedingungen“ wurde das Modellsystem MODAM (Multi-Objective Decision support system for Agroecosystem Management) am Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. angewandt und weiterentwickelt. Ziel war die Erarbeitung technischer und betrieblicher Umsetzungskonzepte, die einen umwelt- und naturschutzgerechten Energiepflanzenanbau für die Biogaserzeugung in Brandenburg unterstützen. Dazu wurden gemeinsam mit drei landwirtschaftlichen Betrieben sowie Fachleuten aus den Bereichen Naturschutz und Agrarforschung praxisübliche Anbauverfahren ermittelt und neue Verfahren entwickelt. Die Produktionsverfahren wurden ökonomisch und ökologisch bewertet und gemeinsam mit den betrieblichen Daten der teilnehmenden Betriebe in MODAM implementiert. Auf diese Weise wurden Betriebsmodelle generiert. Jeder Betrieb kann aus den Betriebszweigen Pflanzenbau, Tierhaltung und Biogasanlage bestehen. Die Erweiterung von MODAM um das Modul „Biogasanlage“ ermöglichte die Abbildung der gesamten Verwertungskette der Energiepflanzen auf dem Betrieb und die ökonomische und ökologische Bewertung des neuen Betriebszweiges Biogas und der zugehörigen Produktionsverfahren.

Das Betriebsmodell ist ein statisch komparativ, gemischt ganzzahliges, lineares Programmierungsmodell, das von einem LP-Generator erstellt wird. Neben dem Oberziel der Maximierung des Gesamtdeckungsbeitrages eines Betriebes können ökologische Ziele als Nebenbedingungen einbezogen werden. Für die ökologische Analyse werden für jeden Indikator Umweltqualitätsziele festgelegt, aus denen sich ein Zielerreichungsgrad (ZEG) ergibt. Anhand des ZEG kann die Eignung eines Verfahrens angegeben werden, ein bestimmtes Umweltqualitätsziel zu erreichen.

Im Rahmen der Ergebnisauswertung können damit Risikobereiche, die aufgrund einer bestimmten Landnutzung auftreten, identifiziert werden. Mithilfe einer Energiebilanz werden die einzelnen Verfahren aus der Sicht der Energieeffizienz bewertet. Auch die Bewertung der klimarelevanten Gase ist mit MODAM möglich, wurde im Rahmen des vorgestellten Projektes jedoch nicht durchgeführt.

Aus den Modellrechnungen im Zuge des Projektes „Wege zur naturschutzgerechten Erzeugung von Energiepflanzen für Biogasanlagen“ ergab sich, dass aus ökonomischer Sicht lediglich Mais, Hirse und Winterroggen interessante Energiepflanzen für Brandenburg sind. Das biotische Potenzial des Energiepflanzenanbaus erwies sich als höher (z.B. wegen eines geringeren Pflanzenschutzmitteleinsatzes oder einer weiteren Fruchtfolge) als beim traditionellen Anbau. Aus Sicht des Naturschutzes wäre es aber dennoch sinnvoll, den Anbau einiger Kulturen zu begrenzen, bzw. zu fördern. Als sinnvoller Ansatzpunkt für die Regulierung des Energiepflanzenanbaus wird die Flächenausstattung der Betriebe im Verhältnis zur Leistung des Blockheizkraftwerkes (BHKW) herausgestellt, wobei eine nutzbare Fläche von mehr als 0,5 ha/kW aus ökonomischer und ökologischer Sicht als vorteilhaft erachtet wird (Müller et al., 2008).

### 3.3 ACRE

Im Rahmen des Projektes GLOWA-Danube wurde in einem universitären Kompetenznetzwerk von Wissenschaftlern aus den Natur-, Sozial- und Wirtschaftswissenschaften das Entscheidungs- und Unterstützungssystem DANUBIA entwickelt. Ziel des Projektes, das 2001 begann, ist die Analyse der zukünftigen Wasserverfügbarkeit an der Oberen Donau und der Auswirkungen des Klimawandels, der Bevölkerungsentwicklung und der Landnutzung auf verschiedene in diesem Gebiet angesiedelte Sektoren, wie z.B. die Landwirtschaft oder Wasserversorgungsunternehmen. An die Analyse anschließend sollen regionale Anpassungsstrategien entwickelt und mithilfe von DANUBIA bewertet werden (Dabbert, 2008; GLOWA-Danube, 2010).

Der den landwirtschaftlichen Sektor betreffende Projektteil wurde vom Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre der Universität Hohenheim bearbeitet. Im Rahmen des Projektes wurde das Modell ACRE (Agro-economic production model on regional level) entwickelt. ACRE beruht auf Positiver Mathematischer Programmie-

rung (PMP) und optimiert die landwirtschaftliche Produktion unter der Vorgabe den Gesamtdeckungsbeitrag zu maximieren. Es ermöglicht die Abbildung von 12 tierischen und 17 pflanzlichen Produktionsverfahren. Um die optimale Produktion eines Landkreises aggregiert abzubilden, werden Regionshöfe gebildet. Für das Projekt GLOWA-Danube wurden 73 Landkreise in Baden-Württemberg, Bayern und Österreich simuliert. In den Modellverbund von GLOWA-Danube wurde ACRE über ein „Farming-Model“ eingebunden, das auch ein „Dis/Aggregations Tool“ enthält. Dieses Tool bekommt Input-Daten für die Szenarien als Output-Daten anderer Modelle und aggregiert die Daten, die als räumliche Einheit von 1 km<sup>2</sup> vorliegen, auf Landkreisebene. Die Output-Daten von ACRE werden wieder disaggregiert und den anderen Modellen zur Verfügung gestellt (Henseler et al., 2006; Winter, 2005).

Im Rahmen von GLOWA-Danube wurden mehrere Szenarien entwickelt, die sich hinsichtlich der politischen Rahmenbedingungen, des Preisniveaus und der Umweltschutzvorgaben unterscheiden. Untersucht wird der Zeitraum von 2011 bis 2060. Beispielsweise zeigten die Modellrechnungen mit ACRE für das Szenario „Liberalisierung der Agrarpolitik“, dass sich die Flächenanteile der einzelnen Kulturen kaum verändern. Der Anbau von Futterpflanzen und die intensive Grünlandbewirtschaftung nehmen deutlich ab, während das Grünland vermehrt extensiv bewirtschaftet wird und der Anteil der brachliegenden Flächen zunimmt. Der Wegfall der Prämien führt hauptsächlich im deutschen Teil des betrachteten Gebietes zu niedrigeren Einkommen (Winter, 2005, Dabbert, 2008, GLOWA-Danube, 2010)

### **3.4 Modellverbund EUruralis**

Der Modellverbund EUruralis wurde von der Arbeitsgruppe „Sustainable Development and Systems Innovation“ der Universität Wageningen, Niederlande, entwickelt. Das Projekt begann 2003, mittlerweile ist die dritte, verbesserte Version als „Open Source“ verfügbar (EUruralis, 2010).

Im Rahmen von EUruralis wurde ein Mehrebenen- und Multimodellierungs-Ansatz gewählt, da so die Prozesse, die die Landnutzung sowohl auf globaler als auch auf Landschaftsebene beeinflussen, abgebildet werden können. Dabei können vier Szenarien der Landnutzung in Kombination mit verschiedenen politischen Fragestellungen betrachtet werden (Hellmann und Verburg, 2008). EUruralis setzt sich aus den Modellen LEITAP-IMAGE, CAPRI und Dyna-CLUE zusammen. LEITAP ist

ein globales, allgemeines Gleichgewichtsmodell und eine weiterentwickelte Version des Modells GTAP (Global Trade Analysis Project). Es ist mit dem integrierten Modell IMAGE (Integrated Model to Assess the Global Environment) verknüpft, das aus mehreren Sub-Modellen besteht. Damit können die Interaktionen zwischen Gesellschaft, Biosphäre und Klima abgebildet werden. IMAGE simuliert die ökologischen Konsequenzen menschlicher Aktivitäten weltweit (Helming et al., 2010; Fehrenbach et al., 2009; EEA, 2008). CAPRI ist ein partielles Gleichgewichtsmodell für den Agrarsektor der EU 27 auf NUTS-2-Ebene (siehe dazu auch Kapitel 3.6). Dyna-CLUE ist ein räumlich explizites Landnutzungsmodell, das die von LEITAP errechnete landwirtschaftlich genutzte Fläche auf nationaler Ebene unter Einbezug von Restriktionen verteilt (Helming, et al., 2010).

Ein Beispiel für die Anwendung von EUruralis ist die räumlich explizite Modellierung des Energiepflanzenanbaus zur Kraftstofferzeugung (Biodiesel und Bioethanol) in Europa (Hellmann und Verburg, 2008). Auf regionaler Ebene wurde analysiert, welche Auswirkungen politische Entscheidungen auf die Entwicklung und Lokalisierung der Biodieselindustrie haben. Daraus wurde abgeleitet, in welchen Regionen der Energiepflanzenanbau zukünftig eine wichtige Rolle spielen wird, bzw. in welchen ökologisch sensiblen Bereichen der Anbau stattfindet. Für die Darstellung der Landnutzungsänderungen auf nationaler Ebene wurde die Modellkette GTAP-IMAGE eingesetzt. Die räumlich explizite Darstellung der veränderten Landnutzung auf der Ebene 1km<sup>2</sup> erfolgte mit dem Modell Dyna-CLUE. Untersucht wurde der Zeitraum 2000 - 2030 in jährlichen Schritten (Hellmann und Verburg, 2008).

### **GTAP**

GTAP ist ein sehr etabliertes allgemeines Gleichgewichtsmodell, das an der Purdue University (USA) entwickelt wurde. Mit GTAP können sowohl die globalen ökonomischen Aktivitäten als auch die Aktivitäten einzelner Länder und Regionen dargestellt werden (Fehrenbach et al, 2009). Das Ziel eines jeden Sektors ist die Maximierung seines Gewinnes unter verschiedenen Restriktionen. Für die Studie zur Modellierung des Energiepflanzenanbaus zur Kraftstoffproduktion spielt neben der Landwirtschaft besonders die Erdölindustrie als weiterverarbeitendes Gewerbe eine wichtige Rolle. Diese kann für die Kraftstoffproduktion zwischen fossilen und nachwachsenden Rohstoffen wählen. Die mit GTAP modellierte Landnutzungsänderung wird an das Modell *IMAGE* übergeben, das die Einflüsse der Landnutzungsände-

rung und des Klimawandels auf die Flächenproduktivität berechnet. Die berechnete Flächenproduktivität wird wiederum an GTAP zurückgegeben und GTAP führt einen weiteren Rechendurchgang durch. Dieser iterative Prozess wird solange durchgeführt, bis ein konsistentes Ergebnis erreicht wird (Hellmann und Verburg, 2008).

### ***Dyna-CLUE***

Mit Dyna-CLUE ist es möglich die Konkurrenz zwischen den mit GTAP berechneten verschiedenen Landnutzungsvarianten dynamisch zu simulieren und diese auf eine räumliche Auflösung von 1km<sup>2</sup> herunterzuberechnen. Unterschieden werden acht Landnutzungen, die verteilt werden können und weitere acht statische, nicht veränderbare Landnutzungen (Hellmann und Verburg, 2008).

Zunächst wird anhand von Kriterien und Restriktionen, wie z.B. der Rohstoffverfügbarkeit und der Infrastruktur, der Standort für die Produktionsanlagen bestimmt. Anschließend wird der mit GTAP-IMAGE berechnete Anbauumfang in der Nähe der Anlagen so verteilt, dass deren Rohstoffbedarf gedeckt wird. Die räumliche Verteilung wird durch verschiedene Vorgaben, wie beispielsweise Nähe zur verarbeitenden Fabrik oder Anbau in NATURA2000-Gebieten mitbestimmt (Hellmann und Verburg, 2008).

Gerechnet wurden im Rahmen der Studie vier verschiedene Szenarien, die sich hauptsächlich hinsichtlich der Vorgaben für die Ausdehnung und räumliche Verteilung des Energiepflanzenanbaus unterscheiden. Es zeigte sich, dass unter der EU-Vorgabe einen bestimmten Anteil des Kraftstoffbedarfs aus erneuerbaren Energien decken zu müssen, deutlich mehr Energiepflanzen angebaut wurden als ohne Vorgabe. Besonders deutlich war dies im Westen und Osten Europas zu beobachten. Auf einigen Standorten, wie z.B. im Nordosten Deutschlands, wurden in jedem Szenario verstärkt Energiepflanzen angebaut. Diese Standorte zeichnen sich durch eine vorteilhafte Kombination aus guter Infrastruktur, Industrieanlagen und großen Gebieten nutzbarer Ackerfläche aus (Hellmann und Verburg, 2008).

### 3.5 Projekt SENSOR

SENSOR ist ein interdisziplinäres Forschungsprojekt, das im Zuge des sechsten EU-Rahmenforschungsprogrammes vom Leibniz-Zentrum für Agrarlandforschung (ZALF) e.V. geleitet und in Zusammenarbeit mit mehreren internationalen Forschungseinrichtungen im Zeitraum 2004 - 2009 durchgeführt wurde. Im Rahmen von SENSOR wurde das quantitative Multimodellierungs-Instrument SIAT (Sustainability Impact Assessment Tool) entwickelt. Mit SIAT können die Auswirkungen politischer Maßnahmen auf die Landnutzung interdisziplinär und sektorübergreifend für die verschiedenen Regionen Europas beurteilt werden. Der Ansatz analysiert sowohl die globalen als auch die regionalen Effekte und betrachtet die ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen räumlich differenziert für alle Sektoren der Landnutzung (Landwirtschaft, Wald, Transport- und Energieinfrastruktur, Tourismus und Naturschutz).

Neben SIAT wurde das Modell FoPIA (Framework for Participatory Impact Assessment) entwickelt, das SIAT um qualitative Ansätze erweitert. Im Rahmen dieses partizipativen Ansatzes wurden nationale, regionale und lokale Akteure in die Voraussage und Bewertung von Landnutzungsänderungen einbezogen (SENSOR, 2009; Diehl und Helming, 2009).

Sowohl in dem quantitativen Modellansatz (SIAT) als auch in dem qualitativ partizipativen Ansatz (FoPIA) findet die Bewertung der Szenarioergebnisse anhand von Indikatoren statt. Die Vorgehensweise zur Strukturierung der Indikatoren ist dabei eng an das von der EEA (European Environmental Agency) weiterentwickelte System der OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) zur Beschreibung von Umweltbelastungen und Umweltschutzmaßnahmen angelehnt (SENSOR, 2009, Gabrielsen und Bosch, 2003). In dem sogenannten „Driver-Pressure-State-Impact-Response“-Konzept (DPSIR) werden die Indikatoren zur Abbildung der Nachhaltigkeit unterschiedlichen Bereichen (z.B. Zustand der Umwelt, Einfluss des Betriebsmanagements auf die Umwelt) zugeordnet. Es ermöglicht die Beschreibung der Interaktionen zwischen Mensch und Umwelt sowie der zugehörigen Informationsflüsse (Gabrielsen und Bosch, 2003).

Da den Anwendern mithilfe von SENSOR möglichst schnell Ergebnisse zur Verfügung gestellt werden sollen, wurden mehrere denkbare Politikszenerarien für das Jahr 2025 mithilfe einer Modellkette berechnet. Deren Auswirkungen auf 87 Indikatoren wurden erfasst und zu neun Landnutzungsfunktionen zusammengefasst. Mithilfe der Landnutzungsfunktionen können die Güter und Dienstleistungen, die durch die Landnutzung entstehen sowie die wichtigsten ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekte einer Region abgebildet werden (Gabrielsen und Bosch, 2003; SENSOR, 2009). D.h. es liegen definierte Szenarien vor, deren Rahmenbedingungen und Restriktionen bereits vorgegeben sind. Der Endnutzer kann nur diese Szenarien nutzen und keine neuen politischen Instrumente einführen. Da kein Modelldurchlauf stattfindet, kann er ausschließlich die bereits vorgegebenen Instrumente in ihrer Intensität verändern und die hinterlegten Landnutzungsfunktionen und deren Indikatoren nutzen (SENSOR, 2009).

Mit den Modellen, die in SIAT integriert sind, soll die Veränderung der Landnutzung durch verschiedene Sektoren simuliert werden. Dazu wurde das makroökonomische Modell NEMESIS (New Econometric Model for Environment and Strategies Implementation for Sustainable Development) mit den zwei Sektormodellen CAPRI (Common Agricultural Policy Regional Impact Analysis Model) und EFISCIN (European Forest Information Scenario Model) und dem Landnutzungsmodell Dyna-CLUE verknüpft (Jansson et. al., 2008). Das landwirtschaftliche Sektormodell CAPRI (siehe dazu auch Kapitel 3.6) bildet den Anfangspunkt jeder Simulation und berechnet die landwirtschaftliche Produktion, die Erzeuger- und die Flächenpreise. Einige der Ergebnisse der anderen Modelle, wie z.B. die landwirtschaftliche Nutzfläche, dienen CAPRI als Inputdaten. Das makroökonomische partielle Gleichgewichtsmodell NEMESIS nutzt die Daten von CAPRI, um unter Verwendung der Sub-Modelle für Tourismus (B&B), Transport (TIM) und kommunale Landnutzung (SICK) eine Gleichgewichtslösungen der Landverteilung für die einzelnen Sektoren zu finden. Die Unterteilung der Fläche des jeweiligen Mitgliedsstaates erfolgt in Landwirtschaft, Wald, urbane Landnutzung, Transportinfrastruktur und die beiden fixen Landnutzungen geschützte Gebiete und unbrauchbares Land. Das Waldsektormodell EFISCIN berechnet die von der Bewirtschaftungsweise, dem verfügbaren Land und der Nachfrage nach Holz abhängigen Ergebnisse für den Wald. Mit dem Landnutzungsmodell Dyna-CLUE (vgl. Kapitel 3.4) wird die Landnutzungsverteilung von NEMESIS auf Ebene eines 1 km<sup>2</sup>-Rasters disaggregiert. Nach jeder

Iteration werden die Modellergebnisse auf Konvergenz überprüft. Ist diese nicht gegeben, so wird ein neuer Modelldurchlauf begonnen. Bei jeder Simulation werden 87 Indikatoren und neun Landnutzungsfunktionen berechnet, die den Einfluss der politischen Szenarien auf die sozialen, ökonomischen und ökologischen Güter und Dienstleistungen auf nationaler und regionaler Ebene darstellen. In SENSOR sind z.B. Indikatoren wie CO<sub>2</sub>-Emissionen, Methan-Emissionen, Lachgasemissionen, Populationsentwicklung von Vögeln, Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Landnutzungsänderungen beachtet worden (SENSOR, 2009).

Bei der Szenarienrechnung wird unterschieden zwischen dem Baselineszenario 2025, das die Entwicklungen aufzeigt, wenn die politischen Umstände sich nicht ändern und den Politikszennarien, die eine Bandbreite möglicher Entwicklungen unter veränderten politischen Rahmenbedingungen aufzeigen. Im Rahmen von SENSOR wurde untersucht, welche Auswirkungen eine vollständige Abschaffung der Direktzahlungen aus der ersten Säule auf die Nachhaltigkeit hat. Dazu wurden zwei Szenarien definiert: die Einsparungen aus der ersten Säule werden in die Forschung und Entwicklung investiert (Szenario 1) oder sie werden an den Steuerzahler zurückerstattet (Szenario 2). Die vollständige Kürzung der Direktzahlungen führt zwar dazu, dass die Agrar- und Lebensmittelpreise sinken, gleichzeitig erhöht sich aber das Bruttoinlandsprodukt und der private Konsum nimmt zu. Dabei zeigte sich, dass die Investition in die Forschung und Entwicklung beständigere und weiterverbreitete positive Effekte auf die Sektoren und die sozialen Gruppen hat als die Steuerrückerstattung. Während die Einkommen (-30 bis -40%) und die Anzahl der Arbeitskräfte (-25%) in der Landwirtschaft sinken, steigen die Gesamtbeschäftigung und das Gesamteinkommen. Ein Ausgleich der landwirtschaftlichen Einkommensverluste findet teilweise durch die Ausdehnung der Fläche pro Betrieb statt. Insgesamt jedoch nimmt die landwirtschaftliche Nutzfläche ab, während die Waldfläche in einigen Regionen zunimmt. Auf Ebene der EU betrachtet sind kaum Produktionseinschränkungen zu erwarten. Die Einflüsse auf die Umwelt sind regional sehr unterschiedlich. Positiv zu erwähnen sind eine Reduktion des Phosphorüberschuss, der Ammoniakemissionen, der Winderosion und der Eutrophierung. Demgegenüber steht eine Erhöhung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes, der Methanemissionen und der Waldbrandgefahr (SENSOR, 2009).

### 3.6 Projekt SEAMLESS

Ebenso wie das Projekt SENSOR wurde auch das Projekt SEAMLESS (System for Environmental and Agricultural Modelling; Linking European Science and Society) im Rahmen des sechsten EU-Rahmenforschungsprogrammes durchgeführt. Es wurde im dem Zeitraum 2005 - 2009 von einer internationalen Forschergemeinschaft unter Leitung des LEI-Institutes der Universität Wageningen, Niederlande, bearbeitet. Mit SEAMLESS-IF (SEAMLESS Integrated Framework) wurde in dem Projekt ein Instrument entwickelt, das eine umfassende quantitative, qualitative und experimentelle Analyse der Auswirkungen politischer Entscheidungen auf die Landwirtschaft und die Umwelt ermöglicht. Die Analyse kann auf unterschiedlichen Skalenebenen (vom Betrieb bis hin zur globalen Ebene) erfolgen. Die Auswirkungen der Politikszenerarien werden anhand eines Indikatorbündels hinsichtlich ihrer ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekte bewertet (van Ittersum et al., 2008; SEAMLESS, 2009; Brouwer und van Ittersum, 2010).

Während das Baselineszenario, das keine Änderung der gegenwärtigen politischen Bedingungen annimmt, bereits festgelegt ist, kann der Anwender mithilfe der grafischen Benutzeroberfläche die Fragestellung und die zugehörigen Politikszenerarien festlegen und einen Modellierungsvorgang starten. Diese Vorgehensweise unterscheidet den Ansatz von SEAMLESS deutlich von dem für das Projekt SENSOR gewählten Ansatz, bei dem eine Fragestellung nicht durch einen Modelldurchlauf, sondern mithilfe hinterlegter Indikatoren bearbeitet wird.

Die wichtigsten in SEAMLESS-IF eingebundenen Modelle sind SEAMCAP, FSSIM, EXPAMOD und APES. Zwei Modellketten sind bereits vorgegeben: APES-FSSIM (Verknüpfung eines biophysikalischen Simulationsmodells und eines ökonomisch-ökologischen Betriebsmodells) und FSSIM-EXPAMOD-SEAMCAP (Verknüpfung eines biophysikalischen Simulationsmodells, einer ökonometrischen Methode und eines Marktmodells). Mit der Software OpenMI (Open Modelling Interface) wird der Datenaustausch zwischen den einzelnen Modellen ermöglicht.

### **APES**

APES (Agricultural production and externalities simulator) ist ein deterministisches modular aufgebautes Simulationsmodell. Mit APES können die biophysikalischen Reaktionen von landwirtschaftlichen Produktionssystemen auf das Wetter, die Böden und verschiedene Agrarmanagementoptionen abgeschätzt werden. Die verschiedenen Komponenten in APES ermöglichen die Darstellung der Landnutzung, von Bodenwasser, Kohlenstoff und Stickstoff, Bodenerosion, der Auswaschung von Pflanzenschutzmitteln und von Feldarbeiten. Auch eine Komponente zur Simulation des Wetters ist enthalten (van Ittersum et al., 2008; SEAMLESS, 2009).

### **FSSIM**

FSSIM (Farm system simulator) ist ein ökonomisch-ökologisches Betriebsmodell. Es ermöglicht die Analyse der Auswirkungen politischer Szenarien und agrartechnischer Entwicklungen auf die unterschiedlichen Betriebstypen in verschiedenen Regionen. FSSIM optimiert unter politischen Vorgaben und beschränkten Ressourcen die Betriebsorganisation so, dass der maximale Gesamtdeckungsbeitrag erzielt wird. Es umfasst vier Hauptkomponenten: Pflanzenproduktion, Tierproduktion, politischen Vorgaben und Restriktionen, Kalibrierung und Prognose. Die Preise werden exogen durch SEAMCAP (siehe dazu auch unten) vorgegeben.

Die Verfahren der *Pflanzenproduktion* sind als Fruchtfolgen formuliert, wobei angenommen wird, dass jedes Jahr alle Kulturen einer Rotation auf den gleichen Flächenanteilen angebaut werden und eine Modelllösung mehrere Fruchtfolgen umfassen kann. Die Verfügbarkeit von Ressourcen wird durch Restriktionen beschränkt. Durch eine Verknüpfung mit APES können die Produktivität und die Externalitäten verschiedener Aktivitäten abgeschätzt werden. Die *Tierproduktion* setzt sich aus den drei Verfahren Milchkühe, Fleischrinderhaltung (Mutterkuhhaltung und Mast) und kleine Wiederkäuer (Schafe und Ziegen, Milch und Mast) zusammen. Mittels Restriktionen wird sichergestellt, dass die Bedürfnisse der Tiere hinsichtlich der Fütterung erfüllt werden und die Milchproduktion die Milchquote nicht überschreitet. *Politische Vorgaben und Regulationen* können als zusätzliche Restriktionen implementiert werden. Unterschieden wird dabei zwischen Ausgleichszahlungen der EU, Quotensystemen, einer obligatorischen Stilllegung, Umweltauflagen und Cross-Compliance. Zusätzlich können umweltpolitische Maßnahmen mit Indikatoren aus den Bereichen Umwelt, Biodiversität, Multifunktionalität und Sozioöko-

nomie bewertet werden. Die *Kalibrierung* des Modells erfolgt mittels der Positiven Mathematischen Programmierung, da diese eine exakte Kalibrierung auf das Basisjahr ermöglicht. An die Kalibrierung anschließend sind die *Prognosen* und Szenarienrechnungen möglich (Louhichi et al., 2010; van Ittersum et al., 2008).

### **SEAMCAP**

SEAMCAP ist ein Agrarsektormodell für Europa und eine Version von CAPRI (Common Agricultural Policy Regional Impact Analysis). Mit SEAMCAP können die Einflüsse veränderter politischer Rahmenbedingungen auf die europäische Landwirtschaft und die globalen landwirtschaftlichen Rohstoffmärkte dargestellt werden. Üblicherweise wird die Entwicklung für die nächsten 8 - 10 Jahre betrachtet, wobei eine Darstellung der Ergebnisse auch auf regionaler Ebene möglich ist. Das statisch partielle Gleichgewichtsmodell SEAMCAP umfasst vier gekoppelte Module: Angebot, Markt, Jungtiere, Politik.

Das *Angebotsmodul* umfasst 50 Tier- und Pflanzenproduktionsverfahren. Ziel ist die Maximierung des landwirtschaftlichen Einkommens unter verschiedenen Vorgaben und Restriktionen. Das internationale *Marktmodul* beinhaltet alle landwirtschaftlichen Primärgüter der EU, aber auch verarbeitete Produkte und ermöglicht bilaterale Handelsströme. Das EU-Marktmodul für *Jungtiere* ermittelt ein Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage und ermöglicht den Handel mit Jungtieren innerhalb der EU-Staaten. Mit dem *Politikmodul* können die Direktzahlungen und andere Subventionen, die sich aus der gemeinsamen Agrarpolitik ergeben, berechnet werden.

Das Lösen dieses Modellverbundes erfolgt durch mehrere Iterationen. Dadurch wird eine Annäherung an ein komparativ-statisches Gleichgewicht erreicht. Die wichtigsten Ergebnisse dieses Modelles sind neben den Handelsströmen, einem Marktgleichgewicht sowie Produzenten- und Konsumentenpreise auch der Anbauumfang von Getreide, die Größe der Tierbestände und die mit diesen Aktivitäten verbundenen Erlöse, Kosten und Erträge und auf regionaler Ebene auch Informationen über die Fütterung und das Nährstoffmanagement. Zusätzlich dazu sind Umweltindikatoren wie z.B. Nährstoffüberschuss und Treibhausgasmissionen, integriert (Mittenzwei et al., 2007; Britz et al., 2010). Um neben der detaillierten Modellierung des EU-Agrarsektors auch die globalen ökonomischen Aktivitäten abbilden

zu können, wurde SEAMCAP mit GTAP, einem allgemeinen Gleichgewichtsmodell, verknüpft (siehe dazu auch Kapitel 3.4) (van Ittersum et al., 2008).

### **EXPAMOD**

Um einen iterativen Rechenprozess innerhalb der Modellkette zu ermöglichen, ist der Datenaustausch zwischen FSSIM und SEAMCAP notwendig. EXPAMOD (Extrapolation Model) ist ein Hochrechnungsmodell, mit dem die einzelbetrieblichen Ergebnisse von FSSIM auf EU-Ebene und damit auf die Aggregationsebene von SEAMCAP projiziert werden (Pérez Domínguez, 2008).

### **PICA**

Mit PICA (Procedure for Institutional Compatibility Assessment) wurde in SEAMLESS ein Instrument implementiert, das es ermöglicht die institutionelle Umsetzbarkeit politischer Maßnahmen zu überprüfen (SEAMLESS, 2009; Theesfeld et al., 2010).

Indem nur eine kleine Anzahl repräsentativer Betriebe abgebildet und simuliert wird, kann der Rechenaufwand stark reduziert werden. Um die einzelbetrieblichen Daten auch auf höhere Ebenen aggregieren zu können, wurden den einzelnen Betriebsformen räumliche Daten zugewiesen, mit denen es möglich ist, die Modellergebnisse der Betriebe auf eine naturräumliche oder regionale Verwaltungsebene hochzurechnen. Für die naturräumliche Betrachtung wurden sogenannte Agrarumweltzonen entwickelt, denen einzelne Betriebe zugeordnet wurden. Die Agrarumweltzonen wurden unter Einbezug der ökologischen Bedingungen entwickelt, und zeichnen sich durch jeweils einheitliche standörtliche Eigenschaften für den Ackerbau aus (Ewert et al., 2006; Elbersen et al., 2006). Mit diesem Ansatz können Konfliktregionen identifiziert werden, die für die Änderung bestimmter Indikatoren besonders anfällig sind, wie z.B. das Risiko für Nährstoffauswaschung (van Ittersum et al., 2008).

Im Rahmen von SEAMLESS wurden die möglichen Auswirkungen einer Umsetzung der Agrarumweltmaßnahme „Nitratrichtlinie“ in der Region der mittleren Pyrenäen in Frankreich beurteilt. Sowohl auf Betriebs- als auch auf regionaler Ebene wurden das Betriebseinkommen und die drei Umweltindikatoren Nitratauswaschung, Erosion und Wasserverbrauch analysiert. Dafür wurde folgender Modellverbund genutzt: CropSyst- FSSIM- Indikatoren. Da das Modell APES sich zum

Zeitpunkt dieser Analyse noch in der Testphase befand, wurde stattdessen das Modell CropSyst eingesetzt. Dies ist ein allgemeines Simulationsmodell für das Pflanzenwachstum. Betrachtet wurden zwei Betriebstypen, deren Hauptunterscheidungsmerkmal die bewässerbare Fläche ist (37% und 13%). Neben dem Baselinezenario wurde die Einführung der Nitratrictlinie als Politikzenario untersucht. Die Ergebnisse zeigten auf betrieblicher und regionaler Ebene, dass veränderte ökologische Vorgaben die Anbauumfänge und Anbauverfahren beeinflussen, vor allem bezüglich des Getreide-, Körnermais- und Sommerfruchtanbaus. Dagegen unterlag das Betriebseinkommen kaum Schwankungen. Da die alternativ angebotenen Düngestrategien im Politikzenario kaum angenommen wurden, änderte sich auch die Nitratauswaschung kaum. Daraus lässt sich ableiten, dass eine Kürzung der Direktzahlungen um 3% bei Verstößen gegen Cross Compliance nicht ausreichend ist. Der Rückgang des Sommerfruchtanbaus zugunsten des Winterfruchtanbaus führte zu einer deutlichen Verringerung der Bodenerosion. Der Wasserverbrauch nahm in dem Betrieb mit einem hohen Anteil bewässerbarer Fläche (hauptsächlich für den Maisanbau) zu, während er in dem Betrieb mit einer geringen bewässerbaren Fläche leicht rückläufig war (SEAMLESS, 2009).

## 4 Beschreibung des Modells EFEM

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es die durch die veränderten Rahmenbedingungen hinsichtlich Energiepflanzenanbau und Naturschutz ausgelösten Entwicklungstrends, insbesondere in der Landbewirtschaftung Baden-Württembergs, herauszustellen, nicht jedoch eine genaue Prognose der Zukunft zu erstellen. Mit dem Modell EFEM ist es möglich die Trends in der Entwicklung der Landwirtschaft auf der einen Seite regional sehr differenziert darzustellen und so die vielfältigen regionalspezifischen Eigenschaften abzubilden. Auf der anderen Seite ermöglicht dieser Modellansatz in einem verhältnismäßig kurzen Zeitraum eine Reihe sehr verschiedener Szenarien zu berechnen und zu analysieren. Auf diese Weise können die Auswirkungen (geplanter) (landes-) politischer Änderungen in kurzer Zeit analysiert werden und gegebenenfalls eine Entscheidungshilfe bieten.

Diese beiden für die vorliegende Fragestellung wichtigen Eigenschaften vereint keines der in Kapitel 3 aufgeführten Modelle, weshalb das am Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (Universität Hohenheim) entwickelte Modell eingesetzt wurde.

Im Folgenden wird zunächst die Untersuchungsregion Baden-Württemberg näher charakterisiert. Dabei wird sowohl auf die natürlichen Gegebenheiten und die regionalen Unterschiede eingegangen als auch ein Überblick über die landwirtschaftliche Nutzung gegeben. Daran anschließend wird das ökonomisch-ökologische Regionalmodell EFEM beschrieben.

### 4.1 Die Untersuchungsregion Baden-Württemberg

Die Landwirtschaft ist in einem besonderen Maße von naturräumlichen Gegebenheiten abhängig. Um eine differenzierte Analyse der Synergie- und Konkurrenzefekte von Naturschutz und Energiepflanzenanbau durchführen zu können, muss dieser Aspekt beachtet werden. Daher wurde für die Modellierung die Einteilung Baden-Württembergs in Vergleichsgebiete genutzt. Diese wurde von der Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume (LEL) zusammen mit dem Ministerium Ländlicher Raum (MLR) und den Regierungspräsidien erstellt. Als Vergleichsgebiete werden Gebiete mit ähnlicher landwirtschaftlicher Ertragsfähigkeit bezeichnet, die sich aufgrund geologischer, topographischer und

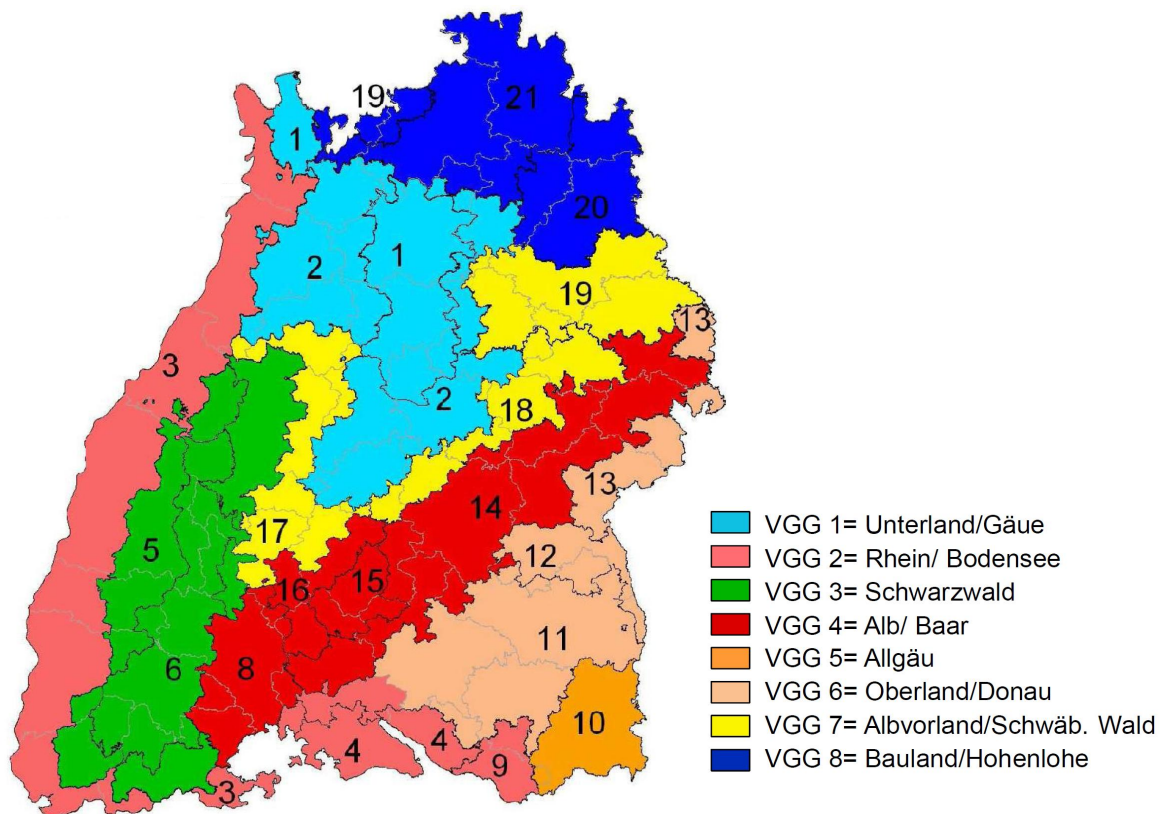
klimatischer Eigenschaften ergeben. Unterschieden werden 21 Vergleichsgebiete (VG), die zu 8 Vergleichsgebietsgruppen (VGG) mit ähnlichen Eigenschaften hinsichtlich der Höhenlage, der Oberflächenform, des Bodens, des Klimas und der Vegetationszeit zusammengefasst werden können. Die natürlichen Bedingungen der 8 VGGs können der Tabelle 3 entnommen werden (MLR, 2007b; MLR, 2011).

*Tabelle 3: Natürliche Bedingungen der Vergleichsgebietsgruppen (VGG)*

Vergleichsgebietsgruppe	Unterland/ Gäue (VGG 1)	Rhein/ Bodensee (VGG 2)	Schwarz- wald (VGG 3)	Alb/ Baar (VGG 4)	Allgäu (VGG 5)	Oberland/ Donau (VGG 6)	Albvorland/ Schwäb. Wald (VGG 7)	Bauland/ Hohenlohe (VGG 8)
Höhenlage (m)	100 - 400	100 - 650	300 - 1000	600 - 1000	600 - 900	500 - 800	400 - 700	150 - 600
Ø Jahrestemperatur (C°)	8,0 - 9,0	8,0 - 9,0	5,5 - 7,0	6,0 - 7,5	6,0 - 7,5	7,0 - 8,0	6,5 - 8,0	6,5 - 8,0
Ø Jahresniederschläge (mm)	650 - 750	550 - 1100	800 - 1500	600 - 1000	1000 - 1600	650 - 800	700 - 1000	600 - 1000
Bodenklimazahl	40 - 80	20 - 70	20 - 40	20 - 40	30 - 50	30 - 60	20 - 60	30 - 50
Ackeranteil (% der AF)	65 - 100	30 - 80	20 - 50	30 - 55	20	50 - 70	30 - 70	30 - 90

Quelle: nach MLR, 2011

Mit der Zusammenfassung einzelner Vergleichsgebiete in Vergleichsgebietsgruppen, die eine ausreichende Anzahl von Buchführungsbetrieben umfassen, wird die Repräsentativität sichergestellt, da die Anzahl der Betriebe in den einzelnen Vergleichsgebieten rückläufig und häufig zu gering ist. Daher werden diese 8 Vergleichsgebietsgruppen auch für die Modellrechnungen herangezogen. Die Struktur der landwirtschaftlichen Betriebe wird in Kapitel 4.2.1 näher beschrieben. Abbildung 4 zeigt die Einteilung Baden-Württembergs in Vergleichsgebiete (Nummern) und ihre Zusammenfassung in Vergleichsgebietsgruppen (Farben) (MLR, 2007b; MLR, 2011; StaLa, 2008).

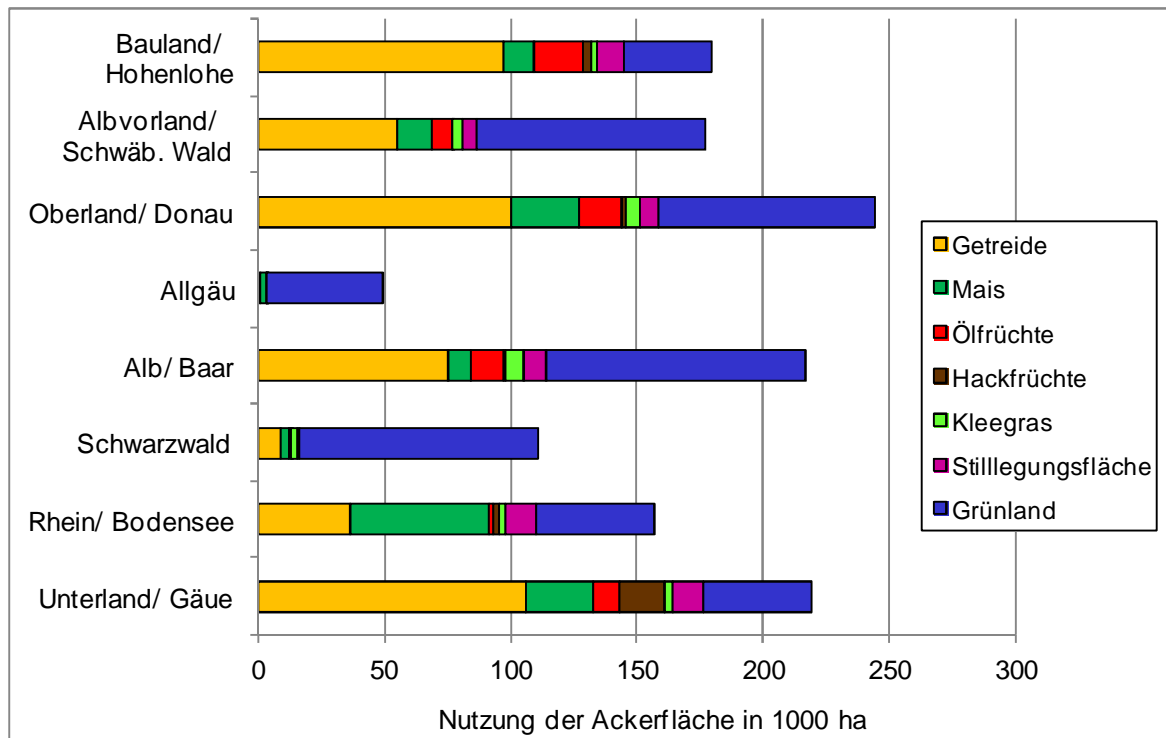


Quelle: nach MLR, 2011

*Abbildung 4: Einteilung Baden-Württembergs in Vergleichsgebietsgruppen*

Insgesamt wurden in Baden-Württemberg im Jahr 2009 etwa 1,4 Mio. Hektar landwirtschaftlich genutzt. Davon waren etwa 837.700 ha Ackerfläche und 545.700 ha Dauergrünland. Wie aus Tabelle 3 ersichtlich, variieren die Anteile von Acker- und Grünland in den einzelnen Vergleichsgebietsgruppen stark, von nahezu reinen Ackerstandorten im Unterland/Gäue bis zu reinen Grünlandstandorten im Allgäu. Während die Ackerfläche in den letzten Jahren kaum abgenommen hat, ist beim Grünland ein deutlicher Rückgang zu beobachten (MLR, 2007b; MLR, 2011).

In den letzten zehn Jahren hat der Anbau von Mais in Baden-Württemberg um über 30% zugenommen, ebenso verzeichneten Winterweizen und Raps eine steigende Anbaufläche. Dagegen wurde der Anbau von Hackfrüchten wie Zuckerrüben und Kartoffeln sowie Sommergetreide und Roggen teilweise stark eingeschränkt. Da die Stilllegungsverpflichtung seit dem Jahr 2008 ausgesetzt wird, nahmen diese Flächen stark ab (MLR, 2007b; MLR, 2011). Die einzelnen Vergleichsgebietsgruppen unterscheiden sich aufgrund ihrer naturräumlichen Gegebenheiten sehr stark in ihrer landwirtschaftlichen Produktion (vgl. Abbildung 5).

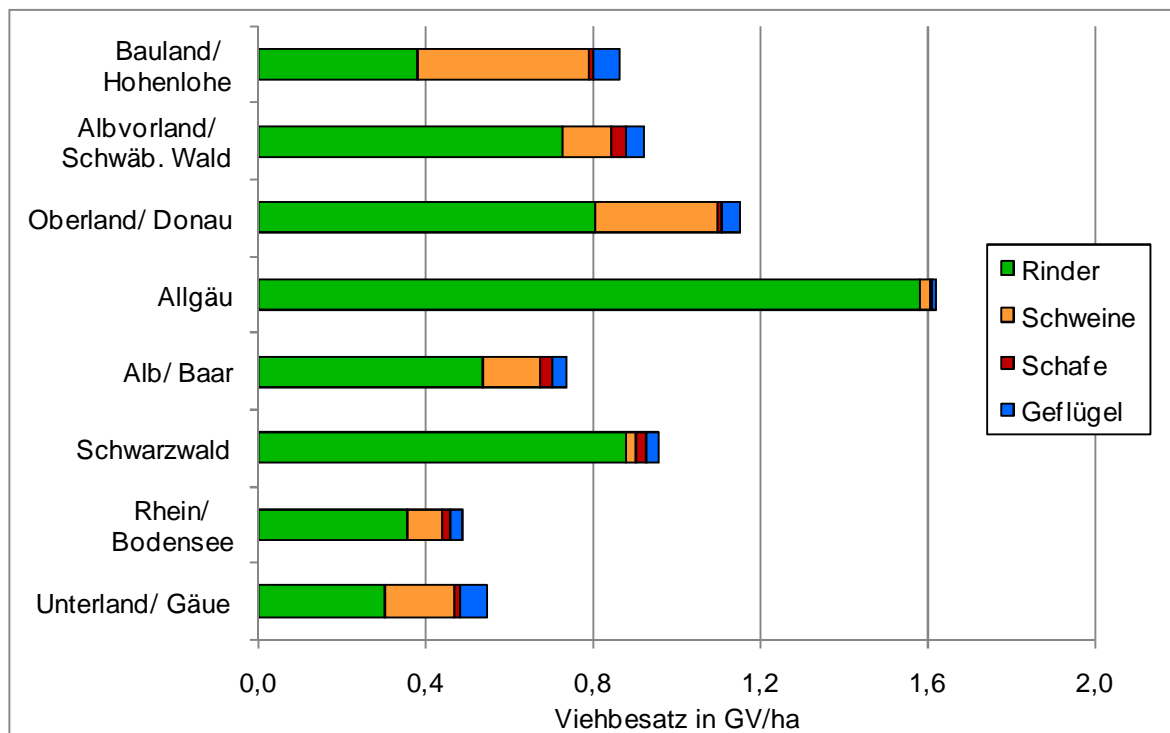


Quelle: nach StaLa, 2008

Abbildung 5: Nutzung der landwirtschaftlichen Fläche in den Vergleichsgebietsgruppen im Jahr 2003 (in 1000ha)

Das fruchtbarste Gebiet Baden-Württembergs ist das Unterland/Gäue (VGG 1). Hier werden auf über 80% der Ackerfläche Marktfrüchte wie Getreide, Körnermais, Zuckerrüben und Kartoffeln angebaut. Aber auch Sonderkulturen wie Wein, Obst, Feldgemüse und Tabak spielen eine wichtige Rolle. Ebenfalls eine ganz ähnliche Flächennutzung weist das Gebiet Rhein/Bodensee (VGG 2) auf. Daneben findet hier auch noch der Anbau von Futterpflanzen statt. Im Schwarzwald (VGG 3) und im Allgäu (VGG 5) dagegen spielt der Ackerbau kaum eine Rolle. Hier sind Futterbaubetriebe vorherrschend. Auch in den Regionen Alb/Baar (VGG 4) und Albvorland/Schwäbischer Wald (VGG 7) ist der Grünlandanteil sehr hoch. Die Ackerfläche wird hier zu fast 90% für den Getreide- und Futterpflanzenanbau genutzt. Im Gebiet Oberland/Donau (VGG 6) herrscht der intensive Ackerbau vor, wobei ein Schwerpunkt auf der Produktion von Getreide, Körnermais und Ölf Früchten liegt, die auf über 90% der Fläche angebaut werden. In der Region Bauland/Hohenlohe werden auf etwa 95% der Ackerfläche Getreide- und Futterpflanzen sowie Ölf Früchte angebaut. Daneben erlauben die besseren Lagen aber auch den Anbau von Zuckerrüben, Körnermais, Obst und Wein (vgl. Abbildung 5) (MLR, 2007b; MLR, 2011; StaLa, 2008).

Auch die Tierhaltung spielt in Baden-Württemberg eine wichtige Rolle in der Landwirtschaft. So ist das Bauland/Hohenlohe durch Schweinehaltung geprägt, während im Allgäu und im Schwarzwald die Milchviehhaltung den wichtigsten Betriebszweig darstellt (vgl. Abbildung 6). Zu beobachten war in den letzten Jahren, dass die Anzahl der Tierhalter abnimmt, die Tiere pro Halter jedoch zunehmen (MLR, 2007b; MLR, 2011).



Quelle: nach StaLa, 2008

Abbildung 6: Großvieheinheiten pro Hektar in den Vergleichsgebietsgruppen im Jahr 2003

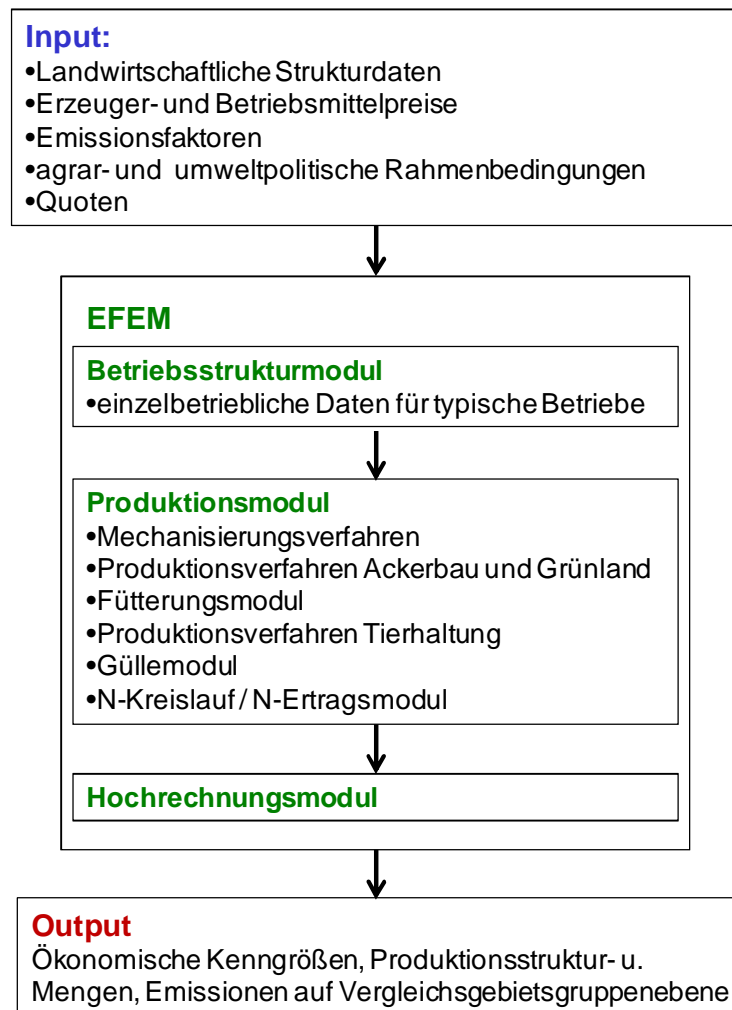
## 4.2 Das ökonomisch-ökologische Regionalmodell

Um für die Vergleichsgebietsgruppen Baden-Württembergs die Wechselwirkungen zwischen dem Anbau von Energiepflanzen und dem Naturschutz abschätzen zu können, wurde das ökonomisch-ökologische Regionalmodell EFEM (Economic Farm Emission Model) angewendet. Dieses Modell beruht auf dem von KAZENWADEL (1999) entwickelten Modell, das zur Beurteilung von regionalen Agrar- und Umweltprogrammen eingesetzt wurde. ANGENENDT (2003) entwickelte das Modell weiter zu EFEM. Die Integration von Emissionsfaktoren ermöglichte die Modellierung klimarelevanter Gase extensiver Futterbaubetriebe auf einzelbetrieblicher Ebene sowie die Bewertung von Minderungsstrategien. SCHÄFER (2006) ergänzte

das Modell um weitere Betriebsformen und Emissionsfaktoren und koppelte es mit dem prozessorientierten Ökosystemmodell DNDC (DeNitrification DeComposition). Mit diesem Modellansatz war es möglich die Treibhausgasemissionen sowohl auf einzelbetrieblicher Ebene als auch auf regionaler Ebene zu analysieren. TRIEBE (2007) passte das Modell für die Untersuchungsregionen Brandenburg und Niedersachsen an und erweiterte es um weitere Verfahrensaktivitäten und Kapazitäten.

In der vorliegenden Arbeit wurde das Modell wieder auf die Untersuchungsregion Baden-Württemberg angepasst. Zunächst erfolgte eine Kalibrierung auf das Referenzjahr 2003. Dieses Jahr wurde gewählt, da zu Beginn der Arbeit die aktuellsten Daten der Agrarstrukturerhebung aus dem Jahr 2003 stammten. Darüber hinaus wurden weitere Verfahrensaktivitäten und Kapazitäten aus dem Bereich der Bioenergieerzeugung sowie Naturschutzrestriktionen implementiert. Dies wird im Folgenden näher erläutert.

Mit EFEM ist es möglich alle bedeutenden landwirtschaftlichen Betriebsformen Baden-Württembergs und deren wichtigsten Produktionsverfahren der Tier- und Pflanzenproduktion abzubilden. Es basiert auf statisch linearer Programmierung (LP) und ist ein Angebotsmodell. Die Zielfunktion ist die Maximierung des Deckungsbeitrages. Abbildung 7 zeigt den Modellaufbau von EFEM und macht deutlich, dass die Betriebsmittel- und Erzeugerpreise sowie die betrieblichen Kapazitäten der Modellbetriebe exogen (als Inputdaten) vorgegeben werden. Das eigentliche Modell setzt sich aus den Modulen „*Betriebsstruktur*“, „*Produktion*“ und „*Hochrechnung*“ zusammen. Durch die Verknüpfung des Betriebsstrukturmoduls und des Produktionsmoduls entstehen die Outputdaten wie beispielsweise der Deckungsbeitrag oder die Emissionen.



Quelle: nach Angenendt et al, 2010

Abbildung 7: Modellaufbau von EFEM

Im Folgenden werden die einzelnen Teilmodule kurz erläutert, auf eine ausführliche Beschreibung wird aber verzichtet, da auf einen bestehenden Modellansatz aufgebaut wurde und die detaillierten Beschreibungen bei KAZENWADEL (1999), ANGENENDT (2003), SCHÄFER (2006) und TRIEBE (2007) eingesehen werden können.

#### 4.2.1 Betriebsmodelle und die Hochrechnung

Das Teilmodul *Betriebsstruktur* ermöglicht mithilfe von Betriebsmodellen die Darstellung der wichtigsten Betriebstypen Baden-Württembergs. Als Grundlage für die Betriebsmodelle dienen die einzelbetrieblichen Buchführungsabschlüsse des Testbetriebsnetzes (INLB) im Referenzjahr 2003/2004. Die Betriebe sind nach den Betriebstypen der EU-Klassifizierung unterteilt und wurden auf Ebene der Vergleichsgebietsgruppen ausgewertet. Für jede VGG wurden bis zu fünf existente typische

Betriebe ausgewählt, deren Faktorausstattung weitestgehend mit den durchschnittlichen Kapazitäten der Betriebe der entsprechenden Betriebsform übereinstimmen. Um eine Hochrechnung auf die regionale Ebene zu ermöglichen, mussten die Kapazitäten der Betriebe angepasst werden, woraus sich die Betriebsmodelle ergaben. Unterschieden wird zwischen den Betriebstypen Ackerbau, Futterbau, Veredlung und Verbund. Die Kapazitäten der Betriebsmodelle bilden die Restriktionen des Betriebsstrukturmoduls. Nachdem durch die Verknüpfung des Betriebsstrukturmoduls und des Produktionsmoduls Ergebnisse wie beispielsweise der betriebliche Deckungsbeitrag, der Faktoreinsatz, die Struktur und die Menge der landwirtschaftlichen Produktion und die Umweltwirkungen errechnet wurden, werden die einzelbetrieblichen Ergebnisse mit Hochrechnungsfaktoren, die mittels eines linearen Optimierungsansatzes ermittelt wurden, auf die regionale Ebene projiziert.

Der lineare Optimierungsansatz basiert auf dem von KAZENWADEL (1999) entwickelten Hochrechnungsmodul und wurde weiterentwickelt. Die typischen Modellbetriebe werden dabei so angepasst und gewichtet, dass die regionalen Gesamtkapazitäten der tatsächlichen Kapazität möglichst exakt entsprechen. Durch eine Gewichtung der Kapazitäten mit den entsprechenden Standarddeckungsbeiträgen wird eine Über- oder Unterschätzung vermieden. Die genauen mathematischen Grundlagen sind bei SCHÄFER (2006) beschrieben. Der Ansatz wurde um die Möglichkeit erweitert bei den einzelnen Produktionskapazitäten unterschiedlich starke Abweichungen zuzulassen. Durch den Einsatz eines Faktors kann die Über- bzw. Unterschätzung auf einen Bereich zwischen 0 und 200% des realen Wertes festgelegt werden. Auf diese Weise ist es beispielsweise möglich in einer Region mit einer sehr geringen Anzahl von Masthähnchen (wie z.B. im Allgäu, rund 700 Masthähnchen) eine um 100% höhere Anzahl an Hähnchen (1.400 Stück) zuzulassen und damit eine genauere Abbildung, beispielsweise der in dieser Region sehr wichtigen Milchkühe, zu erreichen.

In Tabelle 4 sind die Kapazitäten der Betriebsmodelle, die mithilfe des Optimierungsansatzes ermittelt wurden, aufgeführt.

**Tabelle 4:** Kapazitäten der angepassten Betriebe in den einzelnen Vergleichsgebietsgruppen

Betriebsform	Ackerfläche	Grünland	Zuckerrüben	Kartoffeln	Mastbullen	Milchkühe	Mutterkühe	Mastschweine	Zuchtsauen	Legehennen	Masthähnchen
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(Plätze)	(Plätze)	(Plätze)	(Plätze)	(Plätze)	(Plätze)	(Plätze)
<b>VGG 1: Unterland/Gäue</b>											
Ackerbau	85,0	7,0	7,1	1,7	6,0		3,0				
Futterbau	40,0	63,1	4,2			63,0					
Verbund 1	35,0							342,0	54,0		
Verbund 2	50,0		6,6					2,0	75,0		
Veredlung	45,0									13.118,0	1.650,0
<b>VGG 2: Rhein/Bodensee</b>											
Ackerbau 1	66,4		3,3	1,0				113,0	20,0	680,0	
Ackerbau 2	79,2	24,0		1,6	4,0		9,0	21,0		76,0	
Futterbau	24,3	45,0				45,0					
Verbund	42,7	15,0			7,0	10,0					
Veredlung	32,4		4,9						103,0		
<b>VGG 3: Schwarzwald</b>											
Futterbau 1	5,3	39,5		0,3		28,0		14,0		40,0	
Futterbau 2	10,0	58,0		0,2	7,0	21,0	13,0			100,0	
Verbund	29,0	19,0		0,1	2,0	8,0	8,0	29,0	51,0		
<b>VGG 4: Alb/Baar</b>											
Ackerbau	57,2	28,0		0,4	8,0	8,0				256,0	
Futterbau 1	21,4	52,0				40,0					
Futterbau 2	44,5	57,4		0,5	21,0		45,0				
Verbund	78,3							509,0	165,0		
Veredlung	45,1										10.000,0
<b>VGG 5: Allgäu</b>											
Futterbau 1		48,0				50,0	2,0				
Futterbau 2	5,8	33,0			2,0	39,0		30,0	12,0	5,0	
Futterbau 3	4,0	30,7			2,0	37,0				28,0	
Verbund	57,9	22,0			0,0	22,0					
<b>VGG 6: Oberland/Donau</b>											
Ackerbau	63,9		3,3					20,0	43,0	2.130,0	
Futterbau	45,0	30,0			8,0	39,0	2,0				
Verbund 1	38,7			0,6				460,0	66,0		
Verbund 2	31,6	27,4		1,5	5,0	16,0	6,0				680,0
Veredlung	43,6								269,0		
<b>VGG 7: Albvorland/Schwäbischer Wald</b>											
Ackerbau	71,3			2,0				250,0			
Futterbau	17,9	40,0			7,0	33,0			15,0		
Verbund 1	47,7	47,0		0,3	9,0	31,0	6,0			280,0	
Verbund 2	40,3		1,9	1,6							25.000,0
Veredlung	33,9	48,9	0,4				31,0	168,0	130,0		
<b>VGG 8: Bauland/Hohenlohe</b>											
Ackerbau	44,4		4,7	0,2							200,0
Futterbau	31,0	35,0		0,5	5,0	25,0					
Verbund 1	27,5	20,0					30,0				
Verbund 2	65,2	18,3			6,0	20,0					
Veredlung	58,3		2,5					280,0	200,0	750,0	
<b>Baden-Württemberg</b>											
Insgesamt	837323,0	544105,0	20594,0	6810,0	91029,0	398290,0	63219,0	652419,0	299859,0	2662045,0	862607,0

Quelle: eigene Darstellung

## **4.2.2 Das Produktionsmodul**

Das *Produktionsmodul* ist das zentrale Element des Modells, da es mit den integrierten Produktionsverfahren der Tier- und Pflanzenproduktion möglich ist die Landwirtschaft Baden-Württembergs abzubilden. Die Produktionsverfahren können hinsichtlich Erträgen, Intensitäten, Leistungen und Kosten regional unterschieden werden. Ebenso enthalten sind die Komponenten zur Ermittlung der produktionsbedingten Emissionen. Es ist möglich, die Emissionen nach ihren Produktionsbereichen zu unterscheiden und den Entstehungsorten „vorgelagerter Bereich“, „Landwirtschaft“ und „nachgelagerter Bereich“ zuzuordnen.

### **4.2.2.1 Bezugs- und Absatzkapazitäten**

Die Verfahren der Tier- und Pflanzenproduktion basieren auf den in Tabelle 5 und Tabelle 6 aufgeführten Erzeuger- und Betriebsmittelpreisen. Die Preise wurden überwiegend aus den Marktbilanzen der Zentralen Markt- und Preisberichtsstelle (ZMP) sowie dem Statistischen Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2006 (Stat. Jahrbuch) entnommen. Um die Preisschwankungen der einzelnen Jahre, insbesondere des ungewöhnlich warmen Jahres 2003, auszugleichen, wurden, soweit möglich, Durchschnittspreise über drei bzw. vier Jahre gebildet. Alle Preise werden ohne Mehrwertsteuer ausgewiesen.

Tabelle 5: Durchschnittliche Erzeugerpreise für das Referenzjahr 2003

Produkt	Einheit	€/Einheit	Zeitspanne	Quelle
<b>Pflanzenproduktion</b>				
Winterweizen	dt	12,11	2001/02 - 2003/04	ZMP 2005b
Sommerweizen	dt	11,60	2001/02 - 2003/04	ZMP 2005b
Wintergerste	dt	10,15	2001/02 - 2003/04	ZMP 2005b
Sommergerste	dt	12,94	2001/02 - 2003/04	ZMP 2005b
Hafer	dt	9,55	2001/02 - 2003/04	ZMP 2005b
Roggen	dt	10,00	2001/02 - 2003/04	ZMP 2005b
Körnermais	dt	13,33	2001/02 - 2003/04	ZMP 2005b
Winterraps	dt	23,67	2001/02 - 2003/04	ZMP 2005b
Sonnenblumen	dt	21,64	2001/02 - 2003/04	KTBL 2004, KTBL-Datenbank
Zuckerrüben	dt	3,78	2001/02 - 2003/04	Stat. Jahrbuch 2006
Kartoffeln	dt	9,38	2001/02 - 2003/04	ZMP 2004c
<b>Energiepflanzen</b>				
Raps (Non Food)	dt	20,45	2001/02 - 2003/04	nach ZMP 2005b
Silomais	dt	1,63	2001/02 - 2003/04	KTBL 2004
<b>tierische Produkte</b>				
Bullenkalb	Stück	170,17	2001/02 - 2003/04	ZMP 2003, ZMP 2005c
Kuhkalb	Stück	89,97	2001/02 - 2003/04	ZMP 2003, ZMP 2005c
Milch	kg	0,23	2001/02 - 2003/04	ZMP 2004d
Altkuh	Stück	669,28	2001/02 - 2003/04	ZMP 2004e
Mastbulle	kg	2,55	2001/02 - 2003/04	ZMP 2004e
Färse	kg	2,20	2001/02 - 2003/04	ZMP 2004e
Ferkel	Stück	43,33	2001/02 - 2003/04	ZMP 2003
Mastschwein	kg	1,30	2001/02 - 2003/04	ZMP 2003, ZMP 2005c
Altsau	Stück	160,11	2001/02 - 2003/04	ZMP 2003, ZMP 2005c
Küken	Stück	0,49	2003 - 2004	Landw. Wochenblatt <sup>1</sup>
Junghenne	Stück	4,13	2003 - 2004	Landw. Wochenblatt <sup>1</sup>
Eier	Stück	0,08	2001/02 - 2003/04	Stat. Jahrbuch 2006
Schlachthenne	kg LG	0,08	2001/02 - 2003/04	ZMP 2004a
Broiler	Stück	1,08	2001/02 - 2003/04	ZMP 2004a

<sup>1</sup> Landwirtschaftliches Wochenblatt Westfalen-Lippe (2003/2004)

Tabelle 6: Durchschnittliche Betriebsmittelpreise für das Referenzjahr 2003

Produkt	Einheit	€/Einheit	Zeitspanne	Quelle
<b>Dünger</b>				
Stickstoff	kg	0,55	2001/02 - 2003/04	Stat. Jahrbuch 2006
Phosphor	kg	0,56	2001/02 - 2003/04	Stat. Jahrbuch 2006
Kali	kg	0,30	2001/02 - 2003/04	Stat. Jahrbuch 2006
Kalk	kg	0,07	2001/02 - 2003/04	Stat. Jahrbuch 2006
<b>Futtermittel</b>				
Trockenschnitzel	dt	11,36	2001/02 - 2003/04	Stat. Jahrbuch 2006
Soja	dt	24,10	2000/01 - 2003/04	Stat. Jahrbuch 2006
Milchleistungsfutter	dt	15,33	2000/01 - 2003/04	Stat. Jahrbuch 2006
Weizenkleie	dt	8,00	2000/01 - 2003/04	Stat. Jahrbuch 2006
Milchaustauscher	dt	138,28	2000/01 - 2003/04	Stat. Jahrbuch 2006
Alleinfutter Legehennen	dt	20,93	2000/01 - 2003/04	Stat. Jahrbuch 2006
Alleinfutter Broiler	dt	23,17	2001/02 - 2003/04	Stat. Jahrbuch 2006
<b>Energie</b>				
Diesel	l	0,75	2001/02 - 2003/04	Stat. Jahrbuch 2006
Strom	kWh	0,12	2001/02	Stat. Jahrbuch 2006
Heizöl leicht	l	0,31	2001/02 - 2003/04	Stat. Jahrbuch 2006

#### 4.2.2.2 Produktionsverfahren

In EFEM können folgende Produktionsverfahren, die anschließend näher beschrieben werden, unterschieden werden: Ackerbau, Grünland, Bioenergieträger und Tierhaltung.

##### **Ackerbau**

Für die Erzeugung von Lebens- und Futtermitteln sind in EFEM folgende Ackerbaukulturen integriert: Winterweizen, Sommerweizen, Wintergerste, Sommergerste, Hafer, Roggen, Körnermais, Silomais, Winterraps, Sonnenblumen, Zuckerrüben, Kartoffeln und Klee gras. Daneben sind als Stilllegungsvarianten die Möglichkeit der Selbstbegrünung, der gezielten Begrünung und des Anbaus nachwachsender Rohstoffe integriert. Damit werden die wichtigsten Kulturen aus diesen Bereichen für Baden-Württemberg berücksichtigt. In Tabelle 7 sind die Kulturen sowie deren Fruchtfolgeanteile im Referenzjahr 2003 dargestellt. Die Fruchtfolge hat für die realitätsnahe Abbildung der Referenzsituation eine besondere Bedeutung, da sie für

jede Vergleichsgebietsgruppe separat erstellt und angepasst werden kann. Somit ist eine Anpassung der Anbauumfänge an das Referenzjahr 2003 möglich. Zusätzlich wird der Anbau von Kartoffeln durch die Beschränkung der Vermarktungsmöglichkeiten begrenzt, der Anbau von Zuckerrüben aufgrund der Zuckermarktordnung durch einzelbetriebliche Quoten.

*Tabelle 7: Maximale Fruchtfolgeanteile in den Vergleichsgebietsgruppen für das Referenzjahr 2003*

	VGG_1	VGG_2	VGG_3	VGG_4	VGG_5	VGG_6	VGG_7	VGG_8
<b>Getreide gesamt</b>	60%	36%	55%	67%	30%	60%	70%	75%
<b>Wintergetreide</b>	60%	50%	50%	50%	17%	50%	40%	50%
<b>Sommergetreide</b>	23%	12%	30%	28%	9%	50%	25%	20%
<b>Weizen gesamt</b>	33%	30%	30%	33%	60%	50%	30%	30%
<b>Gerste gesamt</b>	20%	20%	30%	20%	60%	50%	30%	30%
<b>Mais gesamt</b>	31%	80%	50%	20%	80%	70%	50%	60%
<b>Silomais</b>	10%	7%	19%	8%	50%	15%	14%	8%
<b>Körnermais</b>	8%	40%	3%	0%	1%	2%	1%	1%
<b>Winterraps</b>	6%	2%	3%	11%	1%	11%	9%	13%
<b>Sonnenblumen</b>	1%	0%	0%	0%	5%	0%	0%	1%
<b>Zuckerrüben</b>	15%	25%	0%	15%	33%	5%	33%	20%
<b>Kartoffeln</b>	30%	30%	3%	2%	33%	33%	33%	33%
<b>Kleegras</b>	25%	25%	20%	6%	17%	5%	25%	3%

Quelle: eigene Darstellung

Um witterungsbedingte Schwankungen der einzelnen Jahre für die Ermittlung der Erträge für das Jahr 2003 auszugleichen, wurden die Durchschnittswerte der Jahre 2001 bis 2005 ermittelt. Diese Durchschnittswerte bilden als Basiserträge die Grundlage für die standortspezifische Ertragsfunktion (vgl. dazu Tabelle 8). Die Daten zu den Erträgen wurden vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg nach Vergleichsgebieten unterteilt bereitgestellt.

**Tabelle 8:** *Basiserträge der einzelnen Ackerbaukulturen im Referenzjahr 2003 (in dt/ha)*

	VGG_1	VGG_2	VGG_3	VGG_4	VGG_5	VGG_6	VGG_7	VGG_8
	dt/ha							
Winterweizen	71,26	64,52	51,68	65,02	71,58	73,78	63,76	69,36
Sommerweizen	58,96	53,98	44,22	53,26	61,08	61,86	52,00	57,32
Wintergerste	62,86	54,82	46,82	55,46	59,94	61,68	55,74	59,66
Sommergerste	53,36	46,70	42,96	47,60	52,44	52,98	48,12	47,94
Hafer	52,64	50,14	45,36	50,14	54,08	54,88	49,30	49,82
Roggen	60,40	49,52	47,36	52,46	52,46	62,06	52,06	60,38
Körnermais	95,00	97,00	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00
Winterraps	35,98	35,00	31,66	33,66	33,66	35,50	34,28	32,32
Sonnenblumen	29,64	26,84	20,88	26,64	26,64	20,88	23,10	27,44
Zuckerrüben	618,96	554,80	554,80	581,36	581,36	625,16	603,12	585,90
Kartoffeln	350,28	351,30	299,72	321,76	321,76	357,48	312,04	327,78
Silomais	442,74	480,00	388,44	419,92	445,64	455,52	432,06	442,92
Kleegras	475,00	475,00	475,00	475,00	720,00	617,50	475,00	475,00
Miscanthus	187,50	187,50	187,50	187,50	187,50	187,50	187,50	187,50
Pappeln	114,25	114,25	114,25	114,25	114,25	114,25	114,25	114,25
Weiden	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00

Quelle: eigene Darstellung

Die nachhaltige und umweltfreundliche Landbewirtschaftung wird in Baden-Württemberg durch den Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich (MEKA) gefördert. In EFEM werden diese umweltgerechten Bewirtschaftungsmöglichkeiten durch bis zu acht Anbauverfahren (z.B. ohne Einsatz von Pflanzenschutzmittel) und die entsprechend angepassten Erträge abgebildet. Zusätzlich sind für jedes Anbauverfahren Düngintensitäten zwischen 0 und 260 kg N/ha, unterteilt in Schritte von je 20 kg N/ha, integriert.

### **Grünland**

Mit einem Anteil von etwa 40% an der landwirtschaftlichen Nutzfläche kommt auch dem Grünland in Baden-Württemberg eine große Bedeutung zu. Daher wird es in EFEM ebenfalls sehr disaggregiert abgebildet. Unterschieden werden die drei Nutzungsmöglichkeiten Weide, Heu und Silage mit jeweils bis zu fünf Schnittintensitäten. Die Basiserträge, die in Tabelle 9 aufgeführt sind, bilden die Grundlage für die Berechnung der Ertragsfunktion. Sie beruhen auf standortunabhängigen Erträgen, werden mit regionalen Ertragsfaktoren gewichtet und so an die Vergleichsgebietsgruppen angepasst (siehe dazu auch KAZENWADEL, 1999). Daneben sind für jede Schnittintensität Düngintensitäten zwischen 0 und bis zu 300 kg N/ha integriert, unterteilt in Schritte von je 20 kg N/ha.

**Tabelle 9:** *Basiserträge für die verschiedenen Nutzungsformen des Grünlandes in den einzelnen Vergleichsgebietsgruppen (in Form von Nettoerträgen, in dt TM/ha)*

		VGG_1	VGG_2	VGG_3	VGG_4	VGG_5	VGG_6	VGG_7	VGG_8
		dt TM/ha							
<b>Weide</b>	1 Nutzung	33,9	33,9	28,6	33,9	42,8	37,5	33,9	33,9
	2 Nutzungen	56,5	56,5	47,6	56,5	71,4	62,5	56,5	56,5
	3 Nutzungen	68,6	68,6	57,8	68,6	86,7	75,9	68,6	68,6
	4 Nutzungen	77,5	77,5	65,3	77,5	97,9	85,7	77,5	77,5
	5 Nutzungen	82,4	82,4	69,4	82,4	104,0	91,0	82,4	82,4
<b>Heu</b>	1 Nutzung	31,9	31,9	26,9	31,9	40,3	35,3	31,9	31,9
	2 Nutzungen	53,2	53,2	44,8	53,2	67,2	58,8	53,2	53,2
	3 Nutzungen	64,6	64,6	54,4	64,6	81,6	71,4	64,6	64,6
<b>Silage</b>	3 Nutzungen	68,6	68,6	57,8	68,6	86,7	75,9	68,6	68,6
	4 Nutzungen	77,5	77,5	65,3	77,5	97,9	85,7	77,5	77,5
	5 Nutzungen	82,4	82,4	69,4	82,4	104,0	91,0	82,4	82,4

Quelle: eigene Darstellung

Mit den unterschiedlichen Nutzungsintensitäten ist es auch für das Grünland möglich, die umweltgerechten Bewirtschaftungsweisen von MEKA, aber auch weitergehende Naturschutzvorgaben abzubilden.

### **Bioenergieträger**

Für die Produktion von Bioenergieträgern hat TRIEBE (2007) in EFEM folgende Verfahren integriert: Silomais und Klee gras für die Verwertung in der Biogasanlage, Getreide zur Ethanolproduktion, Stroh für die Verbrennung und Raps für die Produktion von Biodiesel. Da ein Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit auf dem Anbau von Energiepflanzen liegt, wurden die Daten von TRIEBE (2007) aktualisiert und das Modell um weitere Verfahren zur Erzeugung von Bioenergieträgern ergänzt. Zum einen wurde das Verfahren der Nutzung von Dauergrünland für die Biogaserzeugung implementiert, zum anderen der Anbau der mehrjährigen Kulturen Pappeln, Weiden und Miscanthus für die Verbrennung. Für alle erzeugten Energiepflanzen wird angenommen, dass sie an die entsprechenden Weiterverarbeitungsanlagen verkauft werden können. D.h. es wird von einer vollkommen elastischen Nachfrage ausgegangen. Mit dem Anbau der Pflanzen werden gleichzeitig auch die für deren Verwertung notwendigen Anlagen bereitgestellt. Den Preisen für die Bioenergieträger liegen Marktpreise zugrunde. Das EEG und die damit verbundene Förderung wurde nicht in das Modell implementiert.

Im Modell ist für die energetische Verwertung von Silomais, Klee gras und Dauergrünland die Nutzung als Silage in der Biogasanlage vorgesehen (siehe dazu Tabelle 10). Dabei wird angenommen, dass mit einer Tonne Mais 674 kWh erzeugt werden, mit einer Tonne Klee gras oder Gras 685 kWh (vgl. Tabelle 11), wobei 46% der Energie in Form von Strom und 54% als Wärme anfallen (vgl. Tabelle 12). Die Produktion von Silomais, Klee gras und Dauergrünland für die Biogaserzeugung orientiert sich an den Fütterungsvarianten. Bei der Dauergrünlandnutzung werden drei Schnittintensitäten mit verschiedenen Düngeintensitäten zwischen 0 und 300 kg N/ha unterschieden, wobei die Erträge der Fütterungsvariante entsprechen (vgl. dazu Tabelle 9), der Energieertrag ist beispielhaft für eine Silage mit 3 Schnitten und 60 kg N-Düngung in Tabelle 11 aufgeführt. Für die Biogasproduktion wird unterstellt, dass die den angelieferten Substratmengen entsprechenden Gärrestmengen zurückgenommen und als Dünger auf den landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden.

Mit den Getreidearten Winterweizen und Winterroggen ist im Modell die Erzeugung von Ethanol möglich (vgl. Tabelle 10). Aus einer Tonne Winterweizen können 304 kg Ethanol produziert werden, aus einer Tonne Winterroggen 293 kg (vgl. Tabelle 12). Bei der Ethanolproduktion fällt als Nebenprodukt Schlempe an, die getrocknet als eiweißreiches Futtermittel eingesetzt werden kann und der Substitution von Sojaschrot dient (siehe dazu auch Triebe, 2007 und KTBL, 2006). Daneben gibt es für jedes Getreideanbauverfahren im Modell die Möglichkeit das Stroh zu Ballen zu pressen und anschließend der Verbrennung zuzuführen. Aus einer Tonne Stroh können dabei 3446 kWh in Form von Wärme erzeugt werden. Mit einer Bilanzzeile wird die Einhaltung der Humusbilanz gewährleistet, wobei die Humuslieferung auch durch den Anbau von Zwischenfrüchten erfolgen kann.

Die Produktion von Biodiesel ist im Modell aus Raps möglich (vgl. Tabelle 10). Dabei fallen pro Tonne Raps 347 kg Biodiesel an (vgl. Tabelle 12) sowie als Nebenprodukte Rapsschrot und Glycerin. Wie Schlempe stellt auch Rapsschrot ein proteinreiches Futtermittel dar, während Glycerin beispielsweise in Frostschutzmitteln oder Kosmetika zum Einsatz kommt.

Für die mehrjährigen Kulturen Pappeln, Weiden und Miscanthus ist im Modell der Verwertungspfad der Verbrennung vorgesehen (vgl. Tabelle 10). Für alle drei Kulturen werden jeweils zwei Nutzungsintensitäten unterschieden. Aus einer Tonne

Pappel- oder Weidenhackschnitzel können 2795 kWh in Form von Wärme und aus einer Tonne Miscanthus 3305 kWh erzeugt werden. Überwiegend alle diesen Kulturen zugrunde liegenden Daten wurden dem KTBL (2006) entnommen.

*Tabelle 10: In EFEM integrierte Energiepflanzen und deren Verwertungspfade*

Kultur	Nahrungs- und Futtermittel	Bioenergiepfad		
		Biogasanlage	Kraftstoff	Verbrennung
Weizen	X		X	X (nur Stroh)
Gerste	X			X (nur Stroh)
Hafer	X			X (nur Stroh)
Roggen	X		X	X (nur Stroh)
Winterraps	X		X	
Silomais	X	X		
Kleegras	X	X		
Dauergrünland	X	X		
Miscanthus				X
Kurzumtriebsplantagen (Weiden, Pappeln)				X

Quelle: eigene Darstellung

*Tabelle 11: Erträge und Energieerträge der in EFEM integrierten Energiepflanzen*

	Ertrag		Energieertrag	
	dt TM/ha	kWh/dt TM	kWh/ha	
<b>Winterweizenstroh</b>	59	345	20.407	
<b>Roggenstroh</b>	49	345	16.975	
<b>Winterweizen, Ethanol</b>	66	236	15.511	
<b>Roggen, Ethanol</b>	55	214	11.728	
<b>Winterraps</b>	34	384	12.949	
<b>Miscanthus, mittlere Erträge</b>	188	330	61.966	
<b>Miscanthus, niedrige Erträge</b>	125	330	41.311	
<b>Pappeln, mittlere Erträge</b>	114	279	31.930	
<b>Pappeln, niedrige Erträge</b>	69	279	19.144	
<b>Weiden, mittlere Erträge</b>	80	279	22.358	
<b>Weiden, niedrige Erträge</b>	46	279	12.786	
	dt FM/ha	kWh/dt FM	kWh/ha	
<b>Silomais</b>	436	67	29.382	
<b>Kleegras, Silage</b>	370	69	25.345	
<b>Dauergrünland, Silage *</b>	178	69	12.200	

\*3 Schnitte, 60 kg N-Düngung

Quelle: eigene Berechnungen nach KTBL, 2006 und Öko-Institut, 2010; Triebe, 2007

Mit EFEM ist es auch möglich die Nutzung der Energiepflanzen sowie ihrer Nebenprodukte bezüglich ihrer Klimafreundlichkeit im Vergleich zu fossilen Energieträgern zu bewerten. Dies erfolgt in Form von CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Nettogutschriften, die den jeweiligen Anbauverfahren gutgeschrieben werden.

In Tabelle 12 sind die Nutzung der Energiepflanzen, ihr Substitutionspotential und die daraus resultierenden Gutschriften in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten aufgeführt. Die Vergleichsbasis ist jeweils eine Dezitonne Frischmasse bezogen auf den Prozessinput (Referenzfluss), wobei nur der dem Anbau nachgelagerte Bereich bewertet wird.

Die Tabelle zeigt eindrücklich, dass die Höhe der Treibhausgasemissionen, die bei der Umwandlung der Energiepflanzen in Energie und die entsprechenden Neben- bzw. Koppelprodukte entstehen, je nach Energieträger sehr unterschiedlich ist. So entstehen bei der Erzeugung von Biokraftstoffen deutlich mehr Emissionen als bei Biogas aus Silomais oder der Verwertung von Biofestbrennstoffen. Dies ist auf die aufwendigeren Konversionsprozesse zurückzuführen.

Der Energieertrag, der pro Dezitonne Frischmasse erzielt werden kann, variiert ebenfalls stark zwischen den Bioenergieträgern. Dies hat seinen Grund in den sehr unterschiedlichen Trockenmassegehalten und Beschaffenheiten der Energiepflanzen. So liegt der Energieertrag der dargestellten Festbrennstoffe zwischen 195,6 (KUP) und 327,19 (Stroh) kWh je Dezitonne Frischmasse. Die unterschiedlichen Eigenschaften sowie die Treibhausgasemissionen, die im nachgelagerten Bereich entstehen (vgl. Tabelle 12 „THG-Emissionen Konversion“), erklären auch die sehr unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Äquivalent Gutschriften (sowohl Brutto- als auch Nettogutschriften). Die höchste Nettogutschrift pro Hektar erreichen Silomais (11951 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente) und Miscanthus (11680 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente) aufgrund ihrer hohen Erträge. Deutlich geringere Gutschriften werden dagegen bei der Produktion von Biokraftstoffen erzielt, wobei die Nettogutschrift für eine Dezitonne Raps mehr als doppelt so hoch ist, wie für eine Dezitonne Winterweizen oder Roggen. Dies begründet sich zum einen darin, dass das Substitutionsprodukt Diesel mit 3,1 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten je Liter höher als der des Benzins (2,9 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente je Liter) ist. Zum anderen fällt bei der Biodieselproduktion eine höhere Menge an Koppelprodukten an. Die geringste Nettogutschrift pro Hektar wird mit 2259 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten bei der Produktion von Bioethanol aus Roggen gewonnen.

**Tabelle 12:** Vergleich der Bioenergieträger Hackschnitzel, Miscanthus, Stroh, Biogas, RME und Ethanol hinsichtlich der Klimafreundlichkeit

Kultur	KUP	Miscanthus	Getreidestroh	Silomais	Grasgemenge	Raps	Winterweizen	Roggen
Referenzfluss: 1dt Frischmasse								
Prozess/Verwertung	HS-HW	Misc.-HW	Stroh-HW	Biogas	Biogas	RME	Bioethanol	Bioethanol
Heizwert (kWh/dt FM)	224,9	269	367,6					
Nutzungsgrad (%)	87	86	89					
THG-Emissionen Konversion (kg CO <sub>2</sub> e/dt FM)	4,3	5,5	7	2,6	2,6	29,2	25,1	23,4
<b>Hauptoutput</b>								
kWh Thermisch	195,6	231,3	327,2	36,3	36,9			
kWh Elektrisch				31,1	31,6			
kg RME						34,7		
kg Ethanol							30,4	29,3
<b>Koppelprodukte</b>								
kg Rapsschrot						59,1		
kg Glycerin						3,4		
kg Trockenschlempe							30,8	29,7
<b>Brutto Gutschriften</b> (kg CO <sub>2</sub> e/dt)	57,4	67,8	95,9	29,4	29,9	148,2	68,1	65,6
<b>Netto Gutschriften</b> (kg CO <sub>2</sub> e/dt)	53	62,3	88,9	26,9	27,3	119,1	43	42,2
<b>Frischmasse Ertrag</b> (dt FM/ha)	114,3	187,5	55,1	445,1	104,1	33,9	68,9	53,5
<b>Brutto Gutschriften</b> (kg CO <sub>2</sub> e /ha)	6.553,8	12.718,8	5.288,1	13.085,9	3.111,3	5.025,4	4.692,3	3.508,6
<b>Netto Gutschriften</b> (kg CO <sub>2</sub> e/ha)	6.059,4	11.680,7	4.902,1	11.951,2	2.841,5	4.036,7	2.963,0	2.258,7

Quelle: eigene Berechnungen nach GEMIS 4.5 und Öko-Institut, 2010

### **Tierhaltung**

Neben dem Ackerbau spielt die Tierhaltung in Baden-Württemberg eine wichtige Rolle und wird daher ebenfalls sehr disaggregiert abgebildet. Unterschieden werden die drei grundsätzlichen Verfahren der Rinder-, Schweine- und Geflügelhaltung. Deren genaue Differenzierung wird im Folgenden beschrieben. Zudem sind die wichtigsten Verfahren in mehrere Leistungsstufen eingeteilt. Die Zusammensetzung der Futtermittelration ist variabel und orientiert sich an dem jeweils modellintern für jede Leistungsstufe formulierten Bedarf. Somit können die wichtigsten Verfahren für Baden-Württemberg und die Anpassungen an verschiedene Rahmenbedingungen gut abgebildet werden. Die Formulierung der einzelnen Verfahren wurde überwiegend von TRIEBE (2007) übernommen und an das Referenzjahr 2003 angepasst.

Die Rinderhaltung wird unterteilt in Milchkuhhaltung, Mutterkuhhaltung, Kälberaufzucht, Färsenaufzucht und -mast und Bullenmast. Bei der Milchkuhhaltung werden fünf Milchleistungsklassen unterschieden, beginnend mit einer jährlichen Milchleistung von 4000 kg bis hin zu 8000 kg. Für jede Milchkuh wird eine Nutzungsdauer von vier Jahren unterstellt sowie die Erzeugung von 0,93 Kälbern pro Jahr. Die Fütterung der Kühe kann mit Silomais, Klee gras, Getreide, Sojaschrot, Milchleistungsfutter und Stroh erfolgen. Das Dauergrünland kann in Form von Heu und Silage in der Fütterung Verwendung finden. Daneben besteht die Möglichkeit der Weidenutzung. Für die Mutterkuhhaltung ist in EFEM nur eine Leistungsstufe formuliert. Es wird eine Nutzungsdauer von zehn Jahren angenommen und ebenso wie in der Milchkuhhaltung die Produktion von 0,93 Kälbern pro Jahr. Für die Fütterung sind die gleichen Komponenten wie für die Milchkühe vorgesehen. Hinzu kommt auch hier die Möglichkeit der Weidenutzung.

Die Kälber aus der Milchkuhhaltung können mit Milchaustauscher, Getreide, Sojaschrot und Heu gefüttert werden. Die Fütterung der Kälber von Mutterkühen ist bereits in dem Verfahren der Mutterkuhhaltung integriert. Die Kälber aus beiden Verfahren können entweder zur Weitermast oder als Schlachttiere verkauft werden. Daneben gibt es auch die Möglichkeit die Kälber für die betriebsinterne Färsen- und Bullenmast zu nutzen. Mit der Färsenaufzucht und der Färsenmast werden für die Nutzung der Färsen zwei Verfahren unterschieden. Die Färsenaufzucht für die Remontierung des Milchkuhbestandes geht von einem weiblichen Kalb mit einem Gewicht von 125 kg und 600 g täglichen Zunahmen aus, für den weiblichen Absetzer aus der Mutterkuhhaltung wird ein Gewicht von 275 kg angenommen. Die täglichen Zunahmen betragen in diesem Verfahren 800g. Bei der Bullenmast wird in EFEM zwischen einem intensiven Verfahren und einem extensiven Verfahren unterschieden. Das extensive Verfahren, in dem auch qualitativ minderwertiges Futter zum Einsatz kommen kann, geht von einer Mastdauer von etwa 15 Monaten mit täglichen Zunahmen von 973 g aus. Das intensive Mastverfahren sieht eine Mastdauer von etwa 14 Monaten und tägliche Zunahmen von 1059 g vor.

Die Schweinehaltung unterscheidet zwischen Ferkelproduktion, Jungsauenaufzucht und Mastschweinehaltung. Die Ferkelproduktion wird aufgrund der abgesetzten Ferkel in drei Intensitäten unterschieden. Es können 16,5 Ferkel, 18 oder 20 Ferkel pro Sau und Jahr erzeugt werden. Auch bei der Mastschweinehaltung werden drei mögliche Intensitäten unterschieden. Hier können die täglichen Zunahmen bei 600

g, 650 g oder 700 g liegen. Da das Einstellungsgewicht mit 25 kg sowie das Schlachtgewicht mit 110 kg Lebendgewicht bei allen drei Intensitäten gleich ist, können bei geringen täglichen Zunahmen nur 2,4 Umtriebe erzielt werden, bei hohen Zunahmen dagegen 2,8. Die Remontierung des Sauenbestandes erfolgt durch die betriebsinterne Jungsauenaufzucht.

Bei der Geflügelproduktion wird zwischen Legehennenhaltung und Hähnchenmast unterschieden. In der Legehennenhaltung wird eine jährliche Legeleistung von 270 Eiern angenommen. Für die Hähnchenmast wird von 7,27 Umtrieben pro Jahr ausgegangen.

Auch die Emissionen der Tierhaltung werden im Modell berücksichtigt. Die Form der Tierhaltung, die Entmistungsverfahren sowie Lagerung und Ausbringung der Wirtschaftsdünger spielen für die Bestimmung der Höhe der Treibhausgasemissionen eine wichtige Rolle. In Tabelle 13 und Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 14 sind die getroffenen Annahmen aufgeführt.

*Tabelle 13: Haltungs- und Entmistungsverfahren für die einzelnen Tierarten*

	<b>Haltungsverfahren</b>	<b>Entmistungsverfahren</b>
<b>Rinder</b>	Laufstall mit Spaltenboden	flüssig
<b>Schweine</b>	Spaltenboden	flüssig
<b>Legehennen</b>	Käfig	fest
<b>Masthähnchen</b>	Boden	fest

Quelle: eigene Darstellung

*Tabelle 14: Lagerungs- und Ausbringungsverfahren von Wirtschaftsdünger*

	<b>Lagerungsverfahren</b>	<b>Ausbringungsverfahren</b>
<b>Gülle</b>	Güllegrube, Abdeckung mit Strohhäckseln	Gülewagen mit Prallteller
<b>Festmist</b>	Mistplatte (Stapelmist)	Festmiststreuer

Quelle: eigene Darstellung

### 4.2.3 N-Ertragsmodell und N-Kreislaufmodell

Um die Erträge der einzelnen Kulturen modellieren und den betrieblichen Stickstoffkreislauf abbilden zu können, sind in EFEM ein N-Ertragsmodell und ein N-Kreislaufmodell integriert. Beide Modelle wurden von KRAYL (1993) und KAZENWADEL (1999) entwickelt. In den Arbeiten von ANGENENDT (2003), SCHÄFER

(2006) und TRIEBE (2007) wird eine ausführliche Beschreibung der beiden Modellkomponenten gegeben, weshalb hier nur kurz darauf eingegangen werden soll.

Dem N-Ertragsmodell liegt eine nach KRAYL (1993) abgeleitete relative Ertragsfunktion zugrunde, die es ermöglicht, standortunabhängige, aber kulturartspezifische Stickstoffertragsfunktionen abzubilden. Mit dieser Funktion wird das Verhältnis zwischen Stickstoffeinsatz und Ertrag bestimmt. Als Basisertrag für die Berechnung der Stickstoffertragsfunktion dient der Ertrag, der aus dem Durchschnitt mehrerer Jahre gebildet wurde (vgl. Kapitel 4.2.2.2, Tabelle 8). Das N-Ertragsmodell ist mit dem N-Kreislaufmodell durch den Entzug an pflanzenverfügbarem Stickstoff verbunden.

In das N-Kreislaufmodell ist eine Bilanz des im Boden pflanzenverfügbaren Stickstoffs integriert. In die Bilanz gehen alle Stickstoffeinträge und -austräge ein. Diese umfassen in Form von Einträgen den gedüngten organischen und mineralischen Dünger, die natürlichen Einträge aus Niederschlag und Mineralisation des organischen Stickstoffbodenvorrates sowie die symbiotische und die asymbiotische Stickstofffixierung. Die Mineralisation des organischen Bodenstickstoffs reduziert den Bodenvorrat, während die Einarbeitung von Ernterückständen ihn erhöht. Bei der Ausbringung organischer und mineralischer Dünger treten gasförmige Verluste auf, die modellintern durch Emissionsfaktoren (vgl. dazu ANGENENDT, 2003) berücksichtigt werden. Von den Stickstoffeinträgen wird der Entzug durch die angebaute Kultur abgezogen und so der Stickstoffüberschuss berechnet, der Rückschlüsse auf die Verluste durch Auswaschung und Denitrifikation ermöglicht.

Der Stickstoffkreislauf ist in fünf Zeitspannen untergliedert, um kulturartspezifische und pflanzenbauliche Kriterien zu berücksichtigen. Unter anderem wird durch kulturartspezifische Obergrenzen verhindert, dass es zu einer Überdüngung kommt.

#### **4.2.4 Treibhausgasemissionen**

Den tierischen und pflanzlichen Produktionsverfahren werden modellintern Emissionsfaktoren zugeordnet, um den Ausstoß der klimarelevanten Gase Kohlendioxid, Lachgas und Methan bestimmen zu können. Die Treibhausgasemissionen können je nach Entstehungsort dem vorgelagerten Bereich, der Landwirtschaft oder dem nachgelagerten Bereich zugeordnet werden (vgl. Abbildung 8). Da die Berechnung der verschiedenen Emissionen in den Arbeiten von ANGENENDT (2003) und



Tabelle 15: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren des vorgelagerten Bereichs

	Einheit	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren [kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente <sup>1)</sup> je Einheit]
Düngemittel		
Stickstoffdünger	kg N	7,52
Phosphatdünger	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,18
Kaliumdünger	kg K <sub>2</sub> O	0,67
Zukauffuttermittel		
Winterweizen	dt	50,0
Wintergerste	dt	43,0
Hafer	dt	43,0
Weizenkleie	dt	55,0
Sojaschrot	dt	78,3
Milchaustauscher	kg	2,1
Pflanzenschutzmittel	€	0,55

<sup>1)</sup> Berechnet mit dem GWP für 100 Jahre (N<sub>2</sub>O=298 und CH<sub>4</sub>=25)

Quellen: PATYK und REINHARD (1997), LÖTHE (1999), REINHARDT (1993), GREEN (1987), SHAHBAZI und GOSWAMI (1986) - zitiert nach ANGENENDT (2003), S. 58

Der Landwirtschaft werden die Treibhausgasemissionen zugeordnet, die bei der Tier- und Pflanzenproduktion entstehen. Die Emissionsfaktoren, die für den Einsatz fossiler Energieträger in EFEM integriert sind, sind in Tabelle 16 ausgewiesen

Tabelle 16: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren der verwendeten Energieträger

	Einheit	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren [kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente je Einheit]
Energieträger		
Heizöl (leicht)	kg	3,079
Dieselmotorkraftstoff	kg	3,132
Benzin	kg	2,192
Strom	kWh	0,603

Quelle: eigene Berechnungen nach KALTSCHMITT UND REINHARDT (1997) und ÖKO-INSTITUT, 2010

Die Ausbringung von Dünger sowie die Lagerung von Wirtschaftsdünger verursachen direkte N<sub>2</sub>O-Emissionen, die im Modell ebenso berücksichtigt werden wie die indirekten N<sub>2</sub>O-Emissionen. Diese werden durch Leaching (Auswaschung), Runoff (Oberflächenabfluss) und atmosphärische Deposition gasförmiger Stickstoffverbindungen verursacht. Diese Einteilung folgt ebenso dem IPCC (1997) wie die Quantifizierung der N<sub>2</sub>O-Emissionen. Die Faktoren, die zur Bestimmung dieser Emissionen in EFEM integriert sind, sind in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Integrierte Faktoren zur Bestimmung der Lachgasemissionen

	Ursache	Berechnung in EFEM	
Quelle Gas	Input [kg N/ha]	Output Emission [kg N <sub>2</sub> O-N/ha]	Literatur
<b>1. Direkt Boden</b>	MD = Min. Dünger WD = Wirtschaftsdünger Nf = Biolog. N-Fixierung Er = Ernterückstände	$\text{N}_2\text{O-N (direkt)} = [\text{NMD} \times (1 - \text{FracGasMD}) + \text{NWD} \times (1 - \text{FracGasWD}) + \text{NNf} + \text{NEr}] \times 0,0125$	nach IPCC (1997)
<b>2. Indirekt (leaching/runoff)</b>	MD = Min. Dünger WD = Wirtschaftsdünger	$\text{N}_2\text{O-N (indirekt)} = [(\text{NMD} + \text{NWD}) \times \text{FracLeach}] \times 0,025$	IPCC (1997)
<b>3. Indirekt (Deposition)</b>	MD = Min. Dünger WD = Wirtschaftsdünger	$\text{N}_2\text{O-N (indirekt)} = [(\text{NMD} \times (1 - \text{FracGasMD}) + (\text{NWD} \times (1 - \text{FracGasWD}))] \times 0,01$	nach IPCC (1997)
<b>4. Direkt Lager/Ausbringung</b>	WDfl = Gülle	$\text{N}_2\text{O-N (Lager)} = (\text{WDfl}) \times 0,001$	IPCC (1997)
	WD Fest = Festmist	$\text{N}_2\text{O-N (Lager)} = (\text{WDFest}) \times 0,02$	
	WD Weide = Weide	$\text{N}_2\text{O-N (Lager)} = (\text{WDWeide}) \times 0,02$	

FracGasMD/WD = jeweiliger Verlustkoeffizient in Form von NH<sub>3</sub>-N

Quelle: nach IPCC (1997) - zitiert aus SCHÄFER (2006), S. 48

In der Tierproduktion entstehen verdauungsbedingte und durch die Lagerung von Wirtschaftsdünger bedingte Methanemissionen. Den Berechnungen dieser Emissionen liegen die Daten von IPCC (1997), KIRCHGESSNER ET AL. (1994) und HEYER (1994) zugrunde. Die im Modell integrierten Faktoren können Tabelle 18 und Tabelle 19 entnommen werden.

Tabelle 18: Integrierte Faktoren zur Bestimmung der verdauungsbedingten Methanemissionen

Tierart	Ursache	Berechnung in EFEM	Literatur
	Input [kg/d]	Output Emission [g CH <sub>4</sub> /d]	
Rinder	XP = Rohprotein XF = Rohfaser NfE = N-freie Extraktstoffe XL = Rohfett	$\text{CH}_4 = 63 + 26 \times \text{XP} + 79 \times \text{XF} + 10 \times \text{NfE} - 212 \times \text{XL}$	nach KIRCHGESSNER (1994)
Mastschweine	BFS = bakteriell	$\text{CH}_4 = 2,85 + 13 \times \text{BFS}$	
Zuchtsauen	fermentierbare Substanz	$\text{CH}_4 = 16 \times \text{BFS}$	

Quelle: nach IPCC (1997), KIRCHGESSNER et al. (1994) – zitiert aus TRIEBE (2007)

*Tabelle 19: Integrierte Faktoren zur Bestimmung der Methanemissionen bei der Lagerung tierischer Exkremente*

Tierart	maximale Methanproduktionskapazität [kg CH <sub>4</sub> /kg org. Substanz]	Lagerungsart	Methankonversionsfaktor [%]	Literatur
Milchkuh	0,172	Flüssigmist	15,0	HEYER (1994)
Rind	0,122	Festmist	1,5	
Schwein	0,322	Weidehaltung	1,5	
Output Emission [kg CH <sub>4</sub> /Tierplatz/a]				
Legehennen/ Masthähnchen	0,078			nach IPCC (1997b)

Quelle: nach IPCC (1997), HEYER (1994) – zitiert aus TRIEBE (2007)

Daneben können in der Landwirtschaft noch CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Grünlandumbruch freigesetzt werden. Diese entstehen durch den Humusabbau, der durch die Umwandlung zu Ackerfläche ausgelöst wird. In den ersten 20 - 30 Jahren werden 0,5 - 4 t CO<sub>2</sub>/ha\*Jahr freigesetzt, davon bis zu 80% in den ersten 5 Jahren (eigene Berechnungen mit Prognosetool nach IPCC 2003, Fritsche und Wiegmann 2008, Hülsbergen und Schmid 2008, Gensior und Heinemeyer 2006). Da diese Daten sehr großen Unsicherheiten unterliegen, wurden für die Umbruchbewertung eher konservative Werte angenommen. IPCC-Daten zugrundelegend, wurde davon ausgegangen, dass die Freisetzung der CO<sub>2</sub>-Emissionen vollständig in den ersten fünf Jahren nach dem Umbruch erfolgt. Mit dieser Vorgehensweise sollte ausgeschlossen werden, dass der Beitrag des Grünlandumbruchs zur Treibhausgasbilanz unterschätzt wird. Es wurde angenommen, dass pro Hektar Umbruchfläche jährlich 22 t CO<sub>2</sub> freigesetzt werden (Billen, 2009).

Die Emissionen, die bei der energetischen Verwendung der Energiepflanzen entstehen, werden dem nachgelagerten Bereich zugewiesen. Dies umfasst die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die während der Produktion von Biokraftstoffen und dem Betrieb von Biogasanlagen entstehen sowie die CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen, die beispielsweise bei der Strohverbrennung freigesetzt werden.

Emissionen, die durch den Substitutionseffekt nachwachsender Rohstoffe vermieden werden, werden ebenso in der Gesamtbilanz berücksichtigt (vgl. dazu auch Kapitel 4.2.2.2), wie die Kohlenstoffsенке durch Humusanreicherung im Boden. Die Humusbilanz kann durch die Umstellung des Bodenbearbeitungsverfahrens, durch das Belassen oder Entfernen von Ernterückständen und die Ausbringung von

Wirtschaftsdünger beeinflusst werden. Mit dieser Humusbilanz wird auch sichergestellt, dass die Vorgaben nach den Cross-Compliance-Regelungen zum Erhalt der organischen Bodensubstanz und -struktur eingehalten werden. Eine genaue Beschreibung dazu findet sich in der Arbeit von TRIEBE (2007).

#### 4.2.5 Integrierte Naturschutzmaßnahmen für die Landnutzung

Um den Energiepflanzenanbau auch in Bezug auf die Belange des Naturschutzes beurteilen zu können, wurden mehrere Maßnahmen, die dem Naturschutz dienen und auf landwirtschaftlich genutzten Acker- und Grünlandflächen umsetzbar sind, in das Modell integriert. Im Folgenden wird die Implementierung der Vorgaben in das Modell beschrieben.

Für die Umsetzung der Naturschutzforderungen in EFEM müssen die Vorgaben in Form bestimmter Produktionsweisen oder -beschränkungen definiert und die Flächenumfänge quantifiziert werden. Die Definition der Maßnahmen erfolgt über die Lebensraumansprüche von Zielarten der Agrarlandschaft. Als Zielarten werden meist sehr empfindliche Arten ausgewählt, deren Schutz auch weiteren, weniger empfindlichen Arten zugute kommt (HOVESTADT et al. 1991). Die in dieser Modellierung berücksichtigten Zielarten sind in Tabelle 20 aufgeführt.

Tabelle 20: Übersicht der Zielarten für die Ableitung von Maßnahmen und Flächenforderungen

Lebensraumtyp	Zielart
Ackerland	Feldlerche ( <i>Alauda arvensis</i> )
Acker-/Grünland Mischgebiete	Grauhammer ( <i>Miliaria calandra</i> ) Kiebitz ( <i>Vanellus vanellus</i> )
offenes Grünland mittlerer Standorte	Großer Brachvogel ( <i>Numenius arquata</i> ) Braunkehlchen ( <i>Saxicola rubetra</i> ) Dunkler / Heller Wiesenknopf-Ameisenbläuling ( <i>Maculinea nausithous / teleius</i> ) Lilagold Feuerfalter ( <i>Lycaena hippothoe</i> ) Wantschaftschrecke ( <i>Polysarcus denticauda</i> )
Ackerlandschaft mit hoher Strukturvielfalt	Rebhuhn ( <i>Perdix perdix</i> ) Neuntöter ( <i>Lanius collurio</i> )

Quelle: nach Kaule et al, 2011

Im Zuge des Projektes „Nachwachsende Energieträger und Biodiversität: naturschutzbezogene und ökonomische Entwicklung und Bewertung von Anbauszenarien (NawEnNat)“ wurden vom Institut für Landschaftsplanung und Ökologie (ILPÖ) der Universität Stuttgart auf Grundlage dieser Zielarten Naturschutzvorgaben festgelegt (Kaule et al, 2011). Diese wurden in EFEM mithilfe von bestimmten Produktionsweisen und -einschränkungen berücksichtigt. Tabelle 21 gibt einen Überblick über die in das Modell integrierten Naturschutzmaßnahmen und deren Umsetzung.

*Tabelle 21: Übersicht über die in EFEM integrierten Naturschutzmaßnahmen im Acker- und Grünland*

<b>Maßnahme</b>	<b>Erläuterung</b>
<b>Ackerfläche</b>	
„Feldlerchenfenster“	Anlegen von "Fehlstellen durch Aussetzen der Saat auf 4x4 Meter, 2 „Fenster“ pro Hektar, sonst normale Bearbeitung (nur in Wintergetreide)
Extensivierte Ackerstreifen	keine Ausbringung von Dünger und Pflanzenschutzmitteln bei Getreide kombiniert mit größerem Drillabstand (24 cm) (ca. 10m Breite)
Anlage von Saumstrukturen / Blühstreifen	Zusammenfassung ökologischer Aufwertungsflächen wie Ackersäume, Ackerwildkräuterstreifen und Blühstreifen (5 - 10m Breite)
Brache (2-3 jährig)	Ackerbrachen ohne Ansaat
Blänken/Flutmulden	Brache/Mulde mit stark wechselndem Wasserstand, einmaliges Pflügen pro Jahr auf der gesamten Blänke sowie einmaliges Abschieben von Oberboden auf 10% der Blänke bei der Einrichtung
Aufweitung der Fruchtfolge	4 Kulturen / Kulturgruppen mit jew. mind. 15% Anteil an der Ackerfläche, max. 40% Mais
Mindestanteil an Winterstoppeln	auf einem Flächenanteil von 30% der Kulturen werden Winterstoppeln stehengelassen
Pufferstreifen um naturnahe Lebensräume	Verzicht auf Düngung und Pflanzenschutzmitteln in einem 20m-Puffer um nährstoffarme §32-Biotope
Gewässerrandstreifen	Verzicht auf Düngung und Pflanzenschutzmittel in einem Puffer um Gewässer mit: - 10m Breite bei < 10% Hangneigung - 20m Breite bei > 10% Hangneigung
<b>Grünland</b>	
extensive Nutzung	1 Schnitt, keine Düngung 2 Schnitte, keine Düngung 2 Schnitte, Düngung max. 40 kgN/ha/Jahr
Feuchtgrünland	2 Schnitte, Düngung max. 40 kgN/ha/Jahr
Retentionsfläche	Grünland in Auen, 3 Schnitte, Düngung max. 40 kg N/ha/Jahr
Extensive Beweidung	1 Weidegang / Jahr, Besatzdichte max. 2,5 GVE / Hektar
Saumstreifen im Grünland	selten gemähte Gras-/Krautsäume (z.B. entlang von Gräben)

Quelle: nach Angenendt et al. (2010)

Für die Anlage von Felderchenfenstern wurde angenommen, dass es dadurch lediglich zu einem Produktionsausfall auf der nicht eingesäten Fläche kommt. Auf den extensivierten Ackerstreifen sowie den Puffer- und Gewässerrandstreifen kommt es je nach Getreideart zu Ertragsverlusten von rund 40 – 50% gegenüber den in Tabelle 8 aufgeführten Basiserträgen. Die ökologischen Aufwertungsflächen in Form von Saumstrukturen und Blühstreifen sowie Blänken bzw. Flutmulden stehen den Betrieben nicht mehr für die Produktion zur Verfügung und werden daher auf Betriebsebene von der Ackerfläche abgezogen. Die selbstbegrünte Brache muss obligatorisch von jedem Modellbetrieb angelegt werden. Die Winterstoppeln werden in EFEM mit Zwischenfrüchten (gelber Senf) gleichgesetzt, die über den Winter stehen bleiben. Über die Anpassung der modellinternen Fruchtfolge besteht die Möglichkeit die Forderung nach einer viergliedrigen Fruchtfolge einzuhalten.

Während die Vorgaben für den Ackerbau überwiegend Maßnahmen in Form von „*Schutz vor Nutzung*“ sind, wird die naturschutzgerechte Grünlandbewirtschaftung als „*Schutz durch Nutzung*“ umgesetzt. In Tabelle 21 sind auch die Forderungen aufgeführt, die hinsichtlich des Grünlandes als Nutzungsbeschränkungen in das Modell implementiert wurden. Damit kann sichergestellt werden, dass die Mindestanforderungen des Naturschutzes an die Grünlandnutzung von den Modellbetrieben eingehalten werden.

Einige der Naturschutzforderungen werden auch durch das Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleichsprogramm (MEKA) des Landes Baden-Württemberg gefördert. Die Punkte, die für die jeweilige Maßnahme vergeben werden, sind in Tabelle 22 aufgeführt. Pro Punkt erhält der Betrieb 10 €. Daneben können die Betriebe weitere Punkte z.B. für die Bewirtschaftung von Hanggrünland bekommen.

Tabelle 22: MEKA-Punkte, die den Naturschutzmaßnahmen in EFEM zugeordnet sind

Maßnahme	MEKA-Punkte (MEKA III)
<b>Ackerfläche</b>	
„Feldlerchenfenster“	-
Extensivierte Ackerstreifen	12
Anlage von Saumstrukturen / Blühstreifen	13
Brache (2-3 jährig)	-
Blänken/Flutmulden	-
Aufweitung der Fruchtfolge	-
Mindestanteil an Winterstoppeln	9
Pufferstreifen um naturnahe Lebensräume	12
Gewässerrandstreifen	12
<b>Grünland</b>	
extensive Nutzung	5
Feuchtgrünland	5
Retentionsfläche	maximal 5
Extensive Beweidung	maximal 5
Saumstreifen im Grünland	-

Quelle: eigene Darstellung

Die Möglichkeit die mehrjährigen Kulturen Kurzumtriebsplantagen und Miscanthus anzubauen wurden neu in das Modell implementiert. Wie im Kapitel 2.2 bereits ausgeführt, hat ihr Anbau sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf standortkundliche und naturschutzfachliche Aspekte. Aus diesem Grund wurden in den Projekten NawEnNat und „Abschätzung der Produktionspotenziale für den Anbau von Energiepflanzen zur CO<sub>2</sub>-Bindung in Baden-Württemberg und deren ökologische und ökonomische Bewertung“ Ausschlussflächen für den Anbau der mehrjährigen Kulturen festgelegt (Kaule et al., 2011). Dabei wurden zwei Ausschlussmasken entworfen: Einschränkungen aufgrund von standörtlichen und klimatischen Bedingungen sowie zusätzlich aufgrund naturschutzfachlicher Aspekte. Ein Teil der in Baden-Württemberg verfügbaren Ackerflächen wurde wegen der natürlichen Gegebenheiten als ungeeignet für den Anbau von Pappeln, Weiden und Miscanthus eingestuft. Dabei spielten z.B. die Hangneigung, die jährlichen Niederschläge und die mittleren Jahrestemperaturen eine Rolle. Darauf aufbauend wurden weitere Flächen aus naturschutzfachlicher Sicht als ungeeignet identifiziert. Hier kam bei-

spielsweise zum Tragen, dass durch die Wuchshöhe Bodenbrüter gestört werden können, da diese meist nur in weit einsehbaren Landschaftsteilen brüten. Der auf Vergleichsgebietsgruppenebene für den Anbau mehrjähriger Kulturen geeignete Anteil der Ackerfläche kann Tabelle 23 entnommen werden.

*Tabelle 23: Geeignete Anbauflächen für mehrjährige Kulturen*

		aus standortkundlicher Sicht Anteil (%) geeignet für		aus naturschutzfachlicher Sicht Anteil (%) geeignet für		
<b>Vergleichsgebietsgruppe</b>		<b>Ackerfläche</b>	<b>Miscanthus</b>	<b>KUP</b>	<b>Miscanthus</b>	<b>KUP</b>
<b>1</b>	<b>Unterland / Gäue</b>	184194	92,7	95,8	26,4	27,8
<b>2</b>	<b>Rhein / Bodensee</b>	120000	80,9	89,4	13,4	16,1
<b>3</b>	<b>Schwarzwald</b>	16946	0,0	24,9	0,0	4,6
<b>4</b>	<b>Alb / Baar</b>	114603	0,0	24,1	0,0	0,0
<b>5</b>	<b>Allgäu</b>	4028	0,0	78,3	0,0	37,0
<b>6</b>	<b>Oberland / Donau</b>	162473	29,8	89,0	1,5	23,1
<b>7</b>	<b>Albvorland / Schwäb. Wald</b>	87965	49,7	66,4	11,1	19,5
<b>8</b>	<b>Bauland / Hohenlohe</b>	147114	72,7	78,5	16,1	17,9
	<b>Baden-Württemberg</b>	837323	52,9	76,1	8,5	18,2

Quelle: eigene Darstellung nach Kaule et al, 2011

## 5 Szenarienannahmen

Um verschiedene zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten der baden-württembergischen Landwirtschaft zu betrachten, wurden mehrere Szenarien definiert, die sich hinsichtlich der Ausdehnung des Biomasseanbaus sowie der Naturschutzvorgaben unterscheiden. Als Basisdaten für das Referenzjahr 2003 wurden Durchschnittswerte der Jahre 2001 – 2005 herangezogen. Um die Validität der Ergebnisse zu überprüfen, wurden zusätzlich Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Die Grundannahmen der verschiedenen Szenarien und der Sensitivitätsanalysen werden im Folgenden beschrieben.

### 5.1 Agrarpolitische Rahmenbedingungen

Die agrarpolitischen Rahmenbedingungen bilden neben den Produktionskapazitäten der Betriebsmodelle eine weitere Restriktion. Für die Modellvalidierung des Referenzjahres 2003 waren noch die Produktprämien maßgeblich, die inzwischen durch produktunabhängige Flächenprämien ersetzt wurden. Da sich die veränderten politischen Rahmenbedingungen auf die Effizienz und die Effektivität der Szenarien auswirken, wurden die Basisdaten des Referenzjahres auf das Jahr 2015 projiziert. Dieses Jahr wurde unter der Annahme gewählt, dass dann die „Luxemburger Beschlüsse“ zur Reform der Gemeinsamen Agrarreform (GAP) vollständig umgesetzt sein werden. Besondere Bedeutung kommt dabei den folgenden Punkten zu:

- Entkopplung der Direktzahlungen von der Produktion und Überführung in Betriebsprämien
- Bindung der Direktzahlungen an die Einhaltung weiterer Verpflichtungen in Form von Umwelt-, Futtermittel-, Lebensmittelsicherheit-, Tiergesundheit- und Tierschutzvorschriften (Cross Compliance)
- obligatorische Modulation, d. h. Kürzung der Direktzahlungen zugunsten der Förderung der ländlichen Räume.

Im Zuge der gemeinsamen Agrarpolitik wurden neben diesen drei Schwerpunkten auch Maßnahmen bezüglich des Milch- und Zuckermarktes festgelegt. Laut den Beschlüssen läuft die Milchquote im Jahr 2015 aus. Für die neue Zuckermarktordnung ist eine Gültigkeit bis zum Jahr 2014/2015 vorgesehen sowie eine Zusammenfassung der A- und B-Quoten. Der Referenzpreis für die Zuckerrüben wird zwar

reduziert, jedoch wird den Landwirten ein Ausgleich für die Absenkung gewährt (BMVEL, 2006a, BMVEL, 2006b). Die Umsetzung der agrarpolitischen Vorgaben in das Modell EFEM wird im folgenden Kapitel 5.2 näher beschrieben.

## 5.2 Business-as-usual 2015

Um die verschiedenen Szenarien und die Referenzsituation miteinander vergleichen zu können, müssen ihnen die gleichen agrarpolitischen Annahmen zugrunde liegen. Daher wurde zunächst die optimierte Referenzsituation des Jahres 2003 auf das Jahr 2015 (vgl. dazu Kapitel 5.1) projiziert. Dieses Szenario wird als Business-as-usual 2015 (BAU\_2015) bezeichnet und dient als Vergleichs- und Ausgangsbasis für alle weiteren Szenarien. Gewählt wurde das Jahr 2015, da es auch für die agrarpolitischen Studien des „Health Checks“ genutzt wurde und einige Eingangsparameter für die Modellierung mit EFEM auf den Daten des „Health Checks“ basieren. Mit der Projektion wird sichergestellt, dass die Ergebnisse der einzelnen Szenarien aus unterschiedlichen Annahmen hinsichtlich der Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus und der Naturschutzforderungen resultieren, nicht jedoch auf die agrarpolitischen Veränderungen zurückzuführen sind.

Nach der Berechnung der optimierten Referenzsituation 2003 wurden die in Kapitel 5.1 aufgeführten agrarpolitischen Rahmenbedingungen in EFEM implementiert sowie die Preise und Erträge angepasst und das BAU\_2015-Szenario erstellt. Diese Umsetzung wird im Folgenden beschrieben.

Da die Direktzahlungen bis zum Jahr 2015 auf einen landesweit einheitlichen Wert angeglichen werden, der in Baden-Württemberg bei 308,05 €/ha liegt, wurde in EFEM jedem genutzten Hektar dieser Zahlungsanspruch, abzüglich der Modulation, zugewiesen. Bezüglich der Stilllegungsverpflichtung wird angenommen, dass sie auch weiterhin ausgesetzt wird. Im Zuge der Cross-Compliance-Regelungen müssen anderweitige Verpflichtungen von den Landwirten eingehalten werden, um Direktzahlungen zu erhalten. Eine dieser Verpflichtungen ist der Erhalt der organischen Bodensubstanz- und -struktur, die in EFEM mithilfe einer integrierten Humusbilanz umgesetzt wird. Im Rahmen der Agrarreform wurde auch festgelegt, dass der Grünlandumbruch auf 5% des Dauergrünlandanteils ohne Genehmigung durchgeführt werden darf. Das bedeutet, dass 95% des Basiswertes, der sich aus dem Dauergrünlandanteil des Jahres 2003 ergibt, erhalten bleiben müssen. Soll

mehr Grünland umgebrochen werden, so ist dafür eine Genehmigung notwendig. Das Statistische Landesamt Baden-Württemberg weist für das Jahr 2003 rund 544.000 ha Dauergrünland aus. Ohne Genehmigung dürften davon 5%, also 27.200 ha umgebrochen werden. Im Modell können maximal 5% des Grünlandanteils des Referenzjahres 2003 umgebrochen werden. Im Szenario BAU\_2015 ist der Umbruch jedoch noch nicht zulässig, da anhand der Modellrechnungen gezeigt werden soll, welcher Konkurrenzdruck durch eine Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus entstehen kann. Der Anbau von Energiepflanzen in Form von Raps oder Silomais ist im Szenario BAU\_2015 auf 5% der Ackerfläche zulässig. Da für das Jahr 2015 ein Auslaufen der Milchquote geplant ist, wurde auch im Modell die Begrenzung durch die Milchquote aufgehoben. Weil jedoch keine Investitionsaktivitäten in EFEM integriert sind, wirken die Stallkapazitäten einschränkend auf die Milchproduktion. Ebenso wie die Milchquote gilt auch die Zuckerrübenquote im Szenario BAU\_2015 nicht mehr.

Weitere wichtige Daten für die Modellierung stammen aus den agrarpolitischen Untersuchungen, die im Zuge des „Health Checks“ veröffentlicht wurden. Im Rahmen der Studie „Health Check der EU-Agrarpolitik - Auswirkungen der Beschlüsse“ des Institutes für Marktanalyse und Agrarhandelspolitik des Bundesforschungsinstituts für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (Johann Heinrich von Thünen-Institut, vTI) wurden mit dem partiellen Gleichgewichtsmodell AGMEMOD verschiedene Betriebsmittel- und Erzeugerpreise für das Jahr 2015 berechnet (Gömann et al., 2009). Diese sind Durchschnittspreise für Deutschland, werden ab dem Jahr 2002 ausgewiesen und in einer Zeitreihe bis 2020 fortgesetzt. Sie bilden die Basis für die in EFEM für das Jahr 2015 implementierten Preise. Da die Preise des Health Checks für das Jahr 2003 nicht mit den für Baden-Württemberg für das Referenzjahr ermittelten Preisen übereinstimmten, wurden auch für das Jahr 2015 nicht die absoluten Preise aus dem Health Check übernommen, sondern nur deren relativen Veränderungen gegenüber 2003. Die auf diese Weise ermittelten Erzeuger- und Betriebsmittelpreise sind in Tabelle 24 dargestellt.

Tabelle 24: Erzeuger- und Betriebsmittelpreise für die Jahre 2003 und 2015 in EFEM

Produkt	Einheit	€/Einheit	
		2003	2015
<b>Erzeugerpreise</b>			
<b>Pflanzenproduktion</b>			
Winterweizen	dt	12,1	15,6
Sommerweizen	dt	11,6	15,0
Wintergerste	dt	10,1	13,7
Sommergerste	dt	12,9	17,4
Hafer	dt	9,5	15,8
Roggen	dt	10,0	14,4
Körnermais	dt	13,3	15,7
Winterraps	dt	23,7	32,6
Sonnenblumen	dt	21,6	33,4
Zuckerrüben	dt	3,8	2,3
Kartoffeln	dt	9,4	12,3
<b>Bioenergie</b>			
Raps (Non Food)	dt	20,5	28,1
Silomais	dt	1,6	3,6
<b>tier. Produkte</b>			
Bullenkalb	Stück	170,2	188,5
Kuhkalb	Stück	90,0	99,7
Milch	kg	0,2	0,3
Altkuh	Stück	669,3	784,4
Mastbulle	kg	2,5	2,8
Färsen	kg	2,2	2,4
Ferkel	Stück	43,3	62,5
Mastschwein	kg	1,3	1,6
Altsau	Stück	160,1	230,9
Küken	Stück	0,5	0,5
Junghenne	Stück	4,1	3,9
Eier	Stück	0,1	0,1
Schlachthehen	kg LG	0,1	0,1
Broiler	Stück	1,1	1,8
<b>Betriebsmittelpreise</b>			
<b>Dünger</b>			
Stickstoff	kg	0,5	1,1
Phosphor	kg	0,6	1,6
Kali	kg	0,3	0,8
Kalk	kg	0,1	0,2
<b>Futtermittel</b>			
Trockenschnitzel	dt	11,4	15,8
Soja	dt	24,1	22,6
Milchleistungsfutter	dt	15,3	21,3
Weizenkleie	dt	8,0	11,1
Milchaustauscher	dt	138,3	192,1
Alleinfutter Legehennen	dt	20,9	29,1
Alleinfutter Broiler	dt	23,2	32,2
<b>Energie</b>			
Diesel	l	0,7	1,5
Strom	kWh	0,1	0,2
Heizöl leicht	l	0,3	0,6

Quelle: eigene Darstellung

Für die Abschätzung der Erträge für das Jahr 2015 wurden Daten des Statischen Landesamtes Baden-Württemberg auf Vergleichsgebietsgruppenebene zugrunde gelegt. Aus den Erträgen der Jahre 1989 bis 2005 wurden mit Regressionsgleichungen (nach der Methode der kleinsten Quadrate) die Erträge für 2015 berechnet (vgl. Tabelle 25).

*Tabelle 25: Prognostizierte Erträge der wichtigsten Kulturen für das Jahr 2015 (in dt /ha)*

Vergleichsgebietsgruppe	Winterweizen	Sommerweizen	Roggen	Wintergerste	Sommergerste	Hafer	Körnermais
1 Unterland/ Gäue	77	64	69	64	57	56	107
2 Rhein/ Bodensee	68	58	52	53	48	52	100
3 Schwarzwald	54	47	51	47	47	50	93
4 Alb/ Baar	72	61	58	56	50	55	91
5 Allgäu	85	73	58 *	65	60	61	91 *
6 Oberland/ Donau	78	64	68	60	56	57	106
7 Albvorland/ Schwäb. Wald	69	57	57	55	51	52	105
8 Bauland/ Hohenlohe	77	64	71	60	50	52	105
<b>Baden-Württemberg</b>	76	61	60	59	53	55	107
	Winter- raps	Sonnen- blumen	Zucker- rüben	Kartof- feln	Silo- mais	Klee- gras	Dauergrün- land (Heu)
1 Unterland/ Gäue	44	31	713	369	420	378	65
2 Rhein/ Bodensee	35	27	600	381	427	378	71
3 Schwarzwald	38	- **	- **	305	361	336	64
4 Alb/ Baar	40	31	671	370	429	395	66
5 Allgäu	40 *	- **	- **	- **	430	536	90
6 Oberland/ Donau	40	27	729	371	422	421	79
7 Albvorland/ Schwäb. Wald	39	19	696	326	433	368	64
8 Bauland/ Hohenlohe	37	29	678	376	462	390	70
<b>Baden-Württemberg</b>	39	27	698	376	433	399	68

\* Für diese Kulturen lagen keine durchgehenden Ertragsdaten vom statistischen Landesamt für die jeweilige VGG vor. Es wurden die prognostizierten Erträge der ähnlichsten VGG eingesetzt.

\*\* Diese Kulturen wurden in den jeweiligen VGG in den zur Verfügung stehenden Zeitreihen nicht angebaut.

Quelle: eigene Berechnungen

In Bezug auf den Naturschutz wird in diesem Szenario davon ausgegangen, dass gegenüber der Referenz 2003 keine Änderungen auftreten, so dass die Vorgaben aus der Referenz übernommen wurden. Diese werden im Kapitel 5.4 näher beschrieben.

### 5.3 Biomassesszenarien

Um das Anbaupotenzial von Energiepflanzen in Baden-Württemberg zu analysieren, wurden die Anbauverfahren des Modells um weitere Verfahren und Verwertungspfade zur Bioenergieproduktion erweitert. Dies sind die Verfahren Dauergrünland für die Nutzung in der Biogasanlage sowie KUP und Miscanthus für die Ver-

brennung. Während im BAU\_2015-Szenario lediglich auf 5% der Ackerfläche Energiepflanzen angebaut werden können, wird er in den drei Biomasseszenarien BioE 1, BioE 2 und BioE 3 erweitert (vgl. dazu auch Tabelle 26). Dabei unterscheiden sich die drei Szenarien hinsichtlich der möglichen Anbaufläche für einjährige und mehrjährige Energiepflanzen. Um eine Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus gegenüber dem Szenario BAU\_2015 zu ermöglichen wurden auch die Fruchtfolgeanteile, v.a. für Silomais, erhöht.

*Tabelle 26: Übersicht über die Annahmen für die Biomasseszenarien*

	<b>BioE 1</b>	<b>BioE 2</b>	<b>BioE 3</b>
<b>Anteil mehrjähriger Kulturen an der Ackerfläche</b>	kein Anbau	kein Anbau	Anbau auf maximal 30% der geeigneten Ackerfläche
<b>Anteil Energiepflanzen an der Landnutzungsfläche</b>	Anbau auf maximal 30% der Landnutzungsfläche	Anbau auf gesamter Landnutzungsfläche möglich	Anbau auf gesamter Landnutzungsfläche möglich, nach Abzug der Fläche für mehrj. Kulturen
<b>Anteil Getreide in der Fruchtfolge</b>	max. 75%	max. 75%	max. 75%
<b>Anteil WR in der Fruchtfolge</b>	max. 25%	max. 25%	max. 25%
<b>Anteil Silomais in der Fruchtfolge</b>	max. 50 - 70%	max. 50 - 70%	max. 50 - 70%

Quelle: eigene Darstellung

Im Szenario BioE 3 können neben den einjährigen Energiepflanzen auch die mehrjährigen Kulturen KUP und Miscanthus genutzt werden. Aufgrund standörtlicher Gegebenheiten (vgl. dazu Kapitel 4.1) ist der Anbau jedoch nicht auf der gesamten Ackerfläche möglich; die verfügbare Fläche unterscheidet sich in den einzelnen Vergleichsgebietsgruppen stark (vgl. Tabelle 27). Während im Unterland/ Gäue über 90% der Fläche für den Anbau von KUP und Miscanthus geeignet ist, ist im Schwarzwald und im Alb/ Baar der Anbau von Miscanthus nicht möglich und der Anbau von KUP lediglich auf rund 20%. Es wurde angenommen, dass nicht die gesamte geeignete Fläche eines Gebietes auch für den Anbau der mehrjährigen Kulturen genutzt wird, da außer ökonomischen Gründen beispielsweise auch Aversionen gegen eine langfristige Bindung oder Bürgerwiderstände entscheidend sind. Von der geeigneten Fläche können bei der Modellierung jedoch lediglich 30% genutzt werden. Das bedeutet beispielsweise, dass im Gebiet Unterland/Gäue von den 184.194 ha Ackerfläche rund 93%, also 170.748 ha für den Anbau von Miscan-

thus geeignet sind, der Anbau jedoch auf maximal 30% bzw. 51.224 ha stattfinden kann.

*Tabelle 27: Geeignete Anteile der Ackerfläche für die mehrjährigen Kulturen in den Biomassesszenarien*

Vergleichsgebietsgruppe		Ackerfläche	aus standortkundlicher Sicht Anteil (%) geeignet für	
			Miscanthus	KUP
1	Unterland / Gäue	184.194	92,7	95,8
2	Rhein / Bodensee	120.000	80,9	89,4
3	Schwarzwald	16.946	0,0	24,9
4	Alb / Baar	114.603	0,0	24,1
5	Allgäu	4.028	0,0	78,3
6	Oberland / Donau	162.473	29,8	89,0
7	Albvorland / Schwäb. Wald	87.965	49,7	66,4
8	Bauland / Hohenlohe	147.114	72,7	78,5
	<b>Baden-Württemberg</b>	<b>837.323</b>	<b>55,8</b>	<b>76,1</b>

Quelle: nach Kaule et al, 2011

Hinsichtlich des Naturschutzes wurden nur diejenigen Vorgaben berücksichtigt, die gegenwärtig rechtlich bindend sind (vgl. Kapitel 5.4.). Das bedeutet, dass ehemals extensiv bewirtschaftete Flächen unter Umständen, sofern es ökonomisch sinnvoll ist und sie nicht von Naturschutzrestriktionen betroffen sind, intensiver bewirtschaftet werden. Auch der Umbruch von Grünland ist im gesetzlich vorgegebenen Rahmen möglich.

## 5.4 Naturschutzaufgaben

Auf die Biomassesszenarien und das BAU\_2015 aufbauend wurden Naturschutzszenarien definiert, die sich von ihren Basisszenarien dadurch unterscheiden, dass sie um Naturschutzvorgaben erweitert wurden, die aus fachlicher Sicht empfohlen werden (vgl. dazu Tabelle 26 und Abbildung 9). Die Szenarien werden im Folgenden als BAU\_Nat, BioE 1\_Nat, BioE 2\_Nat, und BioE 3\_Nat bezeichnet. Mit der Einführung der weitergehenden Naturschutzrestriktionen, die durch Flächenrestriktionen im Modell berücksichtigt werden, soll aufgezeigt werden, welche Auswirkungen dadurch sowohl im BAU\_2015-Szenario als auch in den Biomassesszenarien entstehen. Um zu analysieren, welchen Entwicklungstrend Naturschutzrestriktionen auslösen können, wurden die Naturschutzvorgaben für die Szenarien

BAU\_Nat, BioE 1\_Nat, und BioE 3\_Nat in zusätzlichen Modellrechnungen um 40% erhöht. Im Zuge von testweisen Modellrechnungen zeigte sich, dass eine Erhöhung um 50% in einigen Betriebsmodellen zu einer Einstellung der Produktion führte. Daher wurden die Vorgaben lediglich um 40% erhöht. Diese als Sensitivitätsanalysen für die Auswirkungen der Naturschutzforderungen anzusehenden Szenarien werden im Folgenden als BAU\_NatXL, BioE 1\_NatXL, und BioE 3\_NatXL bezeichnet (vgl. dazu auch Abbildung 9).

Die Naturschutzvorgaben wurden im Rahmen des Projektes NawEnNat vom Institut für Landschaftsplanung und Ökologie erstellt. Sie wurden in EFEM in Form von Flächeneinschränkungen und Nutzungsvorgaben umgesetzt. In Tabelle 28 ist aufgeführt, auf welchen Flächenanteilen die Maßnahmen durchgeführt werden. Bis auf die Maßnahme „Mindestanteil Winterstoppeln“ finden sich für alle Vorgaben in der Spalte der verbesserten Naturschutzmaßnahmen die höchsten Werte. Die Ausnahme bei den Winterstoppeln ergibt sich aus der Annahme, dass Ackersenf als Zwischenfrucht eingesät wird, über den Winter stehen bleibt und als Winterstoppeln gewertet wird. Da diese Maßnahme bereits durch MEKA gefördert wird und daher für die Landwirte aus ökonomischer Sicht attraktiv ist, wird diese Maßnahme bereits in der Referenz übererfüllt.

Tabelle 28: Im Modell berücksichtigte Naturschutzannahmen

Maßnahme	Erläuterung	Annahmen für die Referenz 2003	Annahmen für die Biomasse-szenarien	Annahmen für einen verbesserten Naturschutz
<b>Ackerfläche</b>		<b>% der AF</b>	<b>% der AF</b>	<b>% der AF</b>
„Feldlerchenfenster“	Aussetzen der Saat auf 4x4 Meter, 2 „Fenster“ pro Hektar, sonst normale Bearbeitung (nur in Wintergetreide)			0,13
Extensivierte Ackerstreifen	keine Ausbringung von Dünger und Pflanzenschutzmitteln bei Getreide kombiniert mit größerem Drillabstand (24cm) (ca. 10m Breite)			2,17
Pufferstreifen um Biotope und Gewässerränder	keine Ausbringung von Dünger und Pflanzenschutzmittel  (20m um Biotope, 10m um Gewässer)	0,80 (Biotope)		1,77
		0,40 (Gewässer)	0,40	1,49
Anlage von Saumstrukturen / Blühstreifen	ökologische Aufwertungsflächen wie Ackersäume, oder Blühstreifen (5 - 10m Breite)	1,00	0,01 *	2,56
Brache (2-3 jährig)	Ackerbrachen ohne Ansaat (inkl. Blänken / Flutmulden)			3,23
Aufweitung der Fruchtfolge	4 Kulturen / Kulturgruppen mit jew. min. 15% Anteil an der Ackerfläche, max. 40% Mais	38,90		44,70
Mindestanteil an Winterstoppeln	30% Flächenanteil Winterstoppeln an den Kulturen	26,70		25,70
Blänken/Flutmulden	Brache/Mulde mit stark wechselndem Wasserstand			0,26
<b>Grünland</b>		<b>% der GF</b>	<b>% der GF</b>	<b>% der GF</b>
Extensivierung	Verschiedene Ansprüche, Flächen mit: - 1 Schnitt, keine Düngung - 2 Schnitte, keine Düngung - 2 Schnitte, Düngung max. 40 kg N/ha/Jahr	3,40	2,27	7,20
				0,93
		19,5 (2 Schnitte insg.)	13,05	28,36
Retentionsfläche	3 Schnitte, Düngung max. 40 kg N/ha/Jahr	2,30		10,3
Extensive Beweidung	1 Weidegang / Jahr, Besatzdichte max. 2,5 GVE / Hektar	1,60		2,65
Saumstreifen im Grünland	seltener gemähte Gras-/ Krautsäume (z.B. entlang von Gräben)			1,44

\* diese Maßnahme wurde wegen des sehr geringen Anteils an der Ackerfläche in der Modellierung nicht berücksichtigt

Quelle: nach Kaule et al, 2011

In dem Naturschutzszenario BioE 3\_Nat ist der Anbau von Miscanthus und KUP ebenso möglich, wie in dem Biomasseszenario BioE 3. Jedoch wurden für die Erstellung der Ausschlussmaske neben den standortkundlichen Bedingungen zusätz-

lich noch naturschutzfachliche Aspekte einbezogen. Dies führte zu einer deutlichen Einschränkung der geeigneten Anbauflächen. Während aus standortkundlicher Sicht im Unterland/Gäue noch über 90% der Ackerfläche für den Anbau mehrjähriger Kulturen geeignet ist, wird diese Fläche aus naturschutzfachlichen Gründen auf rund 26 % für Miscanthus und 28% für KUP reduziert. In den Regionen Schwarzwald und Alb/Baar wird die Anbaufläche für KUP von ursprünglich über 20% sogar noch stärker eingeschränkt. Im Schwarzwald ist nur noch ein geringer Anteil der Fläche in Höhe von etwa 5% für den Anbau von KUP geeignet und im Gebiet Alb/Baar ist der Anbau mehrjähriger Kulturen vollständig ausgeschlossen (vgl. dazu Tabelle 29).

*Tabelle 29: Geeignete Anteile der Ackerfläche für die mehrjährigen Kulturen in den Naturschutzszenarien*

Vergleichsgebietsgruppe		Ackerfläche	aus naturschutzfachlicher Sicht Anteil (%) geeignet für	
			Miscanthus	KUP
1	Unterland / Gäue	184.194	26,4	27,8
2	Rhein / Bodensee	120.000	13,4	16,1
3	Schwarzwald	16.946	0,0	4,6
4	Alb / Baar	114.603	0,0	0,0
5	Allgäu	4.028	0,0	37,0
6	Oberland / Donau	162.473	1,5	23,1
7	Albvorland / Schwäb. Wald	87.965	11,1	19,5
8	Bauland / Hohenlohe	147.114	16,1	17,9
	<b>Baden-Württemberg</b>	837.323	12,0	18,4

Quelle: nach Kaule et al, 2011

## 5.5 Sensitivitätsanalysen

Die Ergebnisse statisch linearer Modelle, wie des hier verwendeten Modells EFEM, sind stark von den exogenen Vorgaben abhängig und stellen eine statische Betrachtung unter den gewählten Rahmenbedingungen dar. Um die Stabilität und die Qualität der Ergebnisse zu überprüfen, wurden mehrere Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Da das Potenzial des Energiepflanzenanbaus im Mittelpunkt der Untersuchungen steht, wurde als Basisszenario für die Sensitivitätsrechnungen das Szenario BioE 3 gewählt. In diesem Szenario ist sowohl der Anbau einjähriger als auch mehrjähriger Energiepflanzen möglich. Die Sensitivitätsanalysen lassen sich in zwei grundsätzliche Blöcke unterteilen. Zum einen werden die gewählten Preis-

annahmen verändert, zum anderen wird der Anteil des möglichen Anbaus einjähriger Energiepflanzen und der energetischen Grünlandnutzung an der Landnutzungsfläche variiert.

Da die exogen vorgegebenen Preise einen besonders hohen Einfluss auf die Ergebnisse haben, werden unter ceteris-paribus-Bedingungen systematisch die Preise bestimmter Produkte verändert. So soll untersucht werden, in welchem Maße die angenommenen Preise das Anbaupotenzial der Energiepflanzen, sowie auch die Anbauumfänge der anderen Kulturen beeinflussen. In Tabelle 30 ist aufgeführt, für welche Produkte die Preise verändert werden und in welchen Schritten. Ein besonderer Focus liegt auf dem Preis für Silomais, der in der Biogasanlage verwertet wird. Dies ist besonders vor dem Hintergrund interessant, dass eine Novellierung des EEG 2009 im Jahr 2012 in Kraft getreten ist. Bereits der im EEG 2003 gewährte NaWaRo-Bonus hat die Ausdehnung des Silomaisanbaus und einen Preisanstieg begünstigt. Das nachfolgende, 2007 in Kraft getretene EEG, sieht einen Güllebonus vor, was eine weitere Ausdehnung des Silomaisanbaus nach sich zog. Die in der aktuellen Fassung des EEG gelegten Förderschwerpunkte machen eine erneute Änderung des Silomaispreises denkbar.

Die für den Anbau einjähriger Energiepflanzen und die energetische Nutzung von Dauergrünland zulässige Fläche wird in mehreren Schritten erhöht, um zu analysieren, in welchem Maße sich insbesondere die Nutzung einjähriger Kulturen und von Dauergrünland auf die Treibhausgasemissionen und die Energieproduktion sowie die Anbaufläche der mehrjährigen Kulturen auswirkt. Ist der Anbau beispielsweise auf 10% der Landnutzungsfläche erlaubt, so können die Modellbetriebe insgesamt 10% der Acker- und Dauergrünlandfläche für die Produktion einjähriger Energiepflanzen und die energetische Grünlandverwertung nutzen. Der Anbau der mehrjährigen Kulturen ist auch weiterhin auf 30% der für das Szenario BioE 3 aus standortkundlicher Sicht geeigneten Anbaufläche möglich. Tabelle 30 zeigt auf, in welchen Schritten der Anteil des Energiepflanzenanbaus an der Landnutzungsfläche erhöht wird.

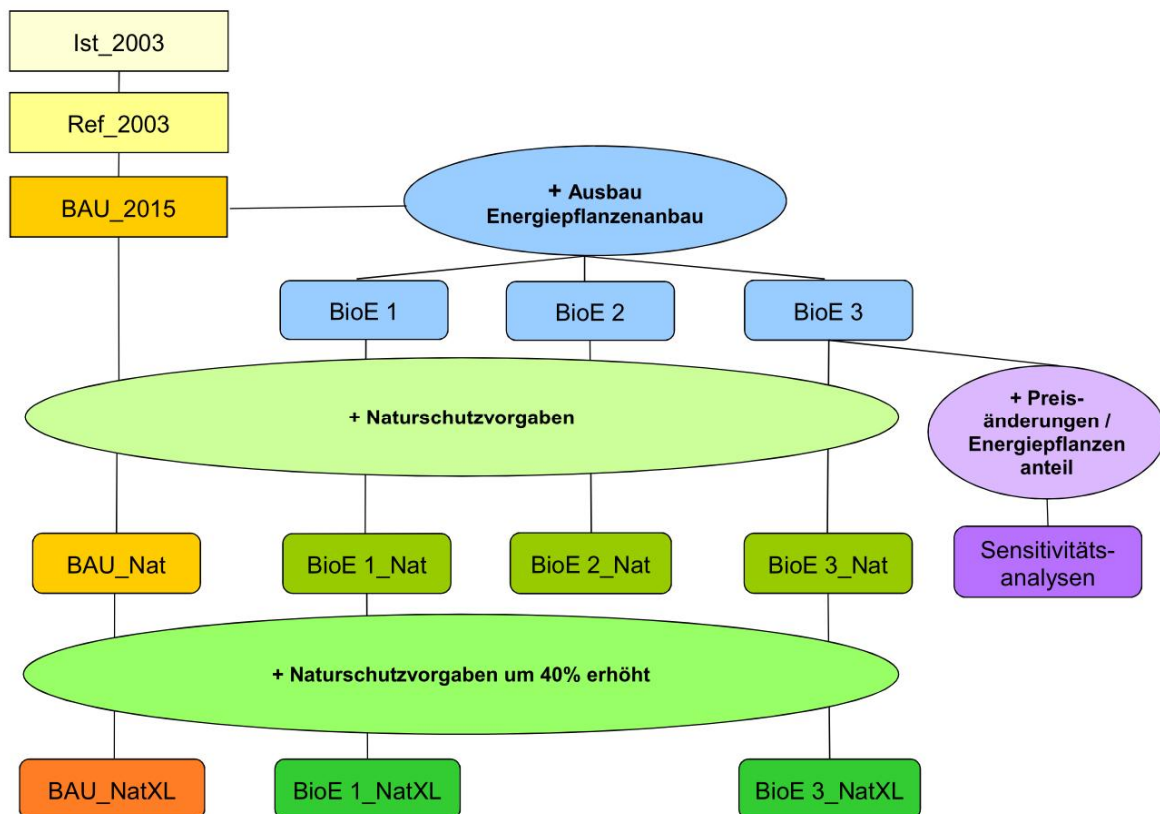
*Tabelle 30: Übersicht über die Annahmen für die Sensitivitätsanalysen basierend auf dem Szenario BioE 3*

	<b>Sensitivitätsanalyse für</b>	<b>Veränderung um</b>	<b>Name des Szenarios</b>	
<b>BioE 3</b>	Preis für Biogassilomais	+20%	BioE 3_SM+20%	
		-20%	BioE 3_SM-20%	
		-30%	BioE 3_SM-30%	
		-40%	BioE 3_SM-40%	
		-50%	BioE 3_SM-50%	
	Lebens- und Futtermittelpreise	+20%	BioE 3_NM+20%	
		+50%	BioE 3_NM+50%	
	Preise für mehrjährige Kulturen	-30%	BioE 3_mjKult-30%	
	Milchpreis	+20%	BioE 3_Milch+20%	
		-20%	BioE 3_Milch-20%	
	Stickstoffpreis	-50%	BioE 3_N-50%	
		<b>Anteil an der LF</b>		
	Anteil einjähriger Energiepflanzen an der Landnutzungsfläche	10%	BioE 3_EP10%	
		20%	BioE 3_EP20%	
		30%	BioE 3_EP30%	
40%		BioE 3_EP40%		
50%		BioE 3_EP50%		

Quelle: eigene Darstellung

## 5.6 Zusammenfassende Übersicht der Szenarien

Im Folgenden wird noch einmal kurz dargestellt, wie die Szenarien aufeinander aufbauen und welche grundsätzlichen Annahmen ihnen zugrunde liegen. Abbildung 9 stellt die Zusammenhänge zwischen den Szenarien dar. Das Szenario BAU\_2015 und die Biomasseszenarien BioE 1, BioE 2 und BioE 3 unterscheiden sich aufgrund der Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus. Diese vier Szenarien wurden um verbesserte Naturschutzannahmen erweitert und so die Szenarien BAU\_Nat, BioE 1\_Nat, BioE 2\_Nat und BioE 3\_Nat entworfen. Um die Sensitivität der Ergebnisse hinsichtlich der Naturschutzaufgaben zu analysieren, wurden diese für die Szenarien BAU\_Nat, BioE 1\_Nat und BioE 3\_Nat um 40% erhöht, woraus sich die Szenarien BAU\_NatXL, BioE 1\_NatXL und BioE 3\_NatXL ergaben. Um die Stabilität der Ergebnisse hinsichtlich der Ausdehnung verschiedener Preisschwankungen und des Energiepflanzenanbaus zu überprüfen, wurden weitere Sensitivitätsanalysen, aufbauend auf das Szenario BioE 3, modelliert.



Quelle: nach Kaule et al, 2011

Abbildung 9: Überblick über die untersuchten Modellszenarien

## **6 Analyse der berechneten Referenzsituation und deren Projektion auf das Jahr 2015**

Um die nachfolgenden Modellergebnisse der verschiedenen Szenarien beurteilen zu können, wurde zunächst die Abbildungsgüte des Modells überprüft und anschließend eine Vergleichsbasis, das Szenario BAU\_2015, modelliert. Die Ergebnisse der berechneten Referenzsituation und des Szenarios BAU\_2015 werden im Folgenden detailliert beschrieben und mit empirischen Daten verglichen.

### **6.1 Die Referenzsituation 2003**

Zuerst wurde für den Basiszeitraum 2001 - 2005 die optimierte Referenz berechnet, um zu überprüfen, inwieweit mit dem Modell die Realität abgebildet werden kann. Die optimierte Referenz wird im Folgenden als Referenz\_2003 bezeichnet und repräsentiert eine optimierte Ist-Situation für den Zeitraum 2001 - 2005. In der Referenz\_2003 wird angenommen, dass die Organisation der Betriebsmodelle unter den vorgegebenen agrar- und umweltpolitischen Rahmenbedingungen sowie den in das Modell implementierten Erzeuger- und Betriebsmittelpreisen so angepasst wird, dass der betriebliche Gesamtdeckungsbeitrag maximiert wird. Die modellierten Tierzahlen und die Flächennutzung der Referenz\_2003 wurden anschließend mit den Daten der Agrarstrukturerhebung des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg für das Jahr 2003 abgeglichen, die flächenbezogenen Deckungsbeiträge mit den Buchführungsergebnissen für das Wirtschaftsjahr 2003/2004. Die Kalibrierung des Modells erfolgte mittels des Hochrechnungsansatzes und den in EFEM integrierten Produktionsrestriktionen. Dadurch wurde eine weitgehende Übereinstimmung der berechneten Referenz\_2003 mit den statistischen Werten erzielt.

Die Abweichungen der modellierten Deckungsbeiträge von den Buchführungsergebnissen (vgl. Tabelle 31) begründet sich zum einen darin, dass die Dauerkulturbetriebe mit ihren sehr hohen Deckungsbeiträgen in dieser Arbeit unberücksichtigt bleiben, zum anderen sind die Deckungsbeiträge stark von den Preisannahmen in EFEM abhängig. Der Vergleich der empirischen Landnutzungsdaten mit den modellierten Ergebnissen zeigt, dass das Grünland in der Referenz\_2003 nicht vollständig genutzt wird. Der Grund dafür ist eine sehr gute Ausstattung der Betriebs-

modelle mit Grünland, weshalb vor allem die Nutzung des pflegeaufwändigen Hanggrünlandes aus ökonomischer Sicht nicht sinnvoll ist. Die Flächennutzung hinsichtlich der Ackerbaukulturen weist lediglich für den Anbau von Sonnenblumen eine hohe Abweichung gegenüber der Statistik auf. Da der Anbauumfang insgesamt im Jahr 2003 aber sehr gering ist, kann dies vernachlässigt werden. In der Tierhaltung treten geringe Abweichungen von der Statistik auf, die sich durch die in der optimierten Referenz\_2003 für die verschiedenen Produktionskapazitäten zugelassenen Abweichungen und die ökonomische Optimierung der Betriebsorganisation ergeben (vgl. Kapitel 4). Der um 2,8% geringere Umfang der Milchkuhhaltung gegenüber der Statistik ist auf eine höhere Milchleistung in der optimierten Referenz\_2003 und die noch geltende Milchquote zurückzuführen, durch die die Milchproduktion beschränkt ist.

*Tabelle 31: Vergleich der Modellergebnisse für die Referenz\_2003 hinsichtlich der Flächennutzung und Tierhaltung mit den statistischen Werten für das Jahr 2003*

		<b>empirische Daten</b>	<b>Referenz_2003 (Modell)</b>	<b>Abweichung</b>
<b>Gesamtdeckungsbeitrag</b> <sup>1)</sup>	€/ ha LF	1.484	1.014	-31,7%
<b>Ackerfläche</b>	ha	837.323	837.330	0,0%
<b>Grünland</b>	ha	544.105	524.903	-3,5%
<b>Wintergetreide</b>	ha	317.380	323.114	1,8%
<b>Sommergetreide</b>	ha	163.482	171.184	4,7%
<b>Mais (Körner-, Silomais)</b>	ha	146.706	150.995	2,9%
<b>Raps</b>	ha	70.141	70.896	1,1%
<b>Sonnenblumen</b>	ha	858	297	-65,3%
<b>Zuckerrüben</b>	ha	20.624	22.036	6,8%
<b>Kartoffeln</b>	ha	6.810	6.371	-6,5%
<b>Milchkühe</b>	Plätze	398.290	387.201	-2,8%
<b>Mutterkühe</b>	Plätze	63.219	63.180	-0,1%
<b>Zuchtsauen</b>	Plätze	299.859	299.661	-0,1%
<b>Mastschweine</b>	Plätze	652.419	662.094	1,5%
<b>Masthähnchen</b>	Plätze	873.591	863.010	-1,2%
<b>Legehennen</b>	Plätze	2.662.045	2.661.451	0,0%

<sup>1)</sup> Empirische Daten: Gesamtdeckungsbeitrag für das Wirtschaftsjahr 2003/2004

Quelle: Stala 2008; MLR, 2005, eigene Berechnungen

## **6.2 Vergleich der Referenz\_2003 und des Szenarios BAU\_2015**

Um die verschiedenen Modellszenarien mit der Referenzsituation vergleichen zu können, müssen die gleichen Rahmenbedingungen zugrunde liegen. Daher wurde die optimierte Referenz des Jahres 2003 auf das Jahr 2015 projiziert. Für die Projektion wurden die politischen Rahmenbedingungen angepasst sowie die Erzeuger- und Betriebsmittelpreise und die Erträge der Ackerbaukulturen. Dieses Szenario wird im Folgenden als BAU\_2015 bezeichnet und stellt die Vergleichsbasis für die im Anschluss dargestellten Ergebnisse der Biomassesszenarien und deren korrespondierenden Naturschutzszenarien dar. Wie auch für die Berechnung der Referenz\_2003, ist für die Energieproduktion nur der Anbau von Raps und Silomais auf 5% der Ackerfläche zulässig. Dieses Kapitel befasst sich mit der Gegenüberstellung der Modellergebnisse des Szenarios BAU\_2015 und der Referenz\_2003.

Neben Baden-Württemberg werden auch jeweils die Ergebnisse für die beiden Vergleichsgebietsgruppen VGG\_1 (Unterland/Gäue) und VGG\_5 (Allgäu) aufgeführt, da sich ihre landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen stark unterscheiden. Mit dem Gebiet Unterland/Gäue wurde ein typisches Ackerbaugesamt ausgewählt, während das Allgäu eine intensive Futterbauregion repräsentiert. Anhand dieser beiden Regionen sollen die Auswirkungen der Modelannahmen auf für Baden-Württemberg typische, aber sich untereinander stark unterscheidende, landwirtschaftliche Produktionsbedingungen dargestellt werden. Die Ergebnisse der anderen Vergleichsgebietsgruppen werden ausschließlich bei auffälligen Abweichungen erwähnt.

### **6.2.1 Anbaustruktur und Tierproduktion**

Auffällig ist zunächst, dass die bewirtschaftete Grünlandfläche in Baden-Württemberg gegenüber der Referenz\_2003 zunimmt und den in der Statistik angegebenen Wert erreicht (vgl. Tabelle 32). Dies hat seinen Grund darin, dass im Szenario BAU\_2015 auch das Hanggrünland wieder in die Nutzung aufgenommen wird, da die Einlösung der Zahlungsansprüche für die Flächen an deren Pflege gebunden ist. Neben der deutlichen Ausdehnung der Grundfutterbereitstellung aus Klee gras ist dies auch ein Grund dafür, dass das Grünland deutlich extensiver bewirtschaftet wird. Dabei nimmt sowohl die durchschnittliche Schnitthäufigkeit als auch die durchschnittliche Düngeintensität ab. Jedoch betrifft die Reduzierung der Düngemenge lediglich das Dauergrünland, das ein- bis dreimal genutzt wird, wäh-

rend die übrigen Nutzungshäufigkeiten eine Erhöhung der Düngeintensität aufweisen (vgl. dazu Abbildung 10). Die für die Grünlandnutzung gewählte Darstellungsform zeigt neben der Verteilung der Nutzungshäufigkeit auch, welche Spannbreite an Düngegraden in der jeweiligen Nutzungshäufigkeit genutzt wird. So wird beispielsweise die Dauergrünlandfläche, die in Baden-Württemberg im Szenario BAU\_2015 einmal genutzt wird mit 0 bis 20 kg N/ha gedüngt.

Im Bereich der Ackernutzung führen die veränderten Rahmenbedingungen des Szenarios BAU\_2015 im Vergleich zur Referenz\_2003 auf Ebene Baden-Württembergs zu einer Anbauausdehnung von Getreide, insbesondere Sommergetreide, Hackfrüchten und Winterraps (vgl. Tabelle 32). Dies ist auf die Aufweitung der Fruchtfolge und die teilweise deutlich höheren Deckungsbeiträge zurückzuführen. Der zusätzlich angebaute Winterraps findet ausschließlich in der Nahrungs- und Futtermittelproduktion Verwendung, während der Anbau von Non-Food-Raps stark eingeschränkt wird (vgl. Tabelle 33). Der Bedarf an Grundfutter wird vermehrt durch Klee gras, Zukauffuttermittel und Dauergrünland gedeckt, während die Anbaufläche für Futtersilomais eingeschränkt wird. Diese Entwicklung resultiert aus den im Verhältnis zu Soja und Klee gras stärker gestiegenen Erzeugungskosten pro Energie- und Proteineinheit bei Silomais. Dagegen wird, wie Tabelle 33 zeigt, der Anbau von Silomais für die Biogaserzeugung ausgedehnt, da dieses Verfahren durch die höheren Erzeugerpreise an ökonomischer Attraktivität gewinnt. Jedoch kompensiert die verstärkte Energieproduktion aus Mais nicht den Rückgang des Rapsanbaus für energetische Zwecke, sodass im BAU\_2015 ein geringerer Anteil des Primärenergiebedarfs gedeckt wird als in der Referenz\_2003. Die berechneten Werte in Höhe von 0,32% bzw. 0,27% stimmen in ihrer Größenordnung jedoch gut mit dem statistischen Wert des Jahres 2003 überein. Laut Statistik wurden in Baden-Württemberg im Jahr 2003 etwa 0,45% und 2009 bereits etwa 2,15% des Endenergieverbrauchs aus Energiepflanzen gedeckt<sup>1</sup>.

Die Anbaufläche für Zwischenfrüchte wird hauptsächlich infolge der Ausdehnung des Klee grasanbaus eingeschränkt, da dieser sich ebenfalls positiv auf die Humusbilanz auswirkt und zu einer ausgeglichenen Humusbilanz beiträgt. Der Sonnenblumenanbau verliert aus ökonomischer Sicht stark an Attraktivität und spielt kaum

---

<sup>1</sup> In diese Berechnung fließen nur die Strom-, Wärme- und Kraftstoffproduktion aus flüssigen biogenen Brennstoffen, Biogas, Biodiesel, Bioethanol und Pflanzenöl ein, da diese auch in EFEM integriert sind. Quelle: UVM und WM, 2010.

noch eine Rolle. Da die obligatorische Flächenstilllegung im Szenario BAU\_2015 aufgehoben wurde, wird sie nur noch auf einer sehr geringen Fläche durchgeführt.

Durch die Aufhebung der Milchquote im Szenario BAU\_2015 besteht die Möglichkeit die Milchproduktion auszudehnen (im Folgenden wird die produzierte Milchmenge als Kenngröße für die Einordnung der Intensität der Milchkuhhaltung verwendet). Da nun lediglich noch die Stallkapazitäten begrenzend wirken, gelangen die intensiveren Milchproduktionsverfahren in die Lösung und die Milchproduktion wird um über 20% erhöht. Dies bewirkt eine Ausdehnung der Anbauflächen für Grundfutter und eine Zunahme des Futtermittelzukaufs (hauptsächlich Soja und Milchleistungsfutter) um rund 40% im Vergleich zur Referenz\_2003. Die Anzahl der Milchkühe sowie der anderen Tierarten verändert sich nur unwesentlich.

Tabelle 32: Vergleich der Anbaustrukturen der Referenz\_2003 und des Szenarios BAU\_2015

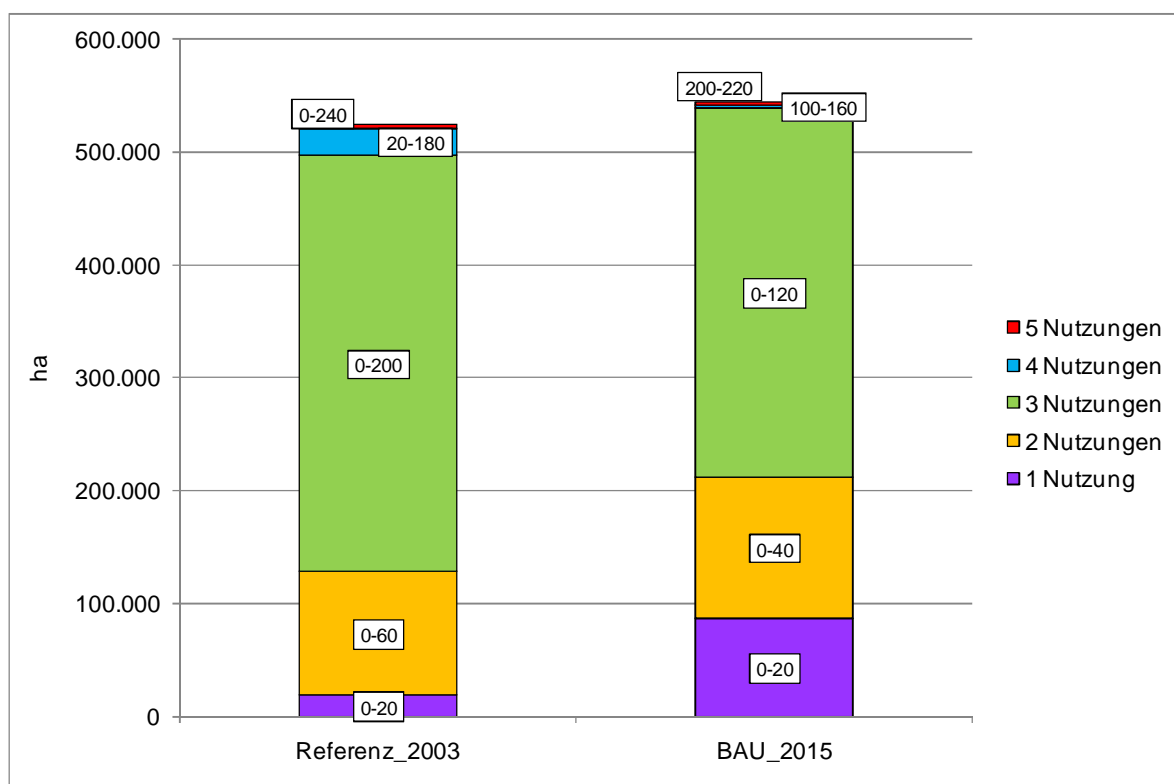
		VGG_1		VGG_5		Baden-Württemberg	
		Referenz_2003	BAU_2015	Referenz_2003	BAU_2015	Referenz_2003	BAU_2015
<b>Ackerfläche</b>	ha	184.196	184.176	4.026	4.028	837.330	837.324
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			0%		0%		0%
<b>Grünlandfläche</b>	ha	42.881	42.883	45.524	45.525	524.903	544.128
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			0%		0%		4%
<b>Wintergetreide</b>	ha	67.349	73.785	683	706	323.114	333.196
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			10%		3%		3%
<b>Sommergetreide</b>	ha	42.365	52.005	362	86	171.184	243.292
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			23%		-76%		42%
<b>Mais</b>	ha	26.977	15.116	1.980	2.444	150.995	80.056
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			-44%		23%		-47%
<b>Kartoffeln</b>	ha	2.719	2.719	0	0	6.371	6.439
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			0%				1%
<b>Zuckerrüben</b>	ha	16.626	17.856	0	0	22.036	23.643
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			7%				7%
<b>Winterraps</b>	ha	10.412	16.301	9	29	70.896	89.957
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			57%		204%		27%
<b>Sonnenblumen</b>	ha	105	0	14	0	297	76
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			-100%		-100%		-75%
<b>Kleegras</b>	ha	1.803	6.393	662	763	23.314	59.995
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			254%		15%		157%
<b>Brache</b>	ha	15.841	0	314	0	69.122	586
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			-100%		-100%		-99%
<b>Zwischenfrüchte</b>	ha	52.220	50.330	2.009	1.440	225.153	215.496
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			-4%		-28%		-4%

Quelle: eigene Berechnungen

**Tabelle 33: Energiepflanzenanbau und Energieproduktion in der Referenz\_2003 und dem Szenario BAU\_2015**

		VGG_1		VGG_5		Baden-Württemberg	
		Referenz_2003	BAU_2015	Referenz_2003	BAU_2015	Referenz_2003	BAU_2015
<b>Raps (Biodiesel)</b>	ha	4.907				13.093	1.635
<b>Mais (Biogas)</b>	ha	4.273	9.209	36	201	30.019	40.228
<b>Energieproduktion</b>	TJ	732	942	17	21	5.200	4.282
<b>Anteil am Primärenergiebedarf (in Form von Nettoenergie)</b>						0,32%	0,27%

Quelle: eigene Berechnungen



Die Zahlen in den weißen Kästchen geben die Spanne der Düngeintensität für die jeweilige Nutzungshäufigkeit in kg N/ha an.

Quelle: eigene Berechnungen

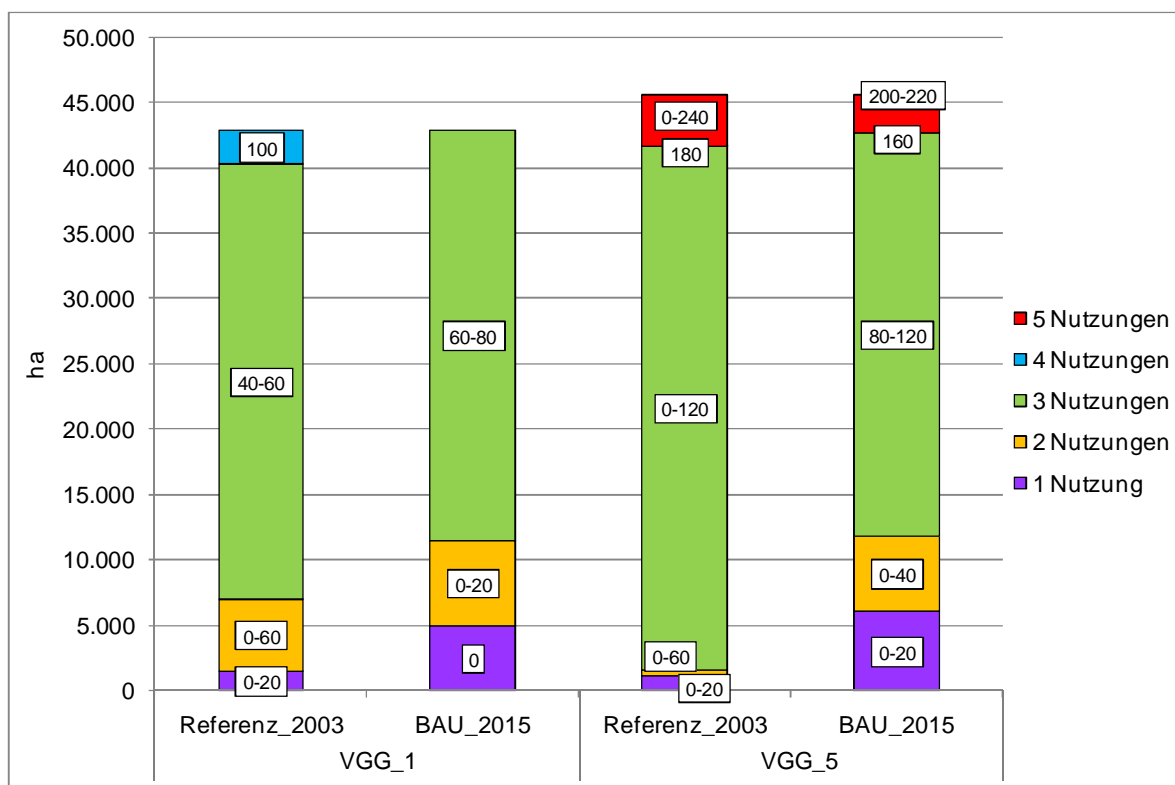
**Abbildung 10: Grünlandnutzung in der Referenz\_2003 und dem Szenario BAU\_2015 in Baden-Württemberg**

Die Entwicklung der Anbauumfänge in einer typischen Ackerbauregion wie dem Unterland/Gäue (VGG\_1) entspricht in der Tendenz der Entwicklung in Baden-Württemberg (vgl. Tabelle 32). Einige Veränderungen gegenüber der Referenz\_2003 sind jedoch stärker ausgeprägt, insbesondere die Ausdehnung des Winterraps- und Kleegrasanbaus. Der Anbau von Winterraps wird in einem stärkeren

Maße ausgedehnt als in Baden-Württemberg, da die Standortbedingungen hier besonders hohe Erträge ermöglichen und den Anbau damit ökonomisch vorteilhafter werden lassen. Jedoch erfolgt diese Ausdehnung wie auch auf Ebene Baden-Württembergs, ausschließlich zugunsten von Raps für die Futter- und Nahrungsmittelproduktion. Für die Biodieselproduktion wird kein Raps mehr angebaut (vgl. Tabelle 33). Die Anbaufläche für Silomais insgesamt wird zwar eingeschränkt, jedoch betrifft dies ausschließlich die Futterfläche, während die Fläche für die Biogasproduktion mehr als verdoppelt wird. Dies bewirkt, dass die Energieproduktion um rund ein Drittel erhöht wird. Infolge dessen wird der Klee grasanbau ausgedehnt, um die Grundfütterversorgung sicherzustellen. Da in VGG\_1 im Vergleich zu Baden-Württemberg die Klee grasproduktion im Verhältnis deutlich stärker erhöht wird und die Grünlandnutzung nicht so stark extensiviert wird, erhöht sich der Futterzukauf mit 16% auch in einem geringeren Maß als in Baden-Württemberg. Dennoch wird die Milchproduktion um rund 20% gesteigert, während die Anzahl der Milchkühe und auch der übrigen Tierarten unverändert bleibt. Die Grünlandnutzung ist in Abbildung 11 dargestellt und weist, wie auch in Baden-Württemberg insgesamt, eine geringere Nutzungshäufigkeit und eine niedrigere Düngemenge für das dreimal genutzte Grünland im Vergleich zur Referenz\_2003 auf. Im Gegensatz zu Baden-Württemberg wird das Dauergrünland jedoch bereits in der Referenz vollständig genutzt.

Die Anbaustruktur einer typischen Futterbauregion Baden-Württembergs, wie sie das Allgäu (VGG\_5) repräsentiert, hebt sich besonders hinsichtlich des Sommergetreide- und Maisanbaus ab (vgl. Tabelle 32). Im Szenario BAU\_2015 wird in VGG\_5 im Gegensatz zu Baden-Württemberg der Anbau von Sommergetreide im Vergleich zur Referenz\_2003 sehr stark eingeschränkt und der Anbau von Silomais ausgedehnt. Interessant ist, dass in der Futterbauregion nicht nur der Silomaisanbau für die Biogasproduktion sehr stark ausgedehnt wird (vgl. Tabelle 33), sondern auch um 16% für die Fütterung. Dagegen wird, wie bereits in der Referenz\_2003, kein Raps für die Biodieselproduktion angebaut und die Energieproduktion ist im Vergleich zu VGG\_1 sehr gering. Die Ausdehnung der Klee grasanbaufläche ist mit 15% deutlich geringer als in VGG\_1 oder Baden-Württemberg. Dabei ist jedoch zu beachten, dass im Allgäu auch die Bereitstellung von Grundfutter aus Silomais erhöht wird. Zusätzlich wird die Grünlandnutzung intensiviert, was insbesondere mit-

tels einer höheren durchschnittlichen N-Düngung erfolgt (vgl. Abbildung 11), und der Futtermittelzukauf mehr als verdoppelt. Damit ist es möglich die Milchproduktion in dieser Region gegenüber der Referenz\_2003 um über 10% zu erhöhen, wobei diese Steigerung nur halb so hoch ist wie in Baden-Württemberg oder in VGG\_1. Zu berücksichtigen ist dabei, dass in dieser Region die höchste Milchleistung Baden-Württembergs erreicht wird und eine ähnliche relative Steigerung der Milchproduktion daher einen deutlich höheren Aufwand von Produktionsmitteln bedeuten würde. Die geringen Änderungen in der Betriebsorganisation weisen auf die begrenzte Anpassungsfähigkeit der Futterbauregion an veränderte Rahmenbedingungen, insbesondere die Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus, hin.



Die Zahlen in den weißen Kästchen geben die Spanne der Düngeintensität für die jeweilige Nutzungshäufigkeit in kg N/ha an.

Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 11: Grünlandnutzung in der Referenz\_2003 und in dem Szenario BAU\_2015 in VGG\_1 und VGG\_5

## 6.2.2 Ökonomische Kennzahlen

Um die Auswirkungen der Szenarienannahmen auf den Unternehmenserfolg bewerten zu können, wurde aus den ökonomischen Kennzahlen der Deckungsbeitrag,

einschließlich der Förderung durch MEKA (Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich), ausgewählt. Dieser wird jeweils sowohl flächenbezogen als auch als Gesamtbetrag für die betrachteten Regionen ausgewiesen (vgl. Tabelle 37). Die Werte für die Referenz\_2003 und das Szenario BAU\_2015 wurden vergleichbar gemacht, indem die Deckungsbeiträge und die MEKA-Ausgleichszahlungen inflationsbereinigt wurden. Berücksichtigt wurde dabei eine jährliche Inflationsrate von 2%. Die Inflationsbereinigung führt dazu, dass die Deckungsbeiträge in Baden-Württemberg und in der Futterbauregion VGG\_5 eine deutlich geringere Steigerung im BAU\_2015 im Vergleich zur Referenz\_2003 aufweisen und in der Ackerbauregion real gesehen um 13% sinken. Der höhere flächenbezogene Deckungsbeitrag in Baden-Württemberg im BAU\_2015 entspricht der Entwicklung der Buchführungsergebnisse bis zum Wirtschaftsjahr 2009/10, die ebenfalls eine steigende Tendenz aufweisen (MLR, 2005; MLR, 2011a). Wie bereits in der Referenz\_2003 liegen auch im Szenario BAU\_2015 die Deckungsbeiträge pro Hektar in der Futterbauregion VGG\_5 deutlich über denen von Baden-Württemberg. Dies begründet sich durch die hohen Einkommensbeiträge aus der Tierhaltung. Dagegen sind die Deckungsbeiträge in der Ackerbauregion deutlich geringer als im Landesdurchschnitt. Diese bereits in der Referenz\_2003 bestehenden starken regionalen Unterschiede sind im BAU\_2015 noch deutlicher ausgeprägt, da die Deckungsbeiträge im Getreideanbau, insbesondere Wintergetreide, einen stärkeren Rückgang verzeichnen als die Deckungsbeiträge der Milchkuhhaltung.

**Tabelle 34: Deckungsbeiträge und MEKA-Förderung in der Referenz\_2003 und dem Szenario BAU\_2015**

		VGG_1		VGG_5		Baden-Württemberg	
		Referenz_2003	BAU_2015	Referenz_2003	BAU_2015	Referenz_2003	BAU_2015
<b>Deckungsbeitrag</b>	Mio. €	207	227	69	110	1.401	1.835
	€/ha	910	1.001	1.393	2.224	1.014	1.329
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			10%		60%		31%
<b>Deckungsbeitrag (inflationsbereinigt)</b>	Mio. €	207	179	69	87	1.401	1.447
	€/ha	910	789	1.393	1.753	1.014	1.048
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			-13%		26%		3%
<b>davon MEKA-Förderung</b>	Mio. €	14	8	4	3	89	62
	€/ha	64	37	72	57	65	45
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			-43%		-21%		-31%
<b>davon MEKA-Förderung (inflationsbereinigt)</b>	Mio. €	14	7	4	2	89	49
	€/ha	64	29	72	45	65	35
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			-55%		-38%		-46%

Quelle: eigene Berechnungen

Die Inanspruchnahme der MEKA-Förderung ist in Baden-Württemberg in der Referenz\_2003 geringer als in der Statistik (2003: 148,1 Mio. €) ausgewiesen (Landtag Baden-Württemberg, 2008). Der gewählte Optimierungsansatz kann aufgrund der Zielfunktion den Deckungsbeitrag zu maximieren und deswegen intensivere Produktionsverfahren zu bevorzugen, zu einer geringeren Inanspruchnahme der MEKA-Förderung führen als tatsächlich im Jahr 2003 ausbezahlt wurde. Zudem sind lediglich die für die Acker- und Grünlandnutzung wichtigsten MEKA-Maßnahmen im Modell integriert. Maßnahmen wie beispielsweise die Förderung für den ökologischen Landbau oder Sonderkulturen bleiben außen vor. Im Szenario BAU\_2015 nehmen die Modellbetriebe nach einer Inflationsbereinigung auf Ebene Baden-Württembergs nur noch rund 54% der Fördersumme der Referenz\_2003 in Anspruch (vgl. Tabelle 34). Dies entspricht auch der tatsächlichen Entwicklung, nach der im Jahr 2007 nur noch rund 66% der Summe des Jahres 2003 ausgezahlt wurde (Landtag Baden-Württemberg, 2008). Vom Jahr 2003 bis zum Jahr 2007 wurde das MEKA-Programm von MEKA II zu MEKA III weiterentwickelt. Dabei wurden einige Maßnahmen und deren Förderhöhe geändert oder vollständig aus dem Förderprogramm genommen, wie beispielsweise der Verzicht auf Halmverkürzer, der lediglich noch mit 5 MEKA-Punkten pro Hektar unterstützt wird statt mit 10 Punkten

oder der erweiterte Drillreihenabstand (mindestens 17 cm), der nicht mehr förderfähig ist. Für das Szenario BAU\_2015 wurde eine Förderung im Rahmen von MEKA III in EFEM implementiert, was in Kombination mit der leichten Intensivierung des Ackerbaus insbesondere in VGG\_1, zu einer Reduzierung der MEKA-Förderung führt.

### **6.2.3 Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen**

Die Treibhausgasemissionen werden den Entstehungsorten „vorgelagerter Bereich“, „Landwirtschaft“ und „nachgelagerter Bereich“ zugeordnet. Für die Bilanz werden von der Summe der Emissionen die Gutschriften, die sich aus dem Energiepflanzenanbau ergeben, abgezogen (vgl. Kapitel 4). Gegenüber der Referenz\_2003 steigen die Emissionen im vorgelagerten Bereich im Szenario BAU\_2015 in Baden-Württemberg, aber auch in der Ackerbauregion (VGG\_1) und der Futterbauregion (VGG\_5) aufgrund eines höheren Dünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatzes, bzw. deren Produktion, sowie einem vermehrten Futtermittelzukauf an (vgl. Tabelle 35). Die Intensivierung der Ackerlandnutzung und der Milchkuhhaltung führen auch in der Landwirtschaft zu höheren Treibhausgasemissionen, vor allem in Form von Lachgas und Methan. Die Zunahme der Methanemissionen ist auf die veränderte Fütterung der Rinder zurückzuführen: zum einen wird das Grünland extensiviert was mit einer Erhöhung des Rohfasergehaltes und damit vermehrten Methanemission im Rinderpanen einhergeht, zum anderen kommt in der Fütterung vermehrt Klee gras zum Einsatz, was ebenfalls eine Erhöhung der Methanemissionen nach sich zieht. Die modellierten Methanemissionen können im Gegensatz zu den Kohlendioxid- und den Lachgasemissionen gut mit den empirischen Daten verglichen werden, da sie nahezu vollständig aus der Tierhaltung stammen und die Berechnungsgrundlagen sich somit entsprechen. Der Vergleich zeigt, dass die Methanemissionen aus der Viehwirtschaft im Jahr 2008 im Vergleich zum Jahr 2003 um rund 6% gesunken sind, was auf eine Reduzierung des Rinderbestandes in Baden-Württemberg von 2003 bis 2007 zurückzuführen ist (Stala, 2011c; MLR, 2010b). RÖSCH ET AL. (2007) gehen in ihrer Studie „Energie aus dem Grünland - eine nachhaltige Entwicklung?“ davon aus, dass aufgrund weiter sinkenden Tierbeständen bis zum Jahr 2015 über ein Viertel des Dauergrünlandes in Baden-Württemberg nicht mehr für Fütterungszwecke benötigt wird. Eine Reduzierung des Rinderbestandes wurde für die Modellierung jedoch nicht ange-

nommen. Es wurde lediglich eine Obergrenze durch die Limitierung der Stallkapazitäten vorgegeben, weshalb die Entwicklung der modellierten Methanemissionen nicht den statistischen Werten entspricht.

Durch die reduzierte Nutzung von Silomais in der Biogasanlage und Raps für die RME-Produktion sinken in Baden-Württemberg und VGG\_1 die Emissionen, die durch die Prozessenergie bei der Bereitstellung der Energieträger im nachgelagerten Bereich entstehen. Da der Energiepflanzenanbau in VGG\_5 nur wenig Fläche einnimmt, macht sich auch dessen Ausdehnung beim Ausstoß von Treibhausgasen kaum bemerkbar. In der Summe steigen die Treibhausgasemissionen im Vergleich zur Referenz\_2003 in Baden-Württemberg, aber auch der Ackerbauregion VGG\_1 und der Futterbauregion VGG\_5 um 5 bzw. 8% an. Werden die Gutschriften für den Energiepflanzenanbau in die Bilanz mit einbezogen, so verbessert sich die Treibhausgasbilanz lediglich in der Ackerbauregion, da hier der Energiepflanzenanbau gegenüber der Referenz\_2003 deutlich ausgedehnt wird. In der Futterbauregion hat die Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus kaum Auswirkungen auf die Bilanz, und in Baden-Württemberg insgesamt führt die Berücksichtigung der Gutschriften für den Energiepflanzenanbau sogar dazu, dass die Bilanz gegenüber der Referenz\_2003 noch weiter verschlechtert wird, da der Umfang des Energiepflanzenanbaus eingeschränkt wird.

*Tabelle 35: Treibhausgasemissionen in der Referenz\_2003 und dem Szenario BAU\_2015*

		VGG_1		VGG_5		Baden-Württemberg	
		Referenz_2003	BAU_2015	Referenz_2003	BAU_2015	Referenz_2003	BAU_2015
<b>vorgelagerter Bereich</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	194,1	218,3	6,3	10,3	782,8	843,0
<b>Landwirtschaft</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	656,3	707,1	358,3	372,8	5.014,8	5.268,0
<b>nachgelagerter Bereich</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	13,5	9,9	0,2	0,2	69,8	47,1
<b>Treibhausgasemissionen insgesamt</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e t CO <sub>2</sub> e/ha	863,9 3,8	935,3 4,1	364,7 7,4	383,3 7,7	5.867,3 4,2	6.158,1 4,5
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			8%		5%		5%
<b>Gutschrift Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	-97,4	-114,1	-2,3	-2,5	-702,4	-517,5
<b>Bilanz mit Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e t CO <sub>2</sub> e/ha	766,5 3,4	821,2 3,6	362,4 7,3	380,7 7,7	5.165,0 3,7	5.640,5 4,1
<i>Veränderungen zur Referenz_2003</i>			7%		5%		9%

Quelle: eigene Berechnungen

## 7 Analyse der modellierten Szenarien

Im Folgenden werden denkbare zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten der baden-württembergischen Landwirtschaft unter verschiedenen Rahmenbedingungen betrachtet. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Ausdehnung des Biomasseanbaus sowie der Naturschutzvorgaben und den daraus entstehenden Konflikten aber auch den Synergieeffekten. Zunächst wird für die Ausgangssituation, das Szenario BAU\_2015, eine moderate (BAU\_Nat) und eine extreme (BAU\_NatXL) Erhöhung der Naturschutzvorgaben modelliert. In den nachfolgenden Szenarien wird zuerst die potenzielle Anbaufläche für Energiepflanzen ausgedehnt und anschließend jedes Szenario unter moderaten und extremen Naturschutzvorgaben betrachtet. Um die Auswirkungen der jeweiligen Szenarienannahmen zu verdeutlichen, werden die Ergebnisse der Ausgangssituation des BAU\_2015 gegenüber gestellt. Für alle modellierten Szenarien werden die bereits im BAU\_2015 geltenden politischen Rahmenbedingungen und Erzeugerpreise angenommen.

### 7.1 Die Auswirkungen verbesserter Naturschutzmaßnahmen im Szenario Business-as-usual 2015

Um zu analysieren, welche Auswirkungen eine Erhöhung und damit aus naturschutzfachlicher Sicht eine Optimierung, der Naturschutzvorgaben in der Basissituation (BAU\_2015) hat, wurde diese um die vom Institut für Landschaftsplanung und Ökologie erstellten Naturschutzforderungen (vgl. Kapitel 5.4) erweitert (BAU\_Nat). Um den durch Naturschutzrestriktionen ausgelösten Entwicklungstrend zu untersuchen, wurden die Naturschutzvorgaben in einem weiteren Szenario um 40% erhöht (BAU\_NatXL).

#### 7.1.1 Anbaustruktur und Tierproduktion

Die Anhebung der bisher geltenden Naturschutzvorgaben führt auf Ebene Baden-Württembergs zu einer Reduktion der bewirtschafteten Ackerfläche. Dies ist durch Naturschutzmaßnahmen, wie beispielsweise Blühstreifen zu erklären, die eine weitere landwirtschaftliche Nutzung dieser Fläche nicht vorsehen (vgl. Tabelle 36). Die Ausdehnung der Dauergrünlandbewirtschaftung unterliegt keinen Änderungen. Auf die Veränderung der Bewirtschaftungsweise wird später genauer eingegangen.

Die Erhöhung der Naturschutzvorgaben bedingt hinsichtlich der Anbauumfänge der Ackerkulturen, dass der Anbau von Getreide, Raps, Sonnenblumen und Klee gras gegenüber dem Szenario BAU\_2015 reduziert wird, wohingegen der Anbau von Mais und Zuckerrüben leicht, die Fläche für Zwischenfrüchte stark ausgedehnt wird. Die Zunahme des Maisanbaus ist durch die Futtermaisproduktion bedingt, während die Verwendung in der Biogasanlage leicht eingeschränkt wird. Diese Entwicklung wird durch die Nutzungseinschränkungen und die damit verbundene Extensivierung im Grünland hervorgerufen, die zu einer Reduktion des Grundfutters hinsichtlich der Qualität und Quantität führt. Unter extremen Naturschutzforderungen wird der Silo-maisanbau dagegen wieder eingeschränkt, was auf die weitere Einschränkung der potenziell verfügbaren Anbaufläche in Szenario BAU\_NatXL zurückzuführen ist. Die stillgelegte Fläche wird aufgrund der Naturschutzrestriktionen um ein Vielfaches erhöht, was zur Folge hat, dass für den Anbau von Marktfrüchten und Futterpflanzen weniger Fläche zur Verfügung steht. Dieser Umstand und die Einschränkung der nutzbaren Ackerfläche aufgrund von Naturschutzrestriktionen führen zu einer Reduktion der betriebseigenen Futtermittelproduktion und zu einer Erhöhung des Futtermittelzukaufs, hauptsächlich in Form von Getreide, um 3% (BAU\_Nat) bzw. 4% (BAU\_NatXL). Beim Anbau von Raps und Klee gras wird Kohlenstoff im Boden gespeichert, der zu einer Verbesserung der Humusbilanz beiträgt. Da in den beiden Naturschutzszenarien der Anbau von Raps und Klee gras eingeschränkt wird, wird im Gegenzug die Fläche für den Zwischenfruchtanbau ausgedehnt, um eine ausgeglichene Humusbilanz zu gewährleisten.

Tabelle 36: Vergleich der Anbaustrukturen des Szenarios BAU\_2015 mit den Szenarien BAU\_Nat und BAU\_NatXL für Baden-Württemberg

		Baden-Württemberg		
		BAU_2015	BAU_Nat	BAU_NatXL
<b>Ackerfläche</b>	ha	837.324	813.670	804.209
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-3%	-4%
<b>Grünlandfläche</b>	ha	544.128	544.128	544.128
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			0%	0%
<b>Wintergetreide</b>	ha	333.196	320.925	318.329
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-4%	-4%
<b>Sommergetreide</b>	ha	243.292	236.950	231.679
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-3%	-5%
<b>Mais</b>	ha	80.056	82.737	80.917
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			3%	1%
<b>Kartoffeln</b>	ha	6.439	6.439	6.439
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			0%	0%
<b>Zuckerrüben</b>	ha	23.643	24.147	24.137
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			2%	2%
<b>Winterraps</b>	ha	89.957	61.155	53.207
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-32%	-41%
<b>Sonnenblumen</b>	ha	76	27	0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-65%	-100%
<b>Kleegras</b>	ha	59.995	54.217	51.600
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-10%	-14%
<b>Brache</b>	ha	586	27.073	37.903
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			4521%	6369%
<b>Zwischenfrüchte</b>	ha	215.496	287.495	303.144
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			33%	41%

Quelle: eigene Berechnungen

In einer für Baden-Württemberg typischen Ackerbauregion, wie dem Unterland/Gäue, hat die Ausdehnung der Naturschutzforderungen hinsichtlich des Ackerbaus ähnliche Auswirkungen, wie in Baden-Württemberg insgesamt (vgl. Tabelle 37). Lediglich der Anbau von Futtersilomais wird in dieser Region, im Gegensatz zu Baden-Württemberg, auch unter extremen Naturschutzforderungen noch

weiter ausgedehnt. Infolgedessen ist auch keine Ausdehnung des Futtermittelzukaufs zur Deckung des Futterbedarfs notwendig.

**Tabelle 37:** Vergleich der Anbaustrukturen des Szenarios BAU\_2015 mit den Szenarien BAU\_Nat und BAU\_NatXL für VGG\_1 und VGG\_5

		VGG_1			VGG_5		
		BAU_2015	BAU_Nat	BAU_NatXL	BAU_2015	BAU_Nat	BAU_NatXL
<b>Ackerfläche</b>	ha	184.176	179.313	177.360	4.028	3.907	3.859
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-3%	-4%		-3%	-4%
<b>Grünlandfläche</b>	ha	42.883	42.883	42.883	45.525	45.525	45.525
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			0%	0%		0%	0%
<b>Wintergetreide</b>	ha	73.785	71.767	70.957	706	595	726
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-3%	-4%		-16%	3%
<b>Sommergetreide</b>	ha	52.005	49.815	48.671	86	84	83
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-4%	-6%		-3%	-4%
<b>Mais</b>	ha	15.116	15.962	16.112	2.444	2.290	2.065
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			6%	7%		-6%	-15%
<b>Kartoffeln</b>	ha	2.719	2.719	2.719	0	0	0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			0%	0%			
<b>Zuckerrüben</b>	ha	17.856	17.856	17.856	0	0	0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			0%	0%			
<b>Winterraps</b>	ha	16.301	10.604	9.357	29	23	18
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-35%	-43%		-20%	-38%
<b>Sonnenblumen</b>	ha	0	0	0	0	0	0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>							
<b>Kleegras</b>	ha	6.393	5.001	3.863	763	761	752
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-22%	-40%		0%	-1%
<b>Brache</b>	ha	0	5.588	7.824	0	154	215
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>							
<b>Zwischenfrüchte</b>	ha	50.330	77.213	81.884	1.440	1.744	1.875
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			53%	63%		21%	30%

Quelle: eigene Berechnungen

Die für die Futterbauregion VGG\_5 modellierten Ergebnisse unterscheiden sich in einigen Punkten von denen Baden-Württembergs (vgl. Tabelle 37). Die Produktion von Wintergetreide wird unter moderaten Naturschutzforderungen zunächst deutlich stärker eingeschränkt als in Baden-Württemberg. Die Anbauausdehnung unter extremen Forderungen um 3% gegenüber dem BAU\_2015 ist vor allem darauf zurückzuführen, dass ein Teil der Naturschutzforderungen lediglich im Getreide um-

gesetzt werden kann. Bereits unter moderaten Naturschutzrestriktionen wird der Futtermittelzukauf leicht eingeschränkt, durch die Zunahme des Getreideanbaus unter sehr hohen Naturschutzforderungen ist eine noch stärkere Einschränkung des Futtermittelzukaufs gegenüber dem BAU\_2015 möglich. Während die Grundfutterbereitstellung durch Silomais mit zunehmenden Naturschutzforderungen sinkt, wird der Anbau von Klee gras kaum beeinflusst. Das durch den Anbau von Silomais und die Extensivierung des Grünlandes fehlende Grundfutter wird, wie später noch näher beschrieben, durch eine deutliche Intensivierung des von den Naturschutzrestriktionen nicht betroffenen Dauergrünlandes ausgeglichen.

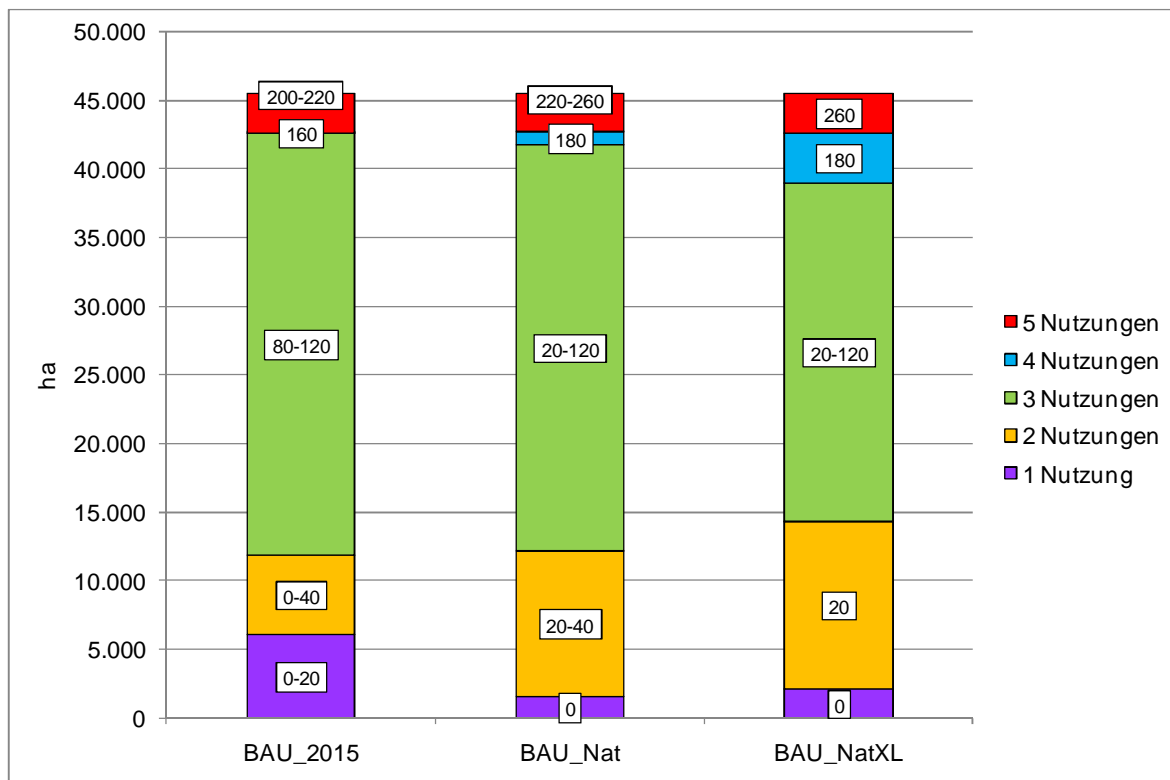
Die Tierhaltung wird lediglich hinsichtlich der Mutterkuhhaltung durch erhöhte Naturschutzrestriktionen beeinflusst. Während sie unter moderaten Naturschutzforderungen in Baden-Württemberg noch keiner Veränderung unterliegt, wird sie unter extremen Annahmen (BAU\_NatXL) um etwa 10% eingeschränkt. Diese Änderung wird ausschließlich durch eine Reduzierung des Mutterkuhbestandes um 66% in VGG\_4 (Alb/Baar) ausgelöst. Hier wird die Grundfutterbereitstellung aufgrund der in dieser Region besonders hohen Naturschutzforderungen stark beschränkt. Diese Naturschutzforderungen führen also dazu, dass zuerst die extensiven Halteverfahren eingeschränkt werden, während die intensiven Verfahren erhalten bleiben.

In der Ackerbauregion (VGG\_1) und der Futterbauregion (VGG\_5) verändert sich die Anzahl der gehaltenen Tiere ebenfalls nicht, jedoch ist mit zunehmenden Naturschutzforderungen, die mit einer Einschränkung der Futtergrundlage einhergehen, eine Extensivierung der Milchkuhhaltung und eine leichte Reduzierung der produzierten Milchmenge zu beobachten.

Durch die Einführung der Naturschutzmaßnahmen wird im Grünland eine gegensätzliche Entwicklung der Grünlandnutzung ausgelöst, die in einer intensiven Futterbauregion wie dem Allgäu (VGG\_5) besonders deutlich wird. Daher wird an dieser Stelle die Änderung der Grünlandnutzung am Beispiel des VGG\_5 ausführlich beschrieben und die für Baden-Württemberg und VGG\_1 ähnlichen Entwicklungstendenzen nur kurz dargestellt.

Während das von den Naturschutzforderungen betroffene Grünland in VGG\_5 einer sichtbaren Extensivierung unterliegt, wird das übrige Grünland deutlich intensiver genutzt, um die Grundfutterbereitstellung sicherzustellen. Diese sich durch höhere Naturschutzauflagen verstärkende, gegensätzliche Entwicklung der Dauer-

grünlandbewirtschaftung zeigt sich auch in der Abnahme des 3-schnittigen zugunsten des 4- und 5-schnittigen Grünlandes und einer Erhöhung der Düngung des 5-schnittigen Grünlandes unter sehr hohen Naturschutzrestriktionen. Im Zuge der Naturschutzforderungen und der damit einhergehenden Extensivierung wird insbesondere die durchschnittliche Düngung des 1- und 2-schnittigen Grünlandes im Szenario BAU\_NatXL gegenüber dem BAU\_2015 reduziert (vgl. Abbildung 12).



Die Zahlen in den weißen Kästchen geben die Spanne der Düngeintensität für die jeweilige Nutzungshäufigkeit in kg N/ha an.

Quelle: eigene Berechnungen

**Abbildung 12: Grünlandnutzung in den Szenarien BAU\_2015, BAU\_Nat und BAU\_NatXL in VGG\_5**

Auf Ebene Baden-Württembergs und in VGG\_1 bewirken die Naturschutzforderungen im Vergleich zu der Situation im BAU\_2015 insgesamt eine extensivere Nutzung des Dauergrünlandes (Abbildungen siehe Anhang 1 und Anhang 2). In Baden-Württemberg sinkt die durchschnittliche Nutzungshäufigkeit aufgrund verbesserter Naturschutzmaßnahmen ebenso, wie die durchschnittliche Düngung. Jedoch wird auch hier das von den Naturschutzforderungen betroffene Grünland extensiviert, während das übrige Grünland deutlich intensiver genutzt wird. Die Grünlandnutzung in der Ackerbauregion VGG\_1 weist nach Einführung der Naturschutzfor-

derungen eine ähnliche Nutzungsänderung auf wie Baden-Württemberg insgesamt. Jedoch werden in dieser Region in jedem Szenario maximal vier Schnitte durchgeführt und die Grundfutterbereitstellung erfolgt durch eine stärkere Ausdehnung des Silomaisanbaus.

### 7.1.2 Bioenergieerzeugung

Auch die Bioenergieproduktion in Baden-Württemberg wird von den implementierten Naturschutzmaßnahmen beeinflusst, jedoch nur unwesentlich (vgl. Tabelle 38). Während die Anbauumfänge von Silomais und Raps infolge der Einführung moderater Naturschutzrestriktionen (BAU\_Nat) um rund 3% sinken, werden sie nach der Erhöhung der Maßnahmen um 40% (BAU\_NatXL) lediglich um einen weiteren Prozentpunkt eingeschränkt. Die in Kapitel 7.1.1 beschriebene starke Einschränkung des Rapsanbaus bezieht sich hauptsächlich auf den Anbau von Raps für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion. Der Anteil des Primärenergiebedarfs, der gedeckt werden kann, sinkt durch die eingeführten Naturschutzforderungen kaum.

*Tabelle 38: Energiepflanzenanbau in Baden-Württemberg in den Szenarien BAU\_2015, BAU\_Nat und BAU\_NatXL*

		Baden-Württemberg		
		BAU_2015	BAU_Nat	BAU_NatXL
<b>Raps (Biodiesel)</b>	ha	1.635	1.587	1.569
<b>Mais (Biogas)</b>	ha	40.228	39.045	38.489
<b>Energieproduktion</b>	TJ	4.282	4.156	4.097
<b>Anteil am Primärenergiebedarf (in Form von Nettoenergie)</b>		0,27%	0,26%	0,26%

Quelle: eigene Berechnungen

In der Vergleichsgebietsgruppe Unterland/Gäue (VGG\_1) wird der Energiepflanzenanbau durch die Naturschutzrestriktionen ebenfalls nur wenig beeinflusst (vgl. Tabelle 39). Dagegen wird in einer für Baden-Württemberg typischen Futterbauregion wie dem Allgäu mit steigenden Naturschutzforderungen auch deutlich weniger Energie produziert die, wie bereits im BAU\_2015, ausschließlich aus der Vergärung von Silomais entsteht. Dies zeigt, dass die Milchproduktion der Bioenergieproduktion in dieser Region aus ökonomischer Sicht vorzuziehen ist und die Flächennutzung für die Futterproduktion effizienter ist.

**Tabelle 39: Energiepflanzenanbau in VGG\_1 und VGG\_5 in den Szenarien BAU\_2015, BAU\_Nat und BAU\_NatXL**

		VGG_1			VGG_5		
		BAU_2015	BAU_Nat	BAU_NatXL	BAU_2015	BAU_Nat	BAU_NatXL
<b>Raps (Biodiesel)</b>	ha						
<b>Mais (Biogas)</b>	ha	9.209	8.966	8.868	201	145	40
<b>Energieproduktion</b>	TJ	942	917	907	21	15	4

Quelle: eigene Berechnungen

### 7.1.3 Ökonomische Kennzahlen

Die auf Ebene Baden-Württembergs erzielten Deckungsbeiträge sinken auch unter der Annahme extremer Naturschutzforderungen nur um maximal 2% (vgl. Tabelle 40). Dabei ist jedoch zu beachten, dass der verwendete Optimierungsansatz die Anpassungsfähigkeit der Betriebe überschätzt und die Kosten in der Realität sicherlich höher ausfallen würden. Daneben werden einige der implementierten Maßnahmen durch MEKA gefördert, sodass die Einkommenseinbußen teilweise ausgeglichen werden können. Während in der Realität der Auszahlungsbetrag der MEKA-Förderung jährlich begrenzt wird, wird für die Modellierung keine Limitierung angenommen. Daher wird auch in den beiden Naturschutzszenarien BAU\_Nat und BAU\_NatXL der Teil der Naturschutzmaßnahmen, der durch MEKA förderfähig ist, vollständig subventioniert. Aus diesem Grund steigt die MEKA-Förderung im Szenario BAU\_NatXL gegenüber dem BAU\_2015 um 14% an.

**Tabelle 40: Deckungsbeiträge und MEKA-Förderung in den Szenarien BAU\_2015, BAU\_Nat und BAU\_NatXL in Baden-Württemberg**

		Baden-Württemberg		
		BAU_2015	BAU_Nat	BAU_NatXL
<b>Deckungsbeitrag</b>	<b>Mio. €</b>	1.835	1.822	1.805
	<b>€/ha</b>	1.329	1.319	1.307
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			<i>-1%</i>	<i>-2%</i>
<b>davon MEKA-Förderung</b>	<b>Mio. €</b>	62	68	70
	<b>€/ha</b>	45	49	51
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			<i>10%</i>	<i>14%</i>

Quelle: eigene Berechnungen

Ebenso wie in Baden-Württemberg insgesamt, sinken die Deckungsbeiträge im Ackerbaugebiet VGG\_1 und im Futterbaugebiet VGG\_5 auch infolge sehr hoher

Naturschutzforderungen gegenüber dem BAU\_2015 um maximal 2% (vgl. Tabelle 41). Unterschiede zeigen sich dagegen in der Inanspruchnahme der MEKA-Förderung, die in VGG\_1 stärker und in VGG\_5 weniger als in Baden-Württemberg ansteigt. In VGG\_1 ist dies darauf zurückzuführen, dass die Naturschutzmaßnahmen, die im Acker umgesetzt werden, mit höheren Förderungen durch MEKA verbunden sind als Grünlandmaßnahmen. Da das Allgäu (VGG\_5) nur über einen geringen Anteil Ackerfläche verfügt und bereits im Szenario BAU\_2015 hohe flächenbezogene MEKA-Förderungen erhält, sind die Änderungen hier nur gering.

*Tabelle 41: Deckungsbeiträge und MEKA-Förderung in den Szenarien BAU\_2015, BAU\_Nat und BAU\_NatXL in VGG\_1 und VGG\_5*

		VGG_1			VGG_5		
		BAU_2015	BAU_Nat	BAU_NatXL	BAU_2015	BAU_Nat	BAU_NatXL
<b>Deckungsbeitrag</b>	Mio. €	227	225	224	110	109	108
	€/ha	1.001	991	986	2.224	2.197	2.173
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-1%	-2%		-1%	-2%
<b>davon MEKA-Förderung</b>	Mio. €	8	10	10	3	3	3
	€/ha	37	43	45	57	58	59
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			19%	24%		1%	2%

Quelle: eigene Berechnungen

#### 7.1.4 Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen

Die Einführung der Naturschutzforderungen bewirkt in Baden-Württemberg, dass die Treibhausgasemissionen insgesamt, aber auch die Emissionen aus den einzelnen Bereichen „vorgelagerter Bereich“, „Landwirtschaft“ und „nachgelagerter Bereich“, sinken (vgl. Tabelle 42). Im vorgelagerten Bereich trägt insbesondere die Reduzierung des Düngereinsatzes und damit der Emissionen aus der Düngerproduktion dazu bei. Die um bis zu 4% (BAU\_NatXL) höheren Emissionen aus dem vermehrten Futtermittelzukauf werden durch die geringere Dünger- und Pflanzenschutzmittelproduktion überkompensiert. Die Extensivierung der Flächenbewirtschaftung in Form geringeren Dünger- und Treibstoffeinsatzes leisten in der Landwirtschaft den überwiegenden Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasproduktion. Parallel zur Einschränkung des Anbaus von Energiepflanzen und damit deren Konversion in Energie, sinken auch die Emissionen aus dem nachgelagerten Bereich. Da die durch den Anbau von Energiepflanzen erzielte Gutschrift mit steigenden Naturschutzforderungen sinkt, ist die Verbesserung der Treibhausgasbilanz

gegenüber dem BAU\_2015 in den beiden Naturschutzszenarien BAU\_Nat und BAU\_NatXL auf die Extensivierung infolge der Implementierung der Naturschutzmaßnahmen zurückzuführen.

*Tabelle 42: Treibhausgasemissionen in den Szenarien BAU\_2015, BAU\_Nat und BAU\_NatXL in Baden-Württemberg*

		Baden-Württemberg		
		BAU_2015	BAU_Nat	BAU_NatXL
<b>vorgelagerter Bereich</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	843,0	733,3	683,8
<b>Landwirtschaft</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	5.268,0	5.142,1	5.032,1
<b>nachgelagerter Bereich</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	47,1	45,7	45,1
<b>Treibhausgasemissionen insgesamt</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	6.158,1	5.921,1	5.760,9
	t CO <sub>2</sub> e/ha	4,5	4,3	4,2
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			<i>-4%</i>	<i>-6%</i>
<b>Gutschrift Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	-517,5	-502,4	-495,2
<b>Bilanz mit Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	5.640,5	5.418,7	5.265,7
	t CO <sub>2</sub> e/ha	4,1	3,9	3,8
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			<i>-4%</i>	<i>-7%</i>

Quelle: eigene Berechnungen

Die für Baden-Württemberg beschriebene Entwicklung der Treibhausgasemissionen trifft auch auf die Region Unterland/Gäue (VGG\_1) zu. Insgesamt ist es in dieser Region aufgrund der geringen Viehdichte und der Tatsache, dass rund ein Viertel des Energiepflanzenanbaus des Landes in dieser Region stattfinden, möglich, dass die flächenbezogene Treibhausgasbilanz um 0,5 t CO<sub>2</sub> e/ha geringer und damit besser ist als in Baden-Württemberg.

Dagegen trägt in der Futterbauregion VGG\_5 die Extensivierung der Flächenbewirtschaftung als Folge der Naturschutzrestriktionen kaum zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen bei. Die Emissionen sinken lediglich im vorgelagerten Bereich sichtbar, wobei die Düngerproduktion konstant bleibt, jedoch deutlich weniger Pflanzenschutzmittel produziert und eingesetzt und der Futtermittelzukauf im Gegensatz zu Baden-Württemberg und VGG\_1 eingeschränkt wird. Die Emissionen aus der Landwirtschaft unterliegen in dieser Region auch unter extremen Naturschutzbedingungen vor allem deswegen kaum einer Reduzierung, da das Dauergrünland über 90% der landwirtschaftlichen Nutzfläche einnimmt und eine naturschutzbedingte Extensivierung eines Teiles des Grünlandes zu einer starken Inten-

sivierung des übrigen Grünlandes führt. Da der Umfang des Energiepflanzenanbaus gering ist, führen die dafür erzielten Gutschriften auch kaum zu einer Verbesserung der Treibhausgasbilanz. Insgesamt erreicht die Viehdichte (0,17 GV/ha) in dieser Region den höchsten Wert in Baden-Württemberg und wird überwiegend durch die Rinderhaltung bestimmt. Die daraus entstehenden Methanemissionen erklären den gegenüber Baden-Württemberg deutlich höheren Wert der flächenbezogenen Treibhausgasemissionen.

*Tabelle 43: Treibhausgasemissionen in den Szenarien BAU\_2015, BAU\_Nat und BAU\_NatXL in VGG\_1 und VGG\_5*

		VGG_1			VGG_5		
		BAU_2015	BAU_Nat	BAU_NatXL	BAU_2015	BAU_Nat	BAU_NatXL
<b>vorgelagerter Bereich</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	218,3	196,0	185,9	10,3	9,7	8,6
<b>Landwirtschaft</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	707,1	688,1	671,5	372,8	372,5	371,4
<b>nachgelagerter Bereich</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	9,9	9,6	9,5	0,2	0,2	0,0
<b>Treibhausgasemissionen insgesamt</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	935,3	893,7	866,9	383,3	382,3	380,0
	t CO <sub>2</sub> e/ha	4,1	3,9	3,8	7,7	7,7	7,7
	<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>		<i>-4%</i>	<i>-7%</i>		<i>0%</i>	<i>-1%</i>
<b>Gutschrift</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	-114,1	-111,1	-109,9	-2,5	-1,8	-0,5
<b>Bilanz mit Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	821,2	782,6	757,1	380,7	380,4	379,5
	t CO <sub>2</sub> e/ha	3,6	3,4	3,3	7,7	7,7	7,7
	<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>		<i>-5%</i>	<i>-8%</i>		<i>0%</i>	<i>0%</i>

Quelle: eigene Berechnungen

## 7.2 Szenarien mit einer Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus und die Auswirkungen verbesserter Naturschutzmaßnahmen

Im Folgenden werden die Szenarien beschrieben, die auf das Szenario BAU\_2015 aufbauen, eine unterschiedliche Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus analysieren und moderate sowie extreme Naturschutzforderungen berücksichtigen. Wie bereits für die Szenarien BAU\_Nat und BAU\_NatXL durchgeführt, werden auch die im Folgenden beschriebenen Szenarien dem Basisszenario BAU\_2015 gegenübergestellt.

### 7.2.1 Anbau einjähriger Energiepflanzen auf maximal 30% der Landnutzungsfläche

Im Szenario BioE 1 ist der Anbau von Energiepflanzen auf 30% der Landnutzungsfläche möglich. Neben der Möglichkeit Raps, Mais und Klee gras für die Energie-

produktion anzubauen, besteht nun auch die Option Stroh, Getreidekörner und Grünland energetisch zu nutzen. Der Grünlandumbruch ist auf 5% des Dauergrünlandanteils möglich. Das Szenario BioE 1\_Nat sieht eine Verbesserung der geltenden Naturschutzvorgaben vor, die im Szenario BioE 1\_NatXL noch einmal um 40% erhöht werden. Der potenzielle Anbauumfang für Energiepflanzen auf 30% der landwirtschaftlichen Nutzfläche wurde gewählt, da im Biomasseaktionsplan Baden-Württemberg angenommen wird, dass zukünftig 10 - 20% der Ackerfläche in Baden-Württemberg für den Energiepflanzenanbau genutzt werden können (WM, 2010). RÖSCH ET AL., 2007 gehen in ihrer Studie zur zukünftigen Grünlandnutzung davon aus, dass bis zum Jahr 2015 rund 167.000 ha Dauergrünland außerhalb der Tierfütterung Verwendung finden können. Diese Fläche entspricht etwa 30% der in EFEM verfügbaren Grünlandfläche und mehr als 10% der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Gemeinsam mit der im Biomasseaktionsplan ausgewiesenen maximalen potentiellen Anbaufläche ergibt sich so die in diesem Szenario angenommene Anbaufläche für Energiepflanzen von 30%. Nicht von dieser Restriktion betroffen ist die Strohverbrennung, da das primäre Ziel auf diesen Flächen die Getreidekornerzeugung ist und das Stroh als Nebenprodukt anfällt. Insofern es nicht für den Ausgleich der Humusbilanz benötigt wird, kann es der energetischen Nutzung durch Verbrennung zugeführt werden.

### **7.2.1.1 Anbaustruktur und Tierproduktion**

Die Option des Grünlandumbruchs wird auf Ebene Baden-Württembergs unter den gesetzten Szenarienbedingungen in einem hohen Maße ausgeschöpft und führt, wie aus Tabelle 44 ersichtlich, zu einer Reduzierung der Grünlandfläche um 4% und einer Ausdehnung der Ackerfläche um 3%. Daneben bewirkt die Möglichkeit den Energiepflanzenanbau auszudehnen, dass der Anbau von Getreide, Futtersilomais, Kartoffeln, Zuckerrüben und Winterraps gegenüber dem BAU\_2015 eingeschränkt wird, der Anbau von Sonnenblumen und die Flächenstilllegung werden vollständig eingestellt. Dagegen wird der Anbau von Silomais für die Biogasproduktion um das Fünffache ausgedehnt und zu über 90% in der Biogasanlage vergoren. Um das fehlende Grundfutter zu ersetzen, wird der Kleegrasanbau um 19% ausgedehnt und die Grünlandnutzung, wie später noch beschrieben wird, intensiviert. Insgesamt wird die ausgebrachte Stickstoffmenge gegenüber dem BAU\_2015 deutlich erhöht, was für intensivere Anbauverfahren und damit höhere Flächenerträge

sorgt. Der Futtermittelzukauf wird hingegen um rund 10% eingeschränkt. Da die Anbauausdehnung von Klee gras für den Ausgleich der Humusbilanz nicht ausreicht, der Rapsanbau eingeschränkt wird und das Stroh nahezu vollständig für die Energiebereitstellung genutzt wird, werden vermehrt Zwischenfrüchte angebaut.

In den beiden Naturschutzszenarien BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL ist kein Grünlandumbruch möglich, die Ackerfläche nimmt jedoch ab, da ein Teil der Fläche zugunsten des Naturschutzes aus der Nutzung genommen wird. Die Ausdehnung der Naturschutzforderungen bewirkt, dass der Getreideanbau, ebenso wie der Kartoffel-, Zuckerrüben- und Winterrapsanbau, gegenüber dem BAU\_2015 noch stärker eingeschränkt wird als im Szenario BioE 1. Auch in den Naturschutzszenarien werden keine Sonnenblumen mehr angebaut. Die Branche wird auf den durch die Naturschutzforderungen vorgegebenen Umfang ausgedehnt.

Das aufgrund der Naturschutzforderungen extensivierte Grünland kann ausschließlich verfüttert werden, da ein Verfahren der energetischen Nutzung wegen der schlechten Energieausbeuten im Modell nicht vorgesehen ist. Um das daraus resultierende wenig wertvolle Futter auszugleichen, wird der Klee grasanbau in den beiden Naturschutzszenarien gegenüber dem BAU\_2015 ausgedehnt, wenn auch nicht in dem Maß, wie in dem Szenario BioE 1. Zusätzlich wird das von den Naturschutzrestriktionen unberührte Grünland intensiviert. Interessant ist, dass mit steigenden Naturschutzvorgaben der Silomaisanbau über die im Szenario BioE 1 erreichte Anbaufläche hinaus ausgedehnt wird. Dabei nimmt unter moderaten Forderungen nur der Anbau für die Verwendung in der Biogasanlage zu, während der Anbau von Futtersilomais rückläufig ist. Um das fehlende Grundfutter zu kompensieren, wird der Futtermittelzukauf im Vergleich zum BioE 1 wieder leicht ausgedehnt, erreicht aber nicht das Niveau des BAU\_2015. Extreme Naturschutzforderungen führen zu einer noch weiteren Ausdehnung des Silomaisanbaus für energetische Zwecke zulasten des Getreideanbaus. Um die starken qualitativen Einschränkungen des Grundfutters aus dem Grünland auszugleichen wird der Silomaisanbau für Fütterungszwecke zwar ebenfalls ausgedehnt, gleichzeitig sinkt der Futtermittelzukauf aber gegenüber dem BioE 1\_Nat. Die Fläche, auf der Zwischenfrüchte eingesät werden, wird durch MEKA gefördert und nimmt in den Szenarien BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL stark zu, was auf die Ausdehnung des Maisanbaus und die Strohabfuhr für die energetische Nutzung zurückzuführen ist.

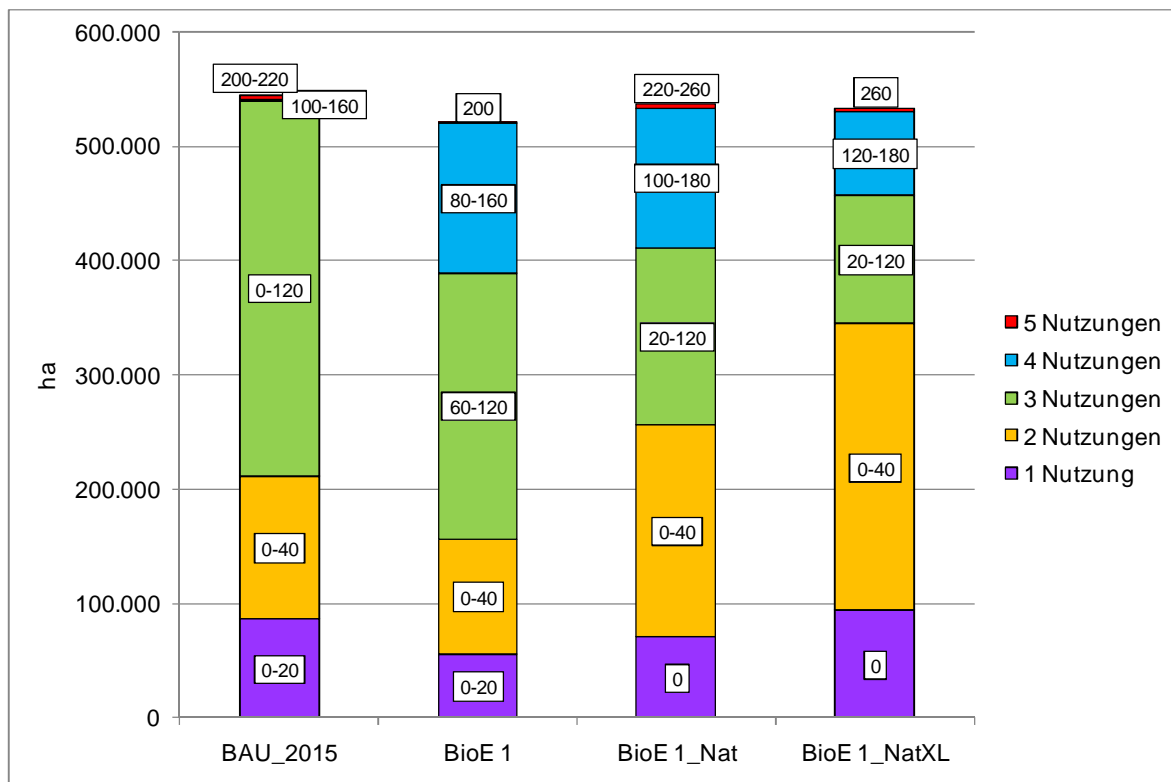
In allen drei Szenarien besteht die Option das Dauergrünland in der Biogasanlage zu vergären, die dazu führt, dass insbesondere das von den Naturschutzrestriktionen unberührte Grünland intensiviert wird (Abbildung 13). In Baden-Württemberg wird die durchschnittliche Anzahl der Schnitte gegenüber dem BAU\_2015 im Szenario BioE 1 deutlich erhöht, was insbesondere in der starken Ausdehnung des vierschnittigen Grünlandes begründet ist. Zusätzlich wird die durchschnittliche Düngung sowohl des extensiven als auch des intensiven Grünlandes erhöht. Infolge dieser Intensivierung können rund 40% des Grünlandaufwuchses vergoren werden. Die bereits für die Szenarien BAU\_Nat und BAU\_NatXL beschriebene, durch die Einführung der Naturschutzmaßnahmen ausgelöste, gegensätzliche Entwicklung des Grünlandes zeigt sich auch in den beiden Szenarien BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL und wird durch die Option der energetischen Verwendung noch verstärkt. Zwar nimmt die Grünlandnutzung für Futterzwecke auf über 80% im BioE 1\_NatXL zu, und aufgrund der Naturschutzforderungen wird mehr Grünland als im BioE 1 nur ein- oder zweimal genutzt. Gleichzeitig nimmt aber auch die Fläche zu, die bis zu fünfmal genutzt wird und die durchschnittliche Düngung des intensiven Grünlandes im BioE 1\_NatXL steigt gegenüber dem BioE 1 deutlich an.

Die Anzahl der gehaltenen Tiere ändert sich mit Ausnahme der Mutterkühe in keinem der Szenarien. Wie bereits für das Szenario BAU\_NatXL beschrieben sinkt auch im Szenario BioE 1\_NatXL die Anzahl der Mutterkühe um 10%, wobei dies auf eine Reduzierung des Bestandes in VGG\_6 zurückzuführen ist. Die produzierte Milchmenge wird in BioE 1 um 25% gegenüber dem BAU\_2015 erhöht, was hauptsächlich durch die Ausdehnung der Grundfutterbereitstellung aus Klee gras, der höheren Düngung von Silomais und Klee gras und die intensivere Grünlandbewirtschaftung ermöglicht wird. In den beiden Naturschutzszenarien sinkt die produzierte Milchmenge gegenüber dem BioE 1 leicht, was mit der Extensivierung aufgrund der eingeführten Naturschutzmaßnahmen erklärt werden kann.

Tabelle 44: Vergleich der Anbaustrukturen des Szenarios BAU\_2015 mit den Szenarien BioE 1, BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL für Baden-Württemberg

		Baden-Württemberg			
		BAU_2015	BioE 1	BioE 1_Nat	BioE 1_NatXL
<b>Ackerfläche</b>	ha	837.324	859.699	813.670	804.210
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			3%	-3%	-4%
<b>Grünlandfläche</b>	ha	544.128	521.820	544.128	544.128
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-4%	0%	0%
<b>Wintergetreide</b>	ha	333.196	327.537	243.245	220.742
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-2%	-27%	-34%
<b>Sommergetreide</b>	ha	243.292	222.813	215.041	205.099
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-8%	-12%	-16%
<b>Mais</b>	ha	80.056	219.101	257.534	269.518
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			174%	222%	237%
<b>Kartoffeln</b>	ha	6.439	5.603	1.972	2.072
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-13%	-69%	-68%
<b>Zuckerrüben</b>	ha	23.643	3.203	974	952
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-86%	-96%	-96%
<b>Winterraps</b>	ha	89.957	9.831	830	781
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-89%	-99%	-99%
<b>Sonnenblumen</b>	ha	76	0	0	0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-100%	-100%	-100%
<b>Kleegras</b>	ha	59.995	71.542	67.000	67.142
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			19%	12%	12%
<b>Brache</b>	ha	586	0	27.073	37.903
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-100%	4521%	6369%
<b>Zwischenfrüchte</b>	ha	215.496	241.527	339.301	341.873
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			12%	57%	59%

Quelle: eigene Berechnungen



Die Zahlen in den weißen Kästchen geben die Spanne der Düngeintensität für die jeweilige Nutzungshäufigkeit in kg N/ha an.

Quelle: eigene Berechnungen

*Abbildung 13: Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 1, BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL im Vergleich zum Szenario BAU\_2015 in Baden-Württemberg*

Die für die Ackerbauregion VGG\_1 modellierten Ergebnisse für die drei Szenarien BioE 1, BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL weichen zwar in einigen Punkten von den für Baden-Württemberg insgesamt berechneten Änderungen der Anbauumfänge ab, weisen aber im Großen und Ganzen eine ähnliche Entwicklung auf. Besonders deutlich werden die Auswirkungen der sich innerhalb des Landes stark unterscheidenden landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen in der Futterbauregion VGG\_5 (vgl. Tabelle 45). Aus diesem Grund und um die Übersichtlichkeit zu wahren, werden im Folgenden für das VGG\_1 lediglich die Abweichungen gegenüber Baden-Württemberg beschrieben, während auf die Ergebnisse des VGG\_5 näher eingegangen wird.

Wegen des geringen Grünlandanteils im Unterland/Gäue (VGG\_1) führt die Reduktion der Dauergrünlandfläche durch den Grünlandumbruch im Szenario BioE 1 nur zu einer Ausdehnung der Ackerfläche um 1%. Der Getreideanbau wird leicht ausgedehnt, während der Anbau von Kartoffeln und Zwischenfrüchten keinen Ände-

rungen unterliegen. Der Silomaisanbau wird in der typischen Ackerbauregion aufgrund des höheren Ackerflächenanteils noch stärker ausgedehnt und ebenfalls zu über 90% der Biogasproduktion zugeführt. Im Gegensatz zu Baden-Württemberg insgesamt, wird der Kleegrasanbau in dieser Region eingeschränkt. Gleichzeitig wird dessen N-Düngung jedoch auch um fast 30 kg/ha erhöht. Da auch der Anbau von Futtersilomais und der Futterzukauf gegenüber dem BAU\_2105 eingeschränkt werden, wird die Grundfütterversorgung der Rinder, wie später näher beschrieben, durch eine intensivere Grünlandnutzung sichergestellt.

Die Implementierung der Naturschutzrestriktionen bewirken in der Ackerbauregion, dass der Anbau von Kartoffeln aus ökonomischer Sicht so unattraktiv wird, dass er vollständig eingestellt wird. Während der Kleegrasanbau gegenüber dem BioE 1 weiter eingeschränkt wird, erfolgt die Futterbereitstellung mit zunehmenden Naturschutzforderungen wieder verstärkt aus Silomais und zugekauften Futtermitteln.

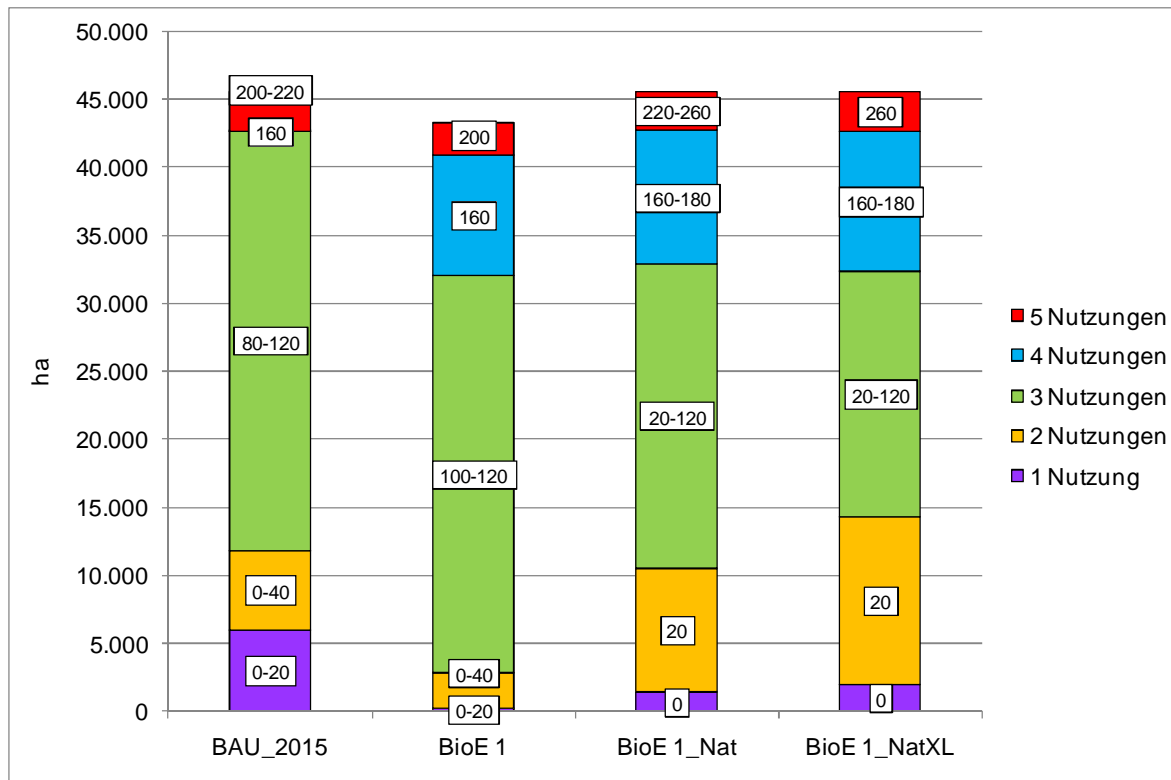
In der Futterbauregion VGG\_5 wird die Option des Grünlandumbruchs im Szenario BioE 1 vollständig genutzt und der Umfang der Ackerfläche so deutlich erhöht. Dies zeigt, dass die Ackerfläche in dieser Region über eine aus betriebswirtschaftlicher Sicht besonders hohe Vorzüglichkeit verfügt und legt den Schluss nahe, dass eine Ausdehnung der Umbruchoption über die 5%-Grenze hinaus auch genutzt werden würden. Die Ausdehnung der Ackerfläche um fast 60% führt dazu, dass die Anbauumfänge aller bereits im BAU\_2015 angebauten Kulturen ausgedehnt werden. Die einzige Ausnahme bildet der Raps, dessen Anbauumfang jedoch bereits im BAU\_2015 vernachlässigbar gering war. Der Silomaisanbau nimmt sowohl für den Einsatz in der Fütterung (etwa 80%) als auch in der Biogasanlage (etwa 20%) zu. Die gleichzeitige Erhöhung des Futtermittelzukaufs ermöglicht eine weitere Ausdehnung der produzierten Milchmenge gegenüber dem BAU\_2015 um 4%.

Die Einführung verbesserter Naturschutzmaßnahmen und das damit einhergehende Grünlandumbruchverbot führen dazu, dass die Anbauumfänge in VGG\_5 überwiegend den gleichen Entwicklungen unterliegen, wie für Baden-Württemberg bereits beschrieben. Eine interessante Ausnahme bildet der Silomais, der im Gegensatz zu Baden-Württemberg mit zunehmenden Naturschutzrestriktionen reduziert wird und zu über 90% in der Fütterung zum Einsatz kommt. Da dennoch weniger Mais für Futterzwecke angebaut wird als in den Szenarien BAU\_2015 oder BioE 1, wird das fehlende Grundfutter durch Kleegras ausgeglichen und der Futtermittelzu-

kauf gegenüber dem BAU\_2015 kaum eingeschränkt sowie die durchschnittliche N-Düngung der Ackerkulturen erhöht. Wie bereits im Szenario BAU\_NatXL führen extreme Naturschutzrestriktionen abweichend von den unter moderaten Forderungen zu beobachtenden Anbauumfängen zu einer Ausdehnung des Wintergetreideanbaus, was zur Folge hat, dass der Futtermittelzukauf stark eingeschränkt wird. Zwar wird das von den Naturschutzmaßnahmen nicht betroffene Grünland intensiver genutzt als im BAU\_2015, da aber die Futterbereitstellung aus Klee gras eingeschränkt wird und der Anbau von Futtersilomais nicht weiter ausgedehnt wird, wird die produzierte Milchmenge gegenüber dem BAU\_2015 leicht reduziert.

Die Grünlandnutzung in VGG\_1 weist infolge der veränderten Rahmenbedingungen eine ähnliche Entwicklung wie Baden-Württemberg auf, die jedoch in ihren Extremen nicht so ausgeprägt ist (Abbildung siehe Anhang 3). Dagegen zeigt sich die durch die Naturschutzmaßnahmen und die Option der Vergärung ausgelöste gegensätzliche Entwicklung in der intensiven Futterbauregion Allgäu (VGG\_5) besonders deutlich.

In allen drei Szenarien wird rund 30% des Dauergrünlandaufwuchses des Allgäus in der Biogasanlage vergoren, wobei der etwas niedrigere Anteil im BioE 1\_NatXL durch eine intensivere Düngung ausgeglichen wird. Daraus lässt sich schließen, dass in dieser Region 30% der Dauergrünlandfläche Überschussgrünland ist, für die Grundfutterbereitstellung nicht benötigt wird und daher anderweitig verwendet werden kann. Dies entspricht auch den Ergebnissen, zu denen RÖSCH ET AL. (2007) in ihrer Studie kommen. Abbildung 14 zeigt, dass der Umfang der extensiv, ein- oder zweimal genutzten Flächen zunimmt und die Düngung gegenüber dem BioE 1 abnimmt. Gleichzeitig wird jedoch das intensive Grünland und dessen Düngung deutlich ausgedehnt, um die reduzierte Grundfutter- und Gärsubstratqualität und auch Quantität auszugleichen. Sowohl die Ausdehnung des extensiven als auch des intensiven Grünlandes verläuft zulasten des dreischnittigen Grünlandes, was zeigt, dass infolge von Nutzungsbeschränkungen durch Naturschutzmaßnahmen eine zu Extremen neigende Grünlandbewirtschaftung gefördert wird.



Die Zahlen in den weißen Kästchen geben die Spanne der Düngeintensität für die jeweilige Nutzungshäufigkeit in kg N/ha an.

Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 14: Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 1, BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL im Vergleich zum Szenario BAU\_2015 in VGG\_5

Die Anzahl der gehaltenen Tiere unterliegt auch in den beiden Regionen Unterland/Gäue und Allgäu in den Szenarien BioE 1, BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL keinen Veränderungen. In der Ackerbauregion VGG\_1 steigt die produzierte Milchmenge gegenüber dem BAU\_2015 in allen drei Szenarien um rund 4%. Möglich ist dies aufgrund der höheren Stickstoffdüngung sowohl im Grünland als auch auf dem Ackerland und den damit einhergehenden höheren Erträgen.

In der Futterbauregion VGG\_5 wird die produzierte Milchmenge im Szenario BioE 1 gegenüber dem BAU\_2015 ebenfalls um 4% ausgedehnt. Jedoch wird die Milchkuhhaltung mit zunehmenden Naturschutzforderungen extensiviert. Da im Gegensatz dazu die für die Bioenergieproduktion genutzte Grünlandfläche konstant bleibt, zeigt sich hier die ökonomische Vorzüglichkeit der Energieproduktion gegenüber der Tierhaltung.

Tabelle 45: Vergleich der Anbaustrukturen des Szenarios BAU\_2015 mit den Szenarien BioE 1, BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL für VGG\_1 und VGG\_5

	VGG_1				VGG_5			
	BAU_2015	BioE 1	BioE 1_Nat	BioE 1_NatXL	BAU_2015	BioE 1	BioE 1_Nat	BioE 1_NatXL
<b>Ackerfläche</b>	ha							
Veränderungen zu BAU_2015	184.176	185.778 1%	179.313 -3%	177.361 -4%	4.028	6.304 57%	3.907 -3%	3.859 -4%
<b>Grünlandfläche</b>	ha							
Veränderungen zu BAU_2015	42.883	41.299 -4%	42.883 0%	42.883 0%	45.525	43.249 -5%	45.525 0%	45.525 0%
<b>Wintergetreide</b>	ha							
Veränderungen zu BAU_2015	73.785	74.426 1%	67.917 -8%	63.992 -13%	706	1.010 43%	662 -6%	787 12%
<b>Sommergetreide</b>	ha							
Veränderungen zu BAU_2015	52.005	53.135 2%	47.988 -8%	47.466 -9%	86	88 2%	78 -10%	67 -23%
<b>Mais</b>	ha							
Veränderungen zu BAU_2015	15.116	46.512 208%	51.912 243%	52.272 246%	2.444	3.683 51%	2.086 -15%	1.874 -23%
<b>Kartoffeln</b>	ha							
Veränderungen zu BAU_2015	2.719	2.719 0%	0 -100%	0 -100%	0	0	0	0
<b>Zuckerrüben</b>	ha							
Veränderungen zu BAU_2015	17.856	2.575 -86%	465 -97%	473 -97%	0	0	0	0
<b>Winterraps</b>	ha							
Veränderungen zu BAU_2015	16.301	997 -94%	556 -97%	501 -97%	29	0 -100%	0 -100%	0 -100%
<b>Sonnenblumen</b>	ha							
Veränderungen zu BAU_2015	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Kleegras</b>	ha							
Veränderungen zu BAU_2015	6.393	5.415 -15%	4.886 -24%	4.833 -24%	763	1.524 100%	927 22%	916 20%
<b>Brache</b>	ha							
Veränderungen zu BAU_2015	0	0	5.588 61%	7.824 62%	0	0	154 25%	215 30%
<b>Zwischenfrüchte</b>	ha							
Veränderungen zu BAU_2015	50.330	50.318 0%	80.834 61%	81.661 62%	1.440	2.385 66%	1.794 25%	1.874 30%

Quelle: eigene Berechnungen

### **7.2.1.2 Bioenergieerzeugung**

Die Option der Bioenergieproduktion wird in Baden-Württemberg vor allem im Szenario BioE 1 bis zu der Grenze von 30% der Landnutzungsfläche ausgedehnt. Im Gegensatz zum BAU\_2015 können nun auch Stroh und Dauergrünland energetisch genutzt werden. Neben dem speziellen Anbau von Energiepflanzen für die Energieproduktion trägt auch das bei der Getreideproduktion anfallende Stroh, das in allen Szenarien nahezu vollständig energetisch genutzt wird, einen bedeutenden Anteil zur Bioenergieproduktion bei (vgl. Tabelle 46). Da das Stroh nun nicht mehr für die Humusreproduktion zur Verfügung steht, wird die Humusbilanz mittels des Zwischenfruchtanbaus ausgeglichen.

Während die Einführung und Erhöhung der Naturschutzmaßnahmen zu einem Rückgang der Energieproduktion aus Stroh, Raps und Dauergrünland führen, wird der Maisanbau weiter ausgedehnt. Dies deutet auf die hohe betriebswirtschaftliche Attraktivität des Maisanbaus für die Bioenergieproduktion hin. Die energetische Grünlandnutzung wird in den Naturschutzszenarien reduziert, da zum einen das aufgrund der Naturschutzrestriktionen extensivierte Grünland ausschließlich in der Fütterung zum Einsatz kommen kann, zum anderen wird die daraus resultierende reduzierte Grundfutterqualität durch höherwertiges Grünland ausgeglichen. Insgesamt sinkt der Umfang des Energiepflanzenanbaus jedoch und wird im Szenario BioE 1\_Nat nur noch auf 25% der landwirtschaftlichen Nutzfläche durchgeführt.

Der Anbau von Getreide für die Ethanolproduktion findet in keinem der Szenarien statt. Zwar sind diese Anbauverfahren im Modell vorgesehen, kommen aber aus ökonomischen Gründen nicht in die Lösung. Die Energieproduktion steigt gegenüber dem Szenario BAU\_2015 insbesondere in dem Szenario BioE 1 stark an und würde es ermöglichen, über 4% des Primärenergiebedarfs Baden-Württembergs zu decken. Dabei würden etwa 30% der Landnutzungsfläche für die Energiepflanzenproduktion genutzt werden und zusätzlich das Stroh von etwa 549.000 ha Getreideproduktion verbrannt werden.

**Tabelle 46:** *Energiepflanzenanbau in Baden-Württemberg in den Szenarien BAU\_2015, BioE 1, BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL*

		<b>Baden-Württemberg</b>			
		BAU_2015	BioE 1	BioE 1_Nat	BioE 1_NatXL
<b>Strohverbrennung</b>	ha	0	549.293	443.857	401.688
<b>Raps (Biodiesel)</b>	ha	1.635	9.831	830	781
<b>Mais (Biogas)</b>	ha	40.228	204.157	243.346	254.131
<b>Grünland (Biogas)</b>	ha	0	198.888	153.975	90.588
<b>Energieproduktion</b>	TJ	4.282	70.374	62.575	59.064
<b>Anteil am Primär-energiebedarf (in Form von Nettoenergie)</b>		0,27%	4,39%	3,90%	3,68%

Quelle: eigene Berechnungen

Der Energiepflanzenanbau in der Ackerbauregion VGG\_1 entwickelt sich unter den sich ändernden Rahmenbedingungen analog zu den für Baden-Württemberg beschriebenen Ergebnissen (vgl. Tabelle 47). Die Futterbauregion VGG\_5 zeigt im Szenario BioE 1 ebenso, wie auch Baden-Württemberg insgesamt eine Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus auf 30% der Landnutzungsfläche und damit der Energieproduktion auf. Diese bleibt auch unter moderaten Naturschutzforderungen konstant, wobei die reduzierte Anbaufläche von Silomais durch die vermehrte energetische Grünlandnutzung kompensiert wird, die aus dem Grünlandumbruchverbot in diesem Szenario resultiert. Dennoch sinkt die Energieproduktion, da Silomais das energiereichere Substrat ist und zudem weniger Stroh verbrannt wird. Unter den extremen Naturschutzforderungen wird die energetische Nutzung von Silomais und Dauergrünland eingeschränkt. Da der Anbau von Wintergetreide ausgedehnt wird, steht auch mehr Stroh für die Verbrennung zur Verfügung. Insgesamt wird aber eine um rund 10% geringere Energieproduktion erreicht als unter moderaten Naturschutzforderungen (BioE 1\_Nat).

*Tabelle 47: Energiepflanzenanbau in VGG\_1 und VGG\_5 in den Szenarien BAU\_2015, BioE 1, BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL*

		VGG_1				VGG_5			
		BAU_2015	BioE 1	BioE 1_Nat	BioE 1_NatXL	BAU_2015	BioE 1	BioE 1_Nat	BioE 1_NatXL
<b>Strohverbrennung</b>	ha		127.561	111.022	106.030	0	1.098	740	848
<b>Raps (Biodiesel)</b>	ha	0	997	556	501	0	0	0	0
<b>Mais (Biogas)</b>	ha	9.209	44.414	49.620	49.632	201	863	331	120
<b>Grünland (Biogas)</b>	ha	0	22.169	15.159	10.113	0	14.003	14.535	13.029
<b>Energieproduktion</b>	TJ	942	15.393	14.281	13.706	21	508	437	391

Quelle: eigene Berechnungen

### **7.2.1.3 Ökonomische Kennzahlen**

Die Option den Energiepflanzenanbau auszudehnen führt in Baden-Württemberg im BioE 1 zu einer Erhöhung der Deckungsbeiträge um 14% gegenüber dem BAU\_2015 (vgl. Tabelle 48). Dabei wird der Rückgang des Deckungsbeitrages, der durch die Einschränkung der Anbauumfänge der Marktfrüchte entsteht, durch den Anbau von Energiepflanzen (Silomais und Raps) kompensiert. Die zusätzliche Möglichkeit, Stroh und Grünland energetisch zu nutzen, bedingt den Anstieg der Deckungsbeiträge. Daneben leistet auch die höhere Inanspruchnahme der MEKA-Förderung, die sich in der Ausdehnung des Silomaisanbaus und einem damit verbundenen verstärkten Zwischenfruchtanbau begründet, einen Beitrag zu den höheren Deckungsbeiträgen.

In den beiden Naturschutzszenarien sinken die Deckungsbeiträge mit steigenden Naturschutzforderungen gegenüber dem BioE 1, jedoch werden in beiden Szenarien (BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL) höhere Deckungsbeiträge als im BAU\_2015 erzielt, was auf die Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus zurückzuführen ist. Da ein Teil der implementierten Naturschutzmaßnahmen durch MEKA gefördert wird und der Zwischenfruchtanbau stark zunimmt, steigt auch die MEKA-Förderung deutlich an und trägt zur Kompensierung der Deckungsbeitragsverluste bei, die durch die Produktionseinschränkungen infolge der Naturschutzrestriktionen eintreten.

**Tabelle 48:** Deckungsbeiträge und MEKA-Förderung in den Szenarien BioE 1, BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL im Vergleich zum Szenario BAU\_2015 in Baden-Württemberg

		Baden-Württemberg			
		BAU_2015	BioE 1	BioE 1_Nat	BioE 1_NatXL
<b>Deckungsbeitrag</b>	<b>Mio. €</b>	1.835	2.089	2.035	1.998
	<b>€/ha</b>	1.329	1.512	1.473	1.447
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			14%	11%	9%
<b>davon MEKA-Förderung</b>	<b>Mio. €</b>	62	69	80	83
	<b>€/ha</b>	45	50	58	60
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			12%	29%	35%

Quelle: eigene Berechnungen

Da die Anbauumfänge in einer für Baden-Württemberg typischen Ackerbauregion wie dem VGG\_1 infolge der veränderten Rahmenbedingungen eine ähnliche Entwicklung aufweisen, wie Baden-Württemberg insgesamt, zeigen auch die Deckungsbeiträge und die MEKA-Förderung eine zu den landesweiten Ergebnissen analoge Veränderung auf. Aufgrund der geringen Tierdichte liegen die Deckungsbeiträge in dieser Region weiterhin unter den in Baden-Württemberg und insbesondere auch unter den in einer intensiven Futterbauregion (VGG\_5) erzielten Werten. Jedoch kann in dieser Region, wegen des hohen Anteils der Ackerfläche, der Anbau von Energiepflanzen, insbesondere Silomais, stärker ausgedehnt werden. Daneben nimmt die Anbaufläche für Getreide selbst in den Naturschutzszenarien noch mehr als 60% der Ackerfläche ein, so dass die Option der Strohverbrennung einen wichtigen Beitrag zum Gesamtdeckungsbeitrag leistet. Insgesamt kann deswegen eine ausgeprägtere Steigerung der Deckungsbeiträge als in Baden-Württemberg erreicht werden. Die leichte Steigerung der MEKA-Förderung im Szenario BioE 1 begründet sich hauptsächlich in der Zunahme der durch MEKA geförderten Anbauverfahren für Sommergetreide. In den beiden Naturschutzszenarien bedingen zum einen die Ausdehnung der Naturschutzforderungen und zum anderen der vermehrte Anbau von Zwischenfrüchten den Anstieg der MEKA-Förderung.

Deutlich geringeren Änderungen unterliegen dagegen die Deckungsbeiträge und die MEKA-Förderung in der Futterbauregion VGG\_5 (vgl. Tabelle 49). Aus der Ausdehnung der Ackerfläche im Szenario BioE 1 aufgrund des Grünlandumbruchs resultiert ein etwas höherer Gesamtdeckungsbeitrag im Vergleich zum BAU\_2015, da die flächenbezogenen Deckungsbeiträge auf der Ackerfläche höher sind als auf

Grünland. Die Intensivierung der Grünlandfläche aufgrund der Option das Grünland energetisch zu nutzen, führt dazu, dass die Förderung durch MEKA in einem geringeren Umfang in Anspruch genommen wird.

Die Einführung der Naturschutzmaßnahmen und die daraus resultierende extensivere Flächennutzung haben in VGG\_5 unter moderaten Forderungen zur Folge, dass der Deckungsbeitrag lediglich noch den Wert des Szenarios BAU\_2015 erreicht und unter extremen Forderungen darunter sinkt. Dies zeigt, dass die intensive energetische Grünlandnutzung den Deckungsbeitragsrückgang durch die sehr extensive Grünlandnutzung im Szenario BioE 1\_NatXL nicht ausgleichen kann. Die Inanspruchnahme der MEKA-Förderung steigt erst unter hohen Naturschutzforderungen wieder über den im BAU\_2015 erreichten Wert an. Aufgrund der Möglichkeit das Gras in der Biogasanlage zu vergären findet eine Intensivierung der nicht von Naturschutzrestriktionen betroffenen Grünlandfläche statt, was meist eine Förderung durch MEKA ausschließt. Daneben war die flächenbezogene Förderung bereits im BAU\_2015 aufgrund einer teilweise sehr extensiven Grünlandnutzung verhältnismäßig hoch.

*Tabelle 49: Deckungsbeiträge und MEKA-Förderung in den Szenarien BioE 1, BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL im Vergleich zum Szenario BAU\_2015 in VGG\_1 und VGG\_5*

		VGG_1				VGG_5			
		BAU_2015	BioE 1	BioE 1_Nat	BioE 1_NatXL	BAU_2015	BioE 1	BioE 1_Nat	BioE 1_NatXL
<b>Deckungsbeitrag</b>	Mio. €	227	272	264	260	110	114	110	109
	€/ha	1.001	1.200	1.162	1.144	2.224	2.305	2.221	2.195
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			20%	16%	14%		4%	0%	-1%
<b>davon MEKA-Förderung</b>	Mio. €	8	9	12	13	3	3	3	3
	€/ha	37	39	53	55	57	54	57	59
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			8%	45%	51%		-5%	-1%	2%

Quelle: eigene Berechnungen

#### **7.2.1.4 Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen**

Insgesamt führt die Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus im Szenario BioE 1 dazu, dass die produktionsbedingten Treibhausgasemissionen in Baden-Württemberg um 12% ansteigen (vgl. Tabelle 50). Im vorgelagerten Bereich und in der Landwirtschaft wird der Anstieg der Emissionen durch eine Intensivierung der Bewirtschaftung hervorgerufen, die mit einem verstärkten Maschineneinsatz und

damit Kraftstoffverbrauch sowie höheren organischen Düngegaben und damit Lachgasemissionen einhergeht. Im nachgelagerten Bereich steigen die Emissionen aufgrund der energetischen Nutzung der Energiepflanzen in Form von Verbrennung und Vergärung. Da der Energiepflanzenanbau gegenüber dem BAU\_2015 stark ausgedehnt wurde, tragen jedoch die daraus resultierenden Gutschriften der Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Substitution dazu bei, dass lediglich noch 0,1 t CO<sub>2</sub> e/ha emittiert werden. Die CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch den Grünlandumbruch tritt zum überwiegenden Teil in den ersten fünf Jahren nach dem Umbruch auf. Anschließend gleichen sich die Emissionen wieder an die Situation vor dem Umbruch an (siehe dazu auch Kapitel 4.2.4). Dennoch kann die Gesamtbilanz auch unter Einbeziehung der Emissionen aus dem Grünlandumbruch in den ersten fünf Jahren um nahezu 90% gegenüber dem BAU\_2015 verbessert werden.

In dem im Modell verwendeten Bilanzrahmen wird nicht berücksichtigt, dass eine Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus Nahrungsmittelimporte notwendig macht, weshalb auch die damit verbundenen Treibhausgasemissionen nicht berücksichtigt werden.

In den beiden Szenarien BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL bewirkt die aufgrund der Naturschutzmaßnahmen extensivierte Flächenbewirtschaftung, dass die Emissionen aus dem vorgelagerten Bereich und in der Landwirtschaft niedrigere Werte als im Szenario BioE 1 und auch im BAU\_2015 erreichen. Die extensivere Flächennutzung zieht vor allem eine geringere Produktion und damit einen reduzierten Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln nach sich. Im nachgelagerten Bereich werden zwar größere Mengen an Treibhausgasen freigesetzt als im BAU\_2015, jedoch weniger als im BioE 1, da die Anbaufläche für Energiepflanzen gegenüber dem BioE 1 eingeschränkt wird. Insgesamt werden vor allem unter der Annahme extremer Naturschutzforderungen die höheren Treibhausgasemissionen aus dem nachgelagerten Bereich durch niedrigere Emissionen aus dem vorgelagerten Bereich und der Landwirtschaft nahezu kompensiert, so dass die freigesetzten Treibhausgasmengen lediglich einen ähnlichen Wert wie im BAU\_2015 erreichen. Die durch den Energiepflanzenanbau erzielten Gutschriften erreichen zwar einen geringeren Wert als im BioE 1, da in den beiden Naturschutzszenarien jedoch der Grünlandumbruch verboten ist, fällt die Treibhausgasbilanz insgesamt besser aus als im Szenario BioE 1 im Vergleich zum BAU\_2015.

Tabelle 50: Treibhausgasemissionen in den Szenarien BioE 1, BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL im Vergleich zum Szenario Bau\_2015 in Baden-Württemberg

		Baden-Württemberg			
		BAU_2015	BioE 1	BioE 1_Nat	BioE 1_NatXL
<b>vorgelagerter Bereich</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	843,0	875,1	690,6	616,6
<b>Landwirtschaft</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	5.268,0	5.482,2	5.278,1	5.108,3
<b>nachgelagerter Bereich</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	47,1	547,7	502,2	481,1
<b>Treibhausgasemissionen insgesamt</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	6.158,1	6.905,0	6.471,0	6.206,0
	t CO <sub>2</sub> e/ha	4,5	5,0	4,7	4,5
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			12%	5%	1%
<b>Gutschrift Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	-517,5	-6.738,1	-6.219,4	-5.931,9
<b>Bilanz mit Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	5.640,5	166,9	251,6	274,1
	t CO <sub>2</sub> e/ha	4,1	0,1	0,2	0,2
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-97%	-96%	-95%
<b>CO<sub>2</sub> Freisetzung durch Grünlandumbruch</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	0,0	490,8	0,0	0,0
<b>Bilanz mit Grünlandumbruch und Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	5.640,5	657,7	251,6	274,1
	t CO <sub>2</sub> e/ha	4,1	0,5	0,2	0,2
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-88%	-96%	-95%

Quelle: eigene Berechnungen

Hinsichtlich der emittierten Treibhausgase zeigen sich in einer für Baden-Württemberg typischen Ackerbauregion und einer typischen Futterbauregion von den landesweiten Werten abweichende und sich auch untereinander stark unterscheidende Emissionen. Die Ackerbauregion VGG\_1 weist im vor- und nachgelagerten Bereich aufgrund der veränderten Rahmenbedingungen eine mit Baden-Württemberg konforme Entwicklung auf. Die Veränderung der Betriebsorganisation hinsichtlich der Anbauumfänge führt jedoch bereits im Szenario BioE 1 vor allem aufgrund eines niedrigeren Pflanzenschutzmitteleinsatzes und geringeren Treibhausgasemissionen aus der Saatgutproduktion zu einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft. Insgesamt steigen die Emissionen aufgrund der Bioenergieproduktion und den damit verbundenen Treibhausgasen aus dem nachgelagerten Bereich an. Die Gutschriften für den Energiepflanzenanbau führen dazu, dass die Treibhausgasbilanz negativ wird und somit eine Treib-

hausgassenke erreicht wird. Die Senkenfunktion bleibt selbst unter Einbezug des Grünlandumbruchs noch erhalten und erreicht einen Wert von 1,7 t CO<sub>2</sub> e/ha.

Die Extensivierung der Flächenbewirtschaftung, die durch die Einführung der Naturschutzmaßnahmen auch in VGG\_1 hervorgerufen wird, führt mit steigenden Forderungen zu geringeren Emissionen aus dem vorgelagerten Bereich, der Landwirtschaft und dem nachgelagerten Bereich. Unter extremen Naturschutzforderungen wird dann insgesamt wieder eine dem BAU\_2015 ähnliche Menge an Treibhausgasen emittiert. Jedoch trägt auch in diesen beiden Szenarien die Gutschrift für den Anbau von Energiepflanzen dazu bei, dass eine Treibhausgassenke erreicht wird. Da der Grünlandumbruch in diesen beiden Szenarien nicht erlaubt ist, kann trotz eines geringeren Umfangs des Energiepflanzenanbaus unter moderaten Naturschutzforderungen (BioE 1\_Nat) sogar eine tendenziell höhere Treibhausgassenke erzielt werden als im BioE 1.

Die Futterbauregion VGG\_5 trägt aufgrund des im Vergleich zu VGG\_1 deutlich geringeren landwirtschaftlich genutzten Flächenumfangs zwar insgesamt einen deutlich kleineren Anteil zu den landesweiten Emissionen bei, jedoch sind die flächenbezogenen Treibhausgasemissionen insgesamt, vor allem aufgrund der hohen Viehdichte, in BioE 1 aber auch aufgrund der Zunahme der Ackerfläche in Folge des Grünlandumbruchs, nahezu doppelt so hoch wie in VGG\_1. Auch die Gutschrift für den Energiepflanzenanbau verbessert die Treibhausgasbilanz sowohl im Szenario BioE 1 als auch in den Naturschutzszenarien lediglich um 8 bzw. 7% gegenüber dem BAU\_2015. Werden die durch den Grünlandumbruch im BioE 1 freigesetzten Emissionen in die Bilanz mit aufgenommen, so verschlechtert sich diese gegenüber dem BAU\_2015 sogar, da in dieser Region aufgrund des hohen Grünlandanteils absolut gesehen sehr viel Grünland umgebrochen wird. In den beiden Naturschutzszenarien bedingt die Extensivierung der landwirtschaftlichen Nutzfläche aufgrund der Naturschutzmaßnahmen, dass sich die Bilanz gegenüber dem BAU\_2015 verbessert, jedoch wird auch hier keine Treibhausgassenke erreicht.

Tabelle 51: Treibhausgasemissionen in den Szenarien BioE 1, BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL im Vergleich zum Szenario Bau\_2015 in VGG\_1 und VGG\_5

		VGG_1				VGG_5			
		BAU_2015	BioE 1	BioE 1_Nat	BioE 1_NatXL	BAU_2015	BioE 1	BioE 1_Nat	BioE 1_NatXL
<b>vorgelagerter Bereich</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	218,3	220,6	197,2	186,3	10,3	13,1	8,4	6,5
<b>Landwirtschaft</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	707,1	697,7	681,5	663,0	372,8	389,2	386,8	386,9
<b>nachgelagerter Bereich</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	9,9	115,8	110,3	106,3	0,2	4,9	4,3	3,8
<b>Treibhausgasemissionen insgesamt</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	935,3	1.034,0	989,0	955,6	383,3	407,2	399,5	397,2
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>	t CO <sub>2</sub> e/ha	4,1	4,6	4,4	4,2	7,7	8,2	8,1	8,0
			11%	6%	2%		6%	4%	4%
<b>Gutschrift Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	-114,1	-1.451,6	-1.376,3	-1.325,6	-2,5	-57,6	-50,5	-44,5
<b>Bilanz mit Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	821,2	-417,6	-387,4	-369,9	380,7	349,6	349,0	352,7
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>	t CO <sub>2</sub> e/ha	3,6	-1,8	-1,7	-1,6	7,7	7,1	7,0	7,1
			-151%	-147%	-145%		-8%	-8%	-7%
<b>CO<sub>2</sub> Freisetzung durch Grünlandumbbruch</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	0,0	34,9	0,0	0,0	0,0	50,1	0,0	0,0
<b>Bilanz mit Grünlandumbbruch und Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	821,2	-382,8	-387,4	-369,9	380,7	399,6	349,0	352,7
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>	t CO <sub>2</sub> e/ha	3,6	-1,7	-1,7	-1,6	7,7	8,1	7,0	7,1
			-147%	-147%	-145%		5%	-8%	-7%

Quelle: eigene Berechnungen

## **7.2.2 Anbau einjähriger Energiepflanzen auf bis zu 100% der Landnutzungsfläche**

Die Modellrechnungen für das Szenario BioE 1 haben gezeigt, dass der Anbau von Energiepflanzen aus betriebswirtschaftlicher Sicht über eine hohe Vorzüglichkeit gegenüber der Nahrungs- und Futtermittelproduktion verfügt und die Anbaugrenze von 30% der landwirtschaftlichen Nutzfläche vollständig genutzt wird. Dies legt den Schluss nahe, dass eine Anhebung der Anbaubegrenzung zu einer weiteren Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus führt. Daher wurde die Restriktion der Anbaubegrenzung für Energiepflanzen aufgehoben. Somit kann im Szenario BioE 2 die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche für die Energieproduktion aus Biomasse genutzt werden, wobei die gleichen Kulturen wie bereits im Szenario BioE 1 für die Energieproduktion zur Verfügung stehen, die gleichen Fruchtfolgen eingehalten werden müssen und auch der Umbruch von Grünland in Höhe von 5% des Dauergrünlandanteils zulässig ist. Für das Szenario BioE 2\_Nat wurden, wie bereits für das Szenario BioE 1\_Nat, moderate Naturschutzrestriktionen in das Modell implementiert. Infolge der Naturschutzmaßnahmen ist ein Teil der Flächen, wie z.B. Blühstreifen oder nur einmal genutztes Grünland, von der Bioenergieproduktion ausgeschlossen. Da angenommen werden kann, dass die Veränderung der Anbaumfänge durch die Naturschutzmaßnahmen im gleichen Umfang beeinflusst wird, wie bereits in den Naturschutzszenarien des BioE 1, wurde auf die Modellierung eines extremen Naturschutzszenarios analog zum BioE 1\_NatXL verzichtet.

### **7.2.2.1 Anbaustruktur und Tierproduktion**

Insgesamt bewirkt die Option den Energiepflanzenanbau auf der gesamten, von den Naturschutzrestriktionen nicht betroffenen, landwirtschaftlichen Nutzfläche durchzuführen, auf Landesebene in der Tendenz die gleichen Änderungen gegenüber dem BAU\_2015, wie sie bereits für das Szenario BioE 1 und die zugehörigen Naturschutzszenarien BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL (Szenariogruppe 1) beschrieben wurden (vgl. Tabelle 52). Die Möglichkeit des Grünlandumbruchs wird auch im Szenario BioE 2 in hohem Umfang genutzt und führt in Baden-Württemberg zu einer Ausdehnung der Ackerfläche um 3% gegenüber dem BAU\_2015. Die Anbaumfänge der Marktfrüchte, vor allem Getreide und Kartoffeln, werden in diesem Szenario gegenüber dem BAU\_2015 noch stärker reduziert als im BioE 1. Der Anbau von Silomais und Klee gras für die Fütterung weist im Vergleich zum BAU\_2015

eine ähnliche Entwicklung auf, wie bereits im BioE 1: die Verfütterung von Silomais wird merklich eingeschränkt, während sie bei Klee gras zunimmt. Der Silomaisanbau für die Verwertung in der Biogasanlage wird um weitere 55% gegenüber dem BioE 1 ausgedehnt und infolgedessen auch der Zwischenfruchtanbau. Insgesamt wird im Szenario BioE 2, ebenso wie im BioE 1, über 90% des Silomaises vergoren.

Während die Anzahl der gehaltenen Tiere gegenüber dem BAU\_2015 konstant bleibt, steigt die produzierte Milchmenge, wie bereits im Szenario BioE 1, leicht an, weshalb die Grundfutterbereitstellung durch eine insgesamt höhere durchschnittliche Düngung der Acker- und der Grünlandfläche sowie durch eine höhere Nutzungsfrequenz des Dauergrünlandes sichergestellt wird. Daneben wird auch der Futtermittelzukauf gegenüber dem BioE 1 leicht ausgedehnt.

Die bereits für das Szenario BioE 1\_Nat beschriebenen Veränderungen der Anbauumfänge, die sich durch die Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus und die Implementierung von moderaten Naturschutzmaßnahmen ergeben, zeigen sich, etwas ausgeprägter, auch im Szenario BioE 2\_Nat. Die Ackerfläche wird im Vergleich zum BAU\_2015 um 3% reduziert, da ein Teil der Fläche für Naturschutzzwecke aus der landwirtschaftlichen Nutzung genommen wird. Der Anbau von Marktfrüchten und Klee gras für die Fütterung ist gegenüber dem reinen Biomassesszenario BioE 2 rückläufig, während der Anbau von Silomais für die Verwertung in der Biogasanlage weiter zunimmt. Um das aus der Einführung der Naturschutzmaßnahmen resultierende minderwertige Grundfutter vom Dauergrünland auszugleichen, wird im Vergleich zum BioE 2 mehr Futtersilomais angebaut. Die Fläche für den Zwischenfruchtanbau wird deutlich ausgedehnt, da das Stroh vollständig der Verbrennung zugeführt wird und Winterraps sowie Klee gras, die im Szenario BioE 2 noch zu einem hohen Anteil zum Ausgleich der Humusbilanz beigetragen haben, im Szenario BioE 2\_Nat eingeschränkt werden. Die Brache wird in dem durch die Naturschutzforderungen vorgesehenen Umfang durchgeführt.

Tabelle 52: Vergleich der Anbaustrukturen des Szenarios BAU\_2015 mit den Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat für Baden-Württemberg

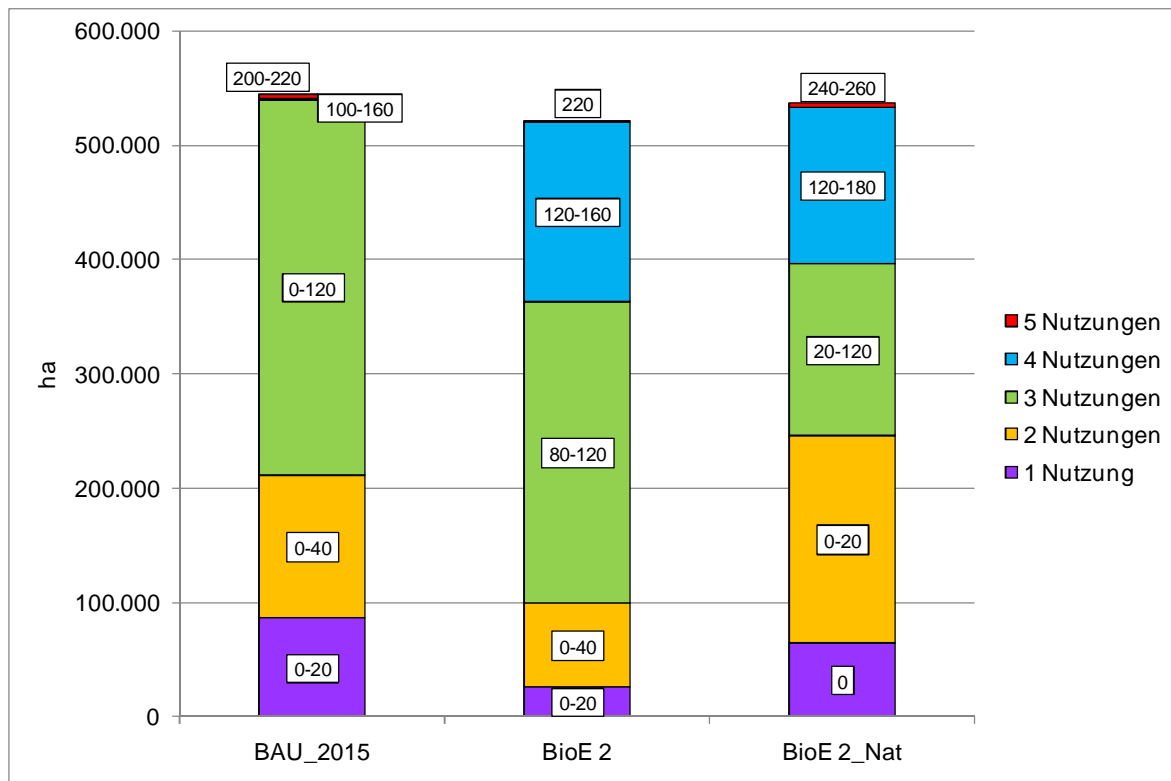
		Baden-Württemberg		
		BAU_2015	BioE 2	BioE 2_Nat
<b>Ackerfläche</b>	ha	837.324	859.699	813.670
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			3%	-3%
<b>Grünlandfläche</b>	ha	544.128	521.821	544.128
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-4%	0%
<b>Wintergetreide</b>	ha	333.196	281.590	190.007
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-15%	-43%
<b>Sommergetreide</b>	ha	243.292	152.579	190.761
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-37%	-22%
<b>Mais</b>	ha	80.056	331.301	335.762
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			314%	319%
<b>Kartoffeln</b>	ha	6.439	4.966	1.972
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-23%	-69%
<b>Zuckerrüben</b>	ha	23.643	2.811	530
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-88%	-98%
<b>Winterraps</b>	ha	89.957	15.260	899
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-83%	-99%
<b>Sonnenblumen</b>	ha	76	0	0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-100%	-100%
<b>Klee gras</b>	ha	59.995	71.123	66.667
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			19%	11%
<b>Brache</b>	ha	586	0	27.073
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-100%	4521%
<b>Zwischenfrüchte</b>	ha	215.496	245.775	349.998
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			14%	62%

Quelle: eigene Berechnungen

Die Möglichkeit, nahezu die gesamte Landnutzungsfläche für den Energiepflanzenanbau zu nutzen, wirkt sich auch auf die Bewirtschaftung des Dauergrünlandes aus (vgl. Abbildung 15). Während im Szenario BioE 1 in Baden-Württemberg rund 40% des Grünlandaufwuchses in der Biogasanlage vergoren werden, steigt dieser Anteil im Szenario BioE 2 auf über 50% an. Damit einher geht eine insgesamt intensivere Düngung, sowohl gegenüber dem BAU\_2015 als auch dem BioE 1, wobei jedoch die durchschnittliche Stickstoffdüngung des energetisch genutzten Grünlandes im Vergleich zum BioE 1 leicht sinkt, während sie auf dem Grünland, das verfüttert wird, leicht zunimmt und hier auch die durchschnittliche Nutzungsfrequenz steigt, um weiterhin eine ausreichende Grundfutterbereitstellung zu gewährleisten.

Die Implementierung moderater Naturschutzmaßnahmen führt dazu, dass im Szenario BioE 2\_Nat etwa 30% des Grünlandes energetisch genutzt werden und sich zwei gegensätzliche Nutzungsintensitäten ergeben. Zum einen wird das extensiv

genutzte Grünland den Naturschutzforderungen entsprechend ausgedehnt, zum anderen nimmt insbesondere das fünfmal genutzte Grünland zu und wird ebenso wie das viermal genutzte Grünland intensiver gedüngt.



Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 15: Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat im Vergleich zum Szenario BAU\_2015 in Baden-Württemberg

Wie in Baden-Württemberg, führt die Ausdehnung der Anbauoption für Energiepflanzen auch in der Ackerbauregion VGG\_1 und der Futterbauregion VGG\_5 zu in der Tendenz ähnlichen Ergebnissen wie sie für die Szenarien BioE 1 und BioE 1\_Nat beschrieben wurden. Aufgrund der überwiegend analogen Entwicklung wird an dieser Stelle nur kurz auf die für VGG\_1 und VGG\_5 modellierten Ergebnisse eingegangen.

In der Ackerbauregion wird der Anbau von Sommergetreide im Szenario BioE 2 im Vergleich zum BAU\_2015 zugunsten des Energiemaisanbaus stark eingeschränkt. Die gleiche Änderung zeigt sich auch in der Futterbauregion, obwohl aufgrund des Grünlandumbruchs deutlich mehr Ackerfläche zur Verfügung steht. Die Entwicklung der Anbauumfänge von Sommer- und Wintergetreide in den beiden Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat zeigt, dass der Getreideanbau im Vergleich zu den übrigen

Marktfrüchten über eine aus betriebswirtschaftlicher Sicht noch relativ hohe Vorzüglichkeit gegenüber dem Energiepflanzenanbau verfügt.

Der Silomaisanbau wird sowohl in VGG\_1 als auch in VGG\_5 im Szenario BioE 2\_Nat gegenüber dem BioE 2 eingeschränkt. In der Ackerbauregion VGG\_1 wird in beiden Szenarien über 95% des Silomaises in der Biogasanlage verwertet. Insgesamt zeigt sich jedoch, dass in einer typischen baden-württembergischen Ackerbauregion eine Ausdehnung des Silomaisanbaus auf über 30% der Ackerfläche betriebswirtschaftlich nicht sinnvoll ist (vgl. Szenario BioE 2). In einer typischen Futterbauregion erfolgt der Silomaisanbau dagegen auf deutlich mehr als 50% der Ackerfläche, davon wird jedoch lediglich rund 20% in der Biogasanlage vergoren.

Tabelle 53: Vergleich der Anbaustrukturen des Szenarios BAU\_2015 mit den Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat für VGG\_1 und VGG\_5

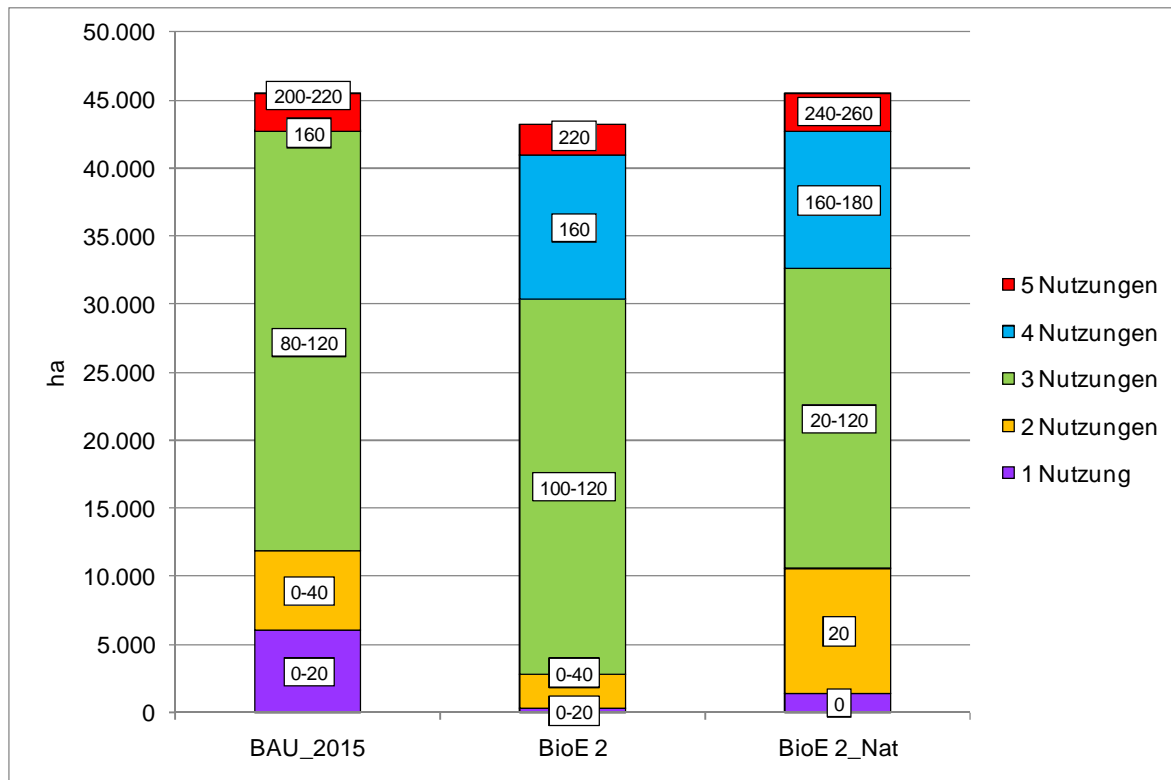
		VGG_1			VGG_5		
		BAU_2015	BioE 2	BioE 2_Nat	BAU_2015	BioE 2	BioE 2_Nat
<b>Ackerfläche</b>	ha	184.176	185.778	179.313	4.028	6.304	3.907
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			1%	-3%		57%	-3%
<b>Grünlandfläche</b>	ha	42.883	41.299	42.883	45.525	43.249	45.525
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-4%	0%		-5%	0%
<b>Wintergetreide</b>	ha	73.785	74.426	64.686	706	1.003	651
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			1%	-12%		42%	-8%
<b>Sommergetreide</b>	ha	52.005	44.467	47.988	86	77	69
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-14%	-8%		-10%	-20%
<b>Mais</b>	ha	15.116	55.558	55.143	2.444	3.701	2.106
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			268%	265%		51%	-14%
<b>Kartoffeln</b>	ha	2.719	2.719	0	0	0	0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			0%	-100%			
<b>Zuckerrüben</b>	ha	17.856	2.196	465	0	0	0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-88%	-97%			
<b>Winterraps</b>	ha	16.301	997	556	29	0	0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-94%	-97%		-100%	-100%
<b>Sonnenblumen</b>	ha	0	0	0	0	0	0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>							
<b>Kleegras</b>	ha	6.393	5.415	4.886	763	1.523	928
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-15%	-24%		100%	22%
<b>Brache</b>	ha	0	0	5.588	0	0	154
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>							
<b>Zwischenfrüchte</b>	ha	50.330	50.318	80.833	1.440	2.388	1.691
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			0%	61%		66%	17%

Quelle: eigene Berechnungen

In der Ackerbauregion VGG\_1 führt die Option den Energiepflanzenanbau auszuweiten lediglich im Ackerbau zu Veränderungen, im Grünland resultiert daraus jedoch keine Ausdehnung der energetischen Nutzung gegenüber dem BioE 1 oder dem BioE 1\_Nat. Daraus lässt sich schließen, dass bereits in den beiden Szenarien BioE 1 und BioE 1\_Nat die aus ökonomischer Sicht sinnvolle maximale Ausdehnung der energetischen Grünlandnutzung erreicht wird und diese bei 54% bzw. bei

35% unter moderaten Naturschutzforderungen liegt. Anzumerken ist dabei, dass bereits in den Szenarien BioE 1 und BioE 1\_Nat eine über dem Landesdurchschnitt liegende energetische Grünlandnutzung erreicht wurde und diese auch den Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat noch darüber liegt (Abbildung siehe Anhang 4).

In der Futterbauregion wird 47% des Grünlandes energetisch genutzt. Um die Grundfutterbereitstellung aus dem Grünland, die in dieser Region eine wichtige Rolle spielt, sicherzustellen, wird die durchschnittliche N-Düngung der Futterflächen im Vergleich zum BAU\_2015 sichtbar erhöht (vgl. Abbildung 16). Unter moderaten Naturschutzbedingungen wird im Szenario BioE 2\_Nat lediglich noch 35% des Grünlandes vergoren und es werden starke Unterschiede in der Flächennutzung sichtbar. Während das extensive Grünland entsprechend der Naturschutzforderungen ausgedehnt und weniger gedüngt wird, nimmt auch das sehr intensiv genutzte Grünland zu. Dabei unterliegt das Grünland für die Fütterung gegenüber dem BioE 1\_Nat kaum Änderungen, das für die energetische Nutzung vorgesehene Grünland wird jedoch deutlich intensiviert. Dies zeigt, dass die energetische Nutzung von Grünland eine ökonomisch sinnvolle Alternative ist und entspricht dem Entwicklungstrend der letzten Jahre, nach dem die Vergärung von Grünland in der Biogasanlage immer stärker zunimmt.



Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 16: Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat im Vergleich zum Szenario BAU\_2015 in VGG\_5

Die Anzahl der gehaltenen Tiere bleibt in beiden Vergleichsgebietsgruppen gegenüber dem BAU\_2015 konstant und auch die jährlich erzeugte Milchmenge verändert sich in beiden Szenarien nur unwesentlich.

### 7.2.2.2 Bioenergieerzeugung

Der Energiepflanzenanbau wird in Baden-Württemberg im BioE 2 im Vergleich zum BAU\_2015 sichtbar ausgedehnt und nimmt, ohne die Getreidefläche, deren Stroh energetisch genutzt wird, 44% der Landnutzungsfläche ein (vgl. Tabelle 54). Einschließlich der Strohverbrennung ist es so möglich rund 4,6% des Primärenergiebedarfs zu decken. Die Option das Stroh zu verbrennen wird für nahezu die gesamte Getreideanbaufläche in Anspruch genommen. Die Einführung moderater Naturschutzforderungen im BioE 2\_Nat bewirkt, dass die Anbauumfänge der verschiedenen Energiekulturen sowie das für die Verbrennung zu Verfügung gestellte Stroh gegenüber dem BioE 2, bis auf Silomais, geringer sind und insgesamt nur noch 36% der landwirtschaftlichen Nutzfläche für den Energiepflanzenanbau genutzt wird. Die Anbaufläche von Silomais für die Biogaserzeugung nimmt unter verbesserten Naturschutzbedingungen zu, da das Grünland aus naturschutzfachlichen

Gründen extensiver bewirtschaftet wird und in der Fütterung Verwendung findet. Dies führt zu einem geringeren Anbau von Ackerfutter und der Möglichkeit vermehrt Energiepflanzen anzubauen. Die Extensivierung des Grünlandes ist auch der Grund dafür, dass im Szenario BioE 2\_Nat weniger Grünland energetisch genutzt wird als im Szenario BioE 2. Ein Anbau von Getreide für die Ethanolproduktion findet auch hier in keinem der beiden Szenarien statt. Insgesamt führt die Änderung der Rahmenbedingungen hinsichtlich der Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus gegenüber dem BioE 1 und dem BioE 1\_Nat in Baden-Württemberg zu einer weniger abwechslungsreichen Fruchtfolge, da der Silomaisanbau für die Biogaserzeugung gegenüber dem BioE 1 und dem BioE 1\_Nat weiter ausgedehnt wird. Jedoch wird die Energieproduktion, vor allem wegen der reduzierten Strohverbrennung, nur wenig erhöht.

*Tabelle 54: Energiepflanzenanbau in Baden-Württemberg in den Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat im Vergleich zu dem Szenario BAU\_2015*

		Baden-Württemberg		
		BAU_2015	BioE 2	BioE 2_Nat
<b>Strohverbrennung</b>	ha	0	430.531	360.300
<b>Raps (Biodiesel)</b>	ha	1.635	15.260	899
<b>Mais (Biogas)</b>	ha	40.228	317.563	321.315
<b>Grünland (Biogas)</b>	ha	0	268.208	173.753
<b>Energieproduktion</b>	TJ	4.282	74.227	64.659
<b>Anteil am Primärenergiebedarf (in Form von Nettoenergie)</b>		0,27%	4,63%	4,03%

Quelle: eigene Berechnungen

Die Option den Anbau von Energiepflanzen auf nahezu die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche auszudehnen, führt in den beiden Vergleichsgebietsgruppen 1 und 5 zu einer deutlich höheren Energieproduktion als im BAU\_2015 (vgl. Tabelle 55). Ein Vergleich der Szenarien BioE 1 und BioE 2 zeigt, dass in der Ackerbauregion lediglich der Anbau von Biogassilomais weiter ausgedehnt wird, da jedoch weniger Getreide angebaut wird und somit Stroh verbrannt werden kann und die energetische Grünlandnutzung kaum Veränderungen aufweist, steigt die Energieproduktion im BioE 2 gegenüber dem BioE 1 nur um 2% und im BioE 2\_Nat gegenüber dem BioE 1\_Nat lediglich noch um 0,14%. Dies zeigt, dass in einer für Baden-Württemberg typischen Ackerbauregion ohne Naturschutzforderungen die maximal für den einjährigen Energiepflanzenanbau genutzte Fläche bei 34% der landwirt-

schaftlichen Nutzfläche liegt und unter der Annahme moderater Naturschutzforderungen mit 29% nur etwas niedriger ist.

In der Futterbauregion VGG\_5 wirkt sich die Möglichkeit die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche für den Energiepflanzenanbau zu nutzen vor allem auf die Grünlandnutzung aus. Die energetische Grünlandnutzung leistet vom gesamten Energiepflanzenanbau den größten Beitrag zur Energieproduktion (vgl. Tabelle 55). Ermöglicht wird dies vor allem dadurch, dass die Ackerfläche infolge des Grünlandumbruchs stark zunimmt, der Mais- und Kleegrasanbau für die Fütterung gegenüber dem BAU\_2015 ausgedehnt wird und das fehlende Grundfutter neben einer intensiveren Nutzung des Futtergrünlandes auch durch Ackerfutter ersetzt wird. Die energetische Bereitstellung aus Silomais wird ebenfalls erhöht, und das Stroh vollständig verbrannt. Die Einführung moderater Naturschutzforderungen im Szenario BioE 2\_Nat bedingt eine Einschränkung der Energieproduktion gegenüber dem BioE 2. Insbesondere die für die Futterbauregion VGG\_5 modellierten Ergebnisse zeigen, dass in Regionen mit einem hohen Grünlandanteil die Vergärung von Grünland in der Biogasanlage dann besonders an Bedeutung gewinnt, wenn der Anbau der energetisch effizienteren Kulturen wie z.B. Silomais bereits in sehr hohem Umfang erfolgt und die Möglichkeit besteht, das Grünland nahezu unbeschränkt zu intensivieren und so auch die Grundfutterbereitstellung zu sichern.

*Tabelle 55: Energiepflanzenanbau in VGG\_1 und VGG\_5 in den Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat im Vergleich zu dem Szenario BAU\_2015*

		VGG_1			VGG_5		
		BAU_2015	BioE 2	BioE 2_Nat	BAU_2015	BioE 2	BioE 2_Nat
<b>Strohverbrennung</b>	ha	0	118.893	107.325	0	1.081	719
<b>Raps (Biodiesel)</b>	ha	0	997	556	0	0	0
<b>Mais (Biogas)</b>	ha	9.209	53.643	52.851	201	891	338
<b>Grünland (Biogas)</b>	ha	0	22.267	15.159	0	20.501	15.806
<b>Energieproduktion</b>	TJ	942	15.662	14.302	21	654	464

Quelle: eigene Berechnungen

### **7.2.2.3 Ökonomische Kennzahlen**

Die Option den Energiepflanzenanbau auf nahezu die gesamte Landnutzungsfläche auszudehnen, führt in Baden-Württemberg zu deutlich höheren Deckungsbeiträgen als im BAU\_2015 (vgl. Tabelle 56). Gegenüber den beiden Szenarien BioE 1 und BioE 1\_Nat wird in beiden Szenarien, sowohl dem BioE 2 als auch dem

BioE 2\_Nat, jedoch lediglich in der Tendenz ein etwas höherer Deckungsbeitrag erreicht. Die Ergebnisse zeigen, dass in Baden-Württemberg zwar die Fläche für den Energiepflanzenanbau aus ökonomischer Sicht auch auf mehr als 30% der Landnutzungsfläche sinnvoll ist, jedoch wird dadurch der Getreideanbau stark zurück gedrängt. Dies hat zur Folge, dass zum einen weniger Stroh für die Energiebereitstellung zur Verfügung steht, zum anderen fehlen die Einnahmen aus dem Getreide- und Strohverkauf und kompensieren so nahezu vollständig die höheren Einnahmen aus dem Verkauf von Energiepflanzen an die weiterverarbeitenden Anlagen. Die Inanspruchnahme der MEKA-Förderung steigt in den beiden Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat gegenüber dem BAU\_2015 an, da aufgrund der Ausdehnung des Maisanbaus mehr Zwischenfrüchte für den Ausgleich der Humusbilanz angebaut werden. Im Szenario BioE 2\_Nat sind die Deckungsbeiträge aufgrund der Einführung verbesserter Naturschutzbedingungen im Vergleich zum BioE 2 etwas niedriger und die MEKA-Förderung etwas höher.

*Tabelle 56: Deckungsbeiträge und MEKA-Förderung in den Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat im Vergleich zum Szenario BAU\_2015 in Baden-Württemberg*

		<b>Baden-Württemberg</b>		
		BAU_2015	BioE 2	BioE 2_Nat
<b>Deckungsbeitrag</b>	<b>Mio. €</b>	1.835	2.112	2.045
	<b>€/ha</b>	1.329	1.529	1.480
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			<i>15%</i>	<i>11%</i>
<b>davon MEKA-Förderung</b>	<b>Mio. €</b>	62	70	82
	<b>€/ha</b>	45	51	59
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			<i>14%</i>	<i>33%</i>

Quelle: eigene Berechnungen

Während sich die Deckungsbeiträge und die Inanspruchnahme der MEKA-Förderung in der Region Unterland/Gäue im Vergleich zum BAU\_2015 ähnlich entwickelt wie in Baden-Württemberg, sind die Änderungen im Allgäu nur gering. Im Szenario BioE 2 wird in VGG\_5 zwar infolge der Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus ein etwas höherer Deckungsbeitrag erzielt als im BAU\_2015, aufgrund der Produktionsbeschränkungen wird in dem Naturschutzszenario BioE 2\_Nat jedoch nur noch der Wert des BAU\_2015 erreicht. Die MEKA-Förderung ist aufgrund der intensiveren Anbauverfahren im BioE 2 geringer als im BAU\_2015 und auch die Implementierung der verbesserten Naturschutzmaßnahmen bewirkt keine höhere

Inanspruchnahme der MEKA-Förderung als im BAU\_2015. Dies zeigt, dass die Möglichkeit des nahezu unbegrenzten Energiepflanzenanbaus zu einer deutlich intensiveren Bewirtschaftungsweise führt, die durch MEKA nicht gefördert wird.

Gegenüber den Szenarien BioE 1 und BioE 1\_Nat weisen die modellierten Deckungsbeiträge der beiden Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat für die beiden Regionen Unterland/Gäue und Allgäu kaum Veränderungen auf. Dies lässt sich wie bereits für Baden-Württemberg beschrieben, auf die Kompensierung der höheren Einnahmen aus dem Energiepflanzenanbau durch die niedrigeren Einnahmen aus dem Anbau von Marktfrüchten erklären. Während sich die MEKA-Förderung in VGG\_5 gegenüber den Szenarien BioE 1 und BioE 1\_Nat in den beiden Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat nicht ändert, steigt sie in VGG\_1 leicht an. Zwar wird in der Ackerbauregion der Anbau von Sommergetreide vor allem im Szenario BioE 2 gegenüber dem BioE 1 reduziert, jedoch werden vermehrt Verfahren mit MEKA-Förderung genutzt.

*Tabelle 57: Deckungsbeiträge und MEKA-Förderung in den Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat im Vergleich zum Szenario BAU\_2015 in VGG\_1 und VGG\_5*

		VGG_1			VGG_5		
		BAU_2015	BioE 2	BioE 2_Nat	BAU_2015	BioE 2	BioE 2_Nat
<b>Deckungsbeitrag</b>	Mio. €	227	273	264	110	115	110
	€/ha	1.001	1.202	1.163	2.224	2.312	2.221
	<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>		20%	16%		4%	0%
<b>davon MEKA-Förderung</b>	Mio. €	8	9	12	3	3	3
	€/ha	37	41	53	57	54	57
	<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>		13%	46%		-5%	-1%

Quelle: eigene Berechnungen

#### **7.2.2.4 Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen**

Die Option den Energiepflanzenanbau nahezu unbegrenzt auszudehnen wirkt sich auch auf die emittierten Treibhausgase aus (vgl. Tabelle 58). Im vorgelagerten Bereich werden auf Landesebene in beiden Szenarien (BioE 2 und BioE 2\_Nat) weniger Emissionen freigesetzt als im BAU\_2015, da durch den vermehrten Energiepflanzenanbau auch in einem höheren Umfang Gärsubstrate für die Düngung zur Verfügung stehen und infolgedessen die Produktion von Stickstoffdünger und die damit verbundenen Emissionen zurückgehen. Trotz des geringeren Düngerzukaufs

findet eine Intensivierung der Anbauverfahren, statt und die ausgebrachte Stickstoffmenge wird, ermöglicht durch die Zunahme der Gärsubstratmenge, erhöht, weshalb im landwirtschaftlichen Bereich vermehrt Treibhausgase freigesetzt werden. Im nachgelagerten Bereich bewirkt die mit der Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus verbundene höhere Bioenergiesynthese ebenfalls eine Erhöhung der Treibhausgasemissionen.

Insgesamt führt die Option den Energiepflanzenanbau auszudehnen besonders im Szenario BioE 2 zu höheren Emissionen gegenüber dem BioE 1 und im Vergleich zum Basisszenario BAU\_2015, während der Unterschied unter der Annahme moderater Naturschutzmaßnahmen weniger stark ausgeprägt ist. Die durch den Energiepflanzenanbau erzielte Gutschrift ist in den beiden Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat deutlich höher als im BAU\_2015 und auch als in den Szenarien BioE 1 und BioE 1\_Nat und führt zu einer Kohlenstoffspeicherung in Höhe von 0,4 t CO<sub>2</sub> e/ha bzw. 0,2 t CO<sub>2</sub> e/ha. Im Szenario BioE 2 wird die erzielte Treibhausgassenke jedoch durch die CO<sub>2</sub>-Freisetzung im Rahmen des Grünlandumbruchs wieder nahezu vollständig kompensiert, während sie im Szenario BioE 2\_Nat aufgrund des Umbruchverbots erhalten bleibt.

*Tabelle 58: Treibhausgasemissionen in den Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat im Vergleich zum Szenario Bau\_2015 in Baden-Württemberg*

		<b>Baden-Württemberg</b>		
		BAU_2015	BioE 2	BioE 2_Nat
<b>vorgelagerter Bereich</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	843,0	839,7	647,4
<b>Landwirtschaft</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	5.268,0	5.589,1	5.310,3
<b>nachgelagerter Bereich</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	47,1	638,2	553,9
<b>Treibhausgasemissionen insgesamt</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	6.158,1	7.067,0	6.511,5
	t CO <sub>2</sub> e/ha	4,5	5,1	4,7
	<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>		<i>15%</i>	<i>6%</i>
<b>Gutschrift Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	-517,5	-7.576,1	-6.730,0
<b>Bilanz mit Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	5.640,5	-509,1	-218,5
	t CO <sub>2</sub> e/ha	4,1	-0,4	-0,2
	<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>		<i>-109%</i>	<i>-104%</i>
<b>CO<sub>2</sub> Freisetzung durch Grünlandumbruch</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	0,0	490,8	0,0
<b>Bilanz mit Grünlandumbruch und Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	5.640,5	-18,3	-218,5
	t CO <sub>2</sub> e/ha	4,1	0,0	-0,2
	<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>		<i>-100%</i>	<i>-104%</i>

Quelle: eigene Berechnungen

In VGG\_1 bewirken die veränderten Rahmenbedingungen in den beiden Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat eine etwas andere Entwicklung der produktionsbedingten Emissionen als in Baden-Württemberg. Gegenüber dem BAU\_2015 steigen die Emissionen aus dem vorgelagerten Bereich leicht an, da intensivere Anbauverfahren gewählt werden und infolgedessen insbesondere die Emissionen aus der Düngerproduktion zunehmen (vgl. Tabelle 59). In der Landwirtschaft sinken die Emissionen leicht, da durch die intensivere Grünlandnutzung die Grundfutterqualität steigt und der damit verbundene geringere Rohfasergehalt niedrigere ruminale Methanemissionen zur Folge hat. Da der Energiepflanzenanbau gegenüber dem BAU\_2015 deutlich ausgedehnt wird und somit die bei den Konversionsprozessen entstehenden Treibhausgase zunehmen, steigen die Emissionen im nachgelagerten Bereich stark an. Insgesamt wird so eine höhere Menge an Treibhausgasen als im BAU\_2015 freigesetzt. Durch den Energiepflanzenanbau wird eine sehr hohe Gutschrift für die Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Substitution erzielt, die zu einer Treibhausgasenke führt, welche auch durch den Grünlandumbruch nur wenig reduziert wird und einen Wert von 1,9 t CO<sub>2</sub> e/ha erreicht.

Die aufgrund der Implementierung verbesserter Naturschutzmaßnahmen erwirkte extensivere Flächenbewirtschaftung im Szenario BioE 2\_Nat bedingt in allen Bereichen geringere Emissionen. Infolge des geringeren Energiepflanzenanbaus sinken auch die Gutschriften. Da der Grünlandumbruch in diesem Szenario verboten ist, wird dennoch eine ähnliche Treibhausgasenke, wie im BioE 2 erreicht.

Im Vergleich zu den beiden Szenarien BioE 1 und BioE 1\_Nat verändern sich die Treibhausgasemissionen in VGG\_1 dagegen nur wenig, da die Option den Energiepflanzenanbau unbegrenzt auszudehnen nur in geringem Umfang genutzt wird und die Betriebsorganisation in den beiden Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat insgesamt nur wenig von den Szenarien BioE 1 und BioE 1\_Nat abweicht. Dennoch kann die Treibhausgasbilanz in den beiden Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat gegenüber den Szenarien BioE 1 und BioE 1\_Nat um 0,2 bzw. 0,1 t CO<sub>2</sub> e/ha verbessert werden.

In der Futterbauregion VGG\_5 kann aufgrund des hohen Grünlandanteils im Szenario BioE 2 verhältnismäßig viel Grünland umgebrochen werden. Die auf der entstehenden Ackerfläche angebauten Kulturen verursachen im vorgelagerten Bereich vor allem dadurch höhere Emissionen als im BAU\_2015, dass Saatgut und Pflan-

zenschutzmittel produziert werden müssen. In der Landwirtschaft selber ist durch die intensiveren ackerbaulichen Verfahren ein höherer Treibstoffaufwand notwendig. Daneben entstehen infolge der Ausdehnung der energetischen Mais- und Dauergrünlandnutzung auch mehr Gärsubstrate, deren Lagerung und Ausbringung ebenfalls Treibhausgase verursachen. Gemeinsam mit den Emissionen aus den Konversionsprozessen im nachgelagerten Bereich entstehen so 8% mehr Treibhausgasemissionen als im BAU\_2015. Durch die Gutschrift für den Energiepflanzenanbau können die flächenbezogenen Emissionen um 1,6 t CO<sub>2</sub>e/ha reduziert werden. Diese Einsparung wird jedoch durch die Aufnahme der beim Grünlandumbruch freigesetzten Treibhausgase deutlich reduziert, so dass im Szenario BioE 2 insgesamt mehr Treibhausgase freigesetzt werden als im BAU\_2015.

Die Implementierung verbesserter Naturschutzmaßnahmen und die damit verbundene Extensivierung führt im vorgelagerten Bereich zu einer Reduktion der Emissionen, da weniger Produktionsmittel wie Dünger, Pflanzenschutzmittel und Saatgut bereitgestellt werden müssen. Auch im Bereich der Landwirtschaft sowie im nachgelagerten Bereich macht sich die Extensivierung in Form geringerer Emissionen als im BioE 2 bemerkbar, da zum einen extensivere Anbauverfahren gewählt werden und zum anderen ein geringerer Flächenumfang für den Energiepflanzenanbau genutzt wird und somit Emissionen aus den Konversionsprozessen entstehen. Auch im Szenario BioE 2\_Nat kann durch die Gutschrift für den Energiepflanzenanbau eine Reduzierung der Emissionen gegenüber dem BAU\_2015 erreicht werden. Da der Grünlandumbruch in diesem Szenario nicht zulässig ist, bleibt die bessere Treibhausgasbilanz erhalten. Eine Treibhausgassenke, wie in VGG\_1 kann hier jedoch vor allem aufgrund der hohen Viehdicht nicht erreicht werden.

Wie in der Ackerbauregion VGG\_1 führt die Möglichkeit den Energiepflanzenanbau nahezu unbegrenzt auszudehnen auch in der Futterbauregion im Szenario BioE 2 zu einer besseren Treibhausgasbilanz als im BioE 1. Im Naturschutzszenario BioE 2 wird dagegen nahezu die gleiche Menge an Treibhausgasen emittiert, wie im BioE 1, da die Betriebsorganisation sich nur unwesentlich ändert.

Tabelle 59: Treibhausgasemissionen in den Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat im Vergleich zum Szenario Bau\_2015 in VGG\_1 und VGG\_5

		VGG_1			VGG_5		
		BAU_2015	BioE 2	BioE 2_Nat	BAU_2015	BioE 2	BioE 2_Nat
<b>vorgelagerter Bereich</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	218,3	220,7	194,9	10,3	12,1	8,5
<b>Landwirtschaft</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	707,1	705,6	680,6	372,8	396,1	388,4
<b>nachgelagerter Bereich</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	9,9	121,7	111,9	0,2	6,4	4,6
<b>Treibhausgasemissionen insgesamt</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	935,3	1.048,0	987,3	383,3	414,7	401,5
	t CO <sub>2</sub> e/ha	4,1	4,6	4,3	7,7	8,4	8,1
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			<i>12%</i>	<i>6%</i>		<i>8%</i>	<i>5%</i>
<b>Gutschrift Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	-114,1	-1.511,2	-1.391,1	-2,5	-75,3	-53,8
<b>Bilanz mit Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	821,2	-463,1	-403,8	380,7	339,3	347,7
	t CO <sub>2</sub> e/ha	3,6	-2,0	-1,8	7,7	6,8	7,0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			<i>-156%</i>	<i>-149%</i>		<i>-11%</i>	<i>-9%</i>
<b>CO<sub>2</sub> Freisetzung durch Grünlandumbruch</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	0,0	34,9	0,0	0,0	50,1	0,0
<b>Bilanz mit Grünlandumbruch und Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	821,2	-428,3	-403,8	380,7	389,4	347,7
	t CO <sub>2</sub> e/ha	3,6	-1,9	-1,8	7,7	7,9	7,0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			<i>-152%</i>	<i>-149%</i>		<i>2%</i>	<i>-9%</i>

Quelle: eigene Berechnungen

### **7.2.3 Anbau ein- und mehrjähriger Energiepflanzen auf bis zu 100% der Landnutzungsfläche**

In dem im Folgenden beschriebenen Szenario BioE 3 wird, wie bereits im Szenario BioE 2, der Anbau von Energiepflanzen nicht durch modellextern vorgegebene Anbaugrenzen beschränkt. Der Unterschied zum Szenario BioE 2 besteht darin, dass nun auch der Anbau der mehrjährigen Kulturen Pappeln, Weiden (im weiteren Verlauf unter dem Begriff Kurzumtriebsplantagen (KUP) zusammengefasst) und Miscanthus möglich ist. Die Erweiterung des Energiepflanzenpektrums erfolgte aus mehreren Gründen: zum einen weist die von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe ausgewiesene deutschlandweite Anbaufläche in den letzten Jahren eine Zunahme auf (vgl. Kapitel 2). Zum anderen empfiehlt sowohl der Wissenschaftliche Beirat Agrarpolitik in seinem Gutachten zur „Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung“ als auch das Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg im „Biomasse-Aktionsplan Baden-Württemberg“ eine möglichst effiziente Nutzung der knappen Flächen. Daneben verursachen die mehrjährigen Kulturen im Verhältnis beispielsweise zur Biodieselproduktion aus Raps verhältnismäßig geringe CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten (WBA, 2007; WM, 2010; FNR, 2010). Wie bereits für die Szenarien BioE 1 und BioE 2 durchgeführt, wurde auch das Szenario BioE 3 unter verbesserten Naturschutzbedingungen modelliert. Für das Szenario BioE 3\_Nat wurde das reine Biomassesszenario BioE 3 um verbesserte Naturschutzmaßnahmen erweitert, die im Szenario BioE 3\_NatXL um weitere 40% erhöht wurden.

Da die Kulturen KUP und Miscanthus aufgrund ihrer Mehrjährigkeit nicht in eine Fruchtfolge integriert werden können, wurde ihr Anbau im Modell auf eine maximal zulässige Anbaufläche beschränkt. Die Kriterien für die Bestimmung der geeigneten Anbaufläche unterscheiden sich in den beiden Szenarien BioE 3 und BioE 3\_Nat. Während im BioE 3 lediglich standörtliche Gegebenheiten den Ausschlag geben, sind im BioE 3\_Nat auch naturschutzfachliche Aspekte für die Ausschlussmaske entscheidend. Die für das Szenario BioE 3\_Nat bestimmte Anbaufläche wurde für das extreme Naturschutzszenario BioE 3\_NatXL unverändert übernommen, da analysiert werden sollte, ob eine ausschließliche Erhöhung der übrigen Naturschutzforderungen zu einer Einschränkung des Anbaus der mehrjährigen Kulturen führt. In jedem Szenario darf 30% der als geeignet beurteilten Ackerfläche für den Anbau der mehrjährigen Kulturen genutzt werden (vgl. Kapitel 5).

Um die Übersicht zu wahren, werden die Ergebnisse der Szenarien BioE 3, BioE 3\_Nat und BioE 3\_NatXL (Szenariogruppe 3) nicht so ausführlich beschrieben, wie für die Szenarien BioE 1, BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL (Szenariogruppe 1) sowie BioE 2 und BioE 2\_Nat (Szenariogruppe 2) geschehen. Eingegangen wird vor allem auf deutliche Abweichungen von den Ergebnissen dieser Szenarien, die durch den Anbau mehrjähriger Kulturen entstehen, weshalb diese auch überwiegend als Vergleichsbasis herangezogen werden.

### **7.2.3.1 Anbaustruktur und Tierproduktion**

Gegenüber den beiden Szenarien BioE 1 und BioE 2 führt die Option des Anbaus mehrjähriger Kulturen im BioE 3 zunächst dazu, dass in Baden-Württemberg etwa 18% der Ackerfläche für den Anbau von Miscanthus und KUP genutzt werden und nicht mehr für den Anbau einjähriger Kulturen zur Verfügung stehen (vgl. Tabelle 60). Tabelle 61 zeigt, dass in Baden-Württemberg der Miscanthusanbau bis nahezu an die Anbaugrenze ausgedehnt wird, während die geeignete Fläche für KUP nur zu 11% in Anspruch genommen wird. Die vollständige Nutzung der Option Grünland umzubrechen zeigt, dass der Anbau (mehrjähriger) Energiepflanzen aus ökonomischer Sicht attraktiver ist als die Nutzung von Dauergrünland. Da der Anbau von Silomais auch weiterhin, vor allem für die Energieerzeugung, sehr bedeutend ist und gegenüber dem BAU\_2015 um mehr als das dreifache ausgedehnt wird, werden die übrigen Kulturen, insbesondere die Marktfrüchte wie Getreide, weiter eingeschränkt. Auch der Anbau von Klee gras wird im BioE 3 gegenüber dem BAU\_2015 nur um 16% ausgedehnt, während er im BioE 1 und im BioE 2 um 19% ausgedehnt wurde. Die dadurch geringere Menge an Grundfutter wird durch eine intensivere Düngung der Klee grasbestände ausgeglichen, während der Futtermittelzukauf gegenüber dem BioE 1 und dem BioE 2 nur leicht ansteigt. Die Reduzierung des Zwischenfruchtanbaus ist im Szenario BioE 3 hauptsächlich auf die starke Einschränkung des Sommergetreideanbaus zurückzuführen.

In den beiden Naturschutzszenarien BioE 3\_Nat und BioE 3\_NatXL steht insgesamt weniger Ackerfläche als im BioE 3 zur Verfügung, da zum einen die Möglichkeit zum Grünlandumbruch nicht gegeben ist und zum anderen ein Teil der Fläche für Naturschutzmaßnahmen aus der Nutzung genommen wird, bzw. stillgelegt werden muss. Gleichzeitig wird die mögliche Anbaufläche für mehrjährige Kulturen im Vergleich zum BioE 3 um fast 80% eingeschränkt. Dies hat eine Reduzierung der

tatsächlichen Anbaufläche in der gleichen Größenordnung zur Folge. Die dadurch im Vergleich zum BioE 3 freiwerdende Ackerfläche übertrifft die Einschränkungen durch Naturschutzauflagen und bedingt vor allem eine weitere Ausdehnung des Silomaisanbaus und des Sommergetreideanbaus gegenüber dem BioE 3, wobei die um 40% erhöhten Naturschutzauflagen im BioE 3\_NatXL zu etwas geringeren Werten als im BioE 3\_Nat führen. Bei den übrigen Marktfrüchten führt eine Ausdehnung der Naturschutzauflagen zu Anbaueinschränkungen gegenüber dem BioE 3. Der geringere Kleegrasanbau geht vor allem im Szenario BioE 3\_NatXL mit einer Ausdehnung des Futtermaisbaus einher, um ausreichend Grundfutter bereit zu stellen.

Auch in den beiden Naturschutzszenarien wird die Option Miscanthus anzubauen nahezu vollständig genutzt, wobei die Anbaufläche hier deutlich geringer ist als im BioE 3. Da die Anbaufläche unter sehr hohen Naturschutzforderungen (BioE 3\_NatXL) ebenso groß ist, wie unter moderaten Naturschutzforderungen (BioE 3\_Nat) kann daraus geschlossen werden, dass der Anbau von Miscanthus aus betriebswirtschaftlicher Sicht über eine deutliche Vorzüglichkeit gegenüber dem Anbau von KUP oder einjährigen Kulturen verfügt. Beim Anbau von KUP wird in den beiden Naturschutzszenarien zwar ein höherer Anteil der möglichen Anbaufläche in Anspruch genommen, jedoch wird aufgrund der deutlichen Flächeneinschränkungen aus naturschutzfachlichen Gründen absolut gesehen, insbesondere im BioE 3\_NatXL, eine geringere Fläche für den Anbau von KUP genutzt.

Tabelle 60: Vergleich der Anbaustrukturen des Szenarios BAU\_2015 mit den Szenarien BioE 3, BioE 3\_Nat und BioE 3\_NatXL für Baden-Württemberg

		Baden-Württemberg			
		BAU_2015	BioE 3	BioE 3_Nat	BioE 3_NatXL
<b>Ackerfläche</b>	ha	837.324	863.401	813.671	804.209
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			3%	-3%	-4%
<b>Grünlandfläche</b>	ha	544.128	518.119	544.128	544.129
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-5%	0%	0%
<b>Wintergetreide</b>	ha	333.196	218.282	173.398	172.196
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-34%	-48%	-48%
<b>Sommergetreide</b>	ha	243.292	111.582	181.197	179.297
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-54%	-26%	-26%
<b>Mais</b>	ha	80.056	284.471	324.009	310.520
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			255%	305%	288%
<b>Kartoffeln</b>	ha	6.439	4.791	1.972	983
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-26%	-69%	-85%
<b>Zuckerrüben</b>	ha	23.643	1.252	494	502
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-95%	-98%	-98%
<b>Winterraps</b>	ha	89.957	14.855	859	664
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-83%	-99%	-99%
<b>Sonnenblumen</b>	ha	76	0	0	0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-100%	-100%	-100%
<b>Kleegras</b>	ha	59.995	69.400	66.269	65.422
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			16%	10%	9%
<b>Miscanthus</b>	ha		136.882	29.449	29.449
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>					
<b>KUP</b>	ha		21.816	8.951	7.273
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>					
<b>Brache</b>	ha	586	0	27.073	37.903
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-100%	4521%	6369%
<b>Zwischenfrüchte</b>	ha	215.496	200.695	336.502	337.070
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-7%	56%	56%

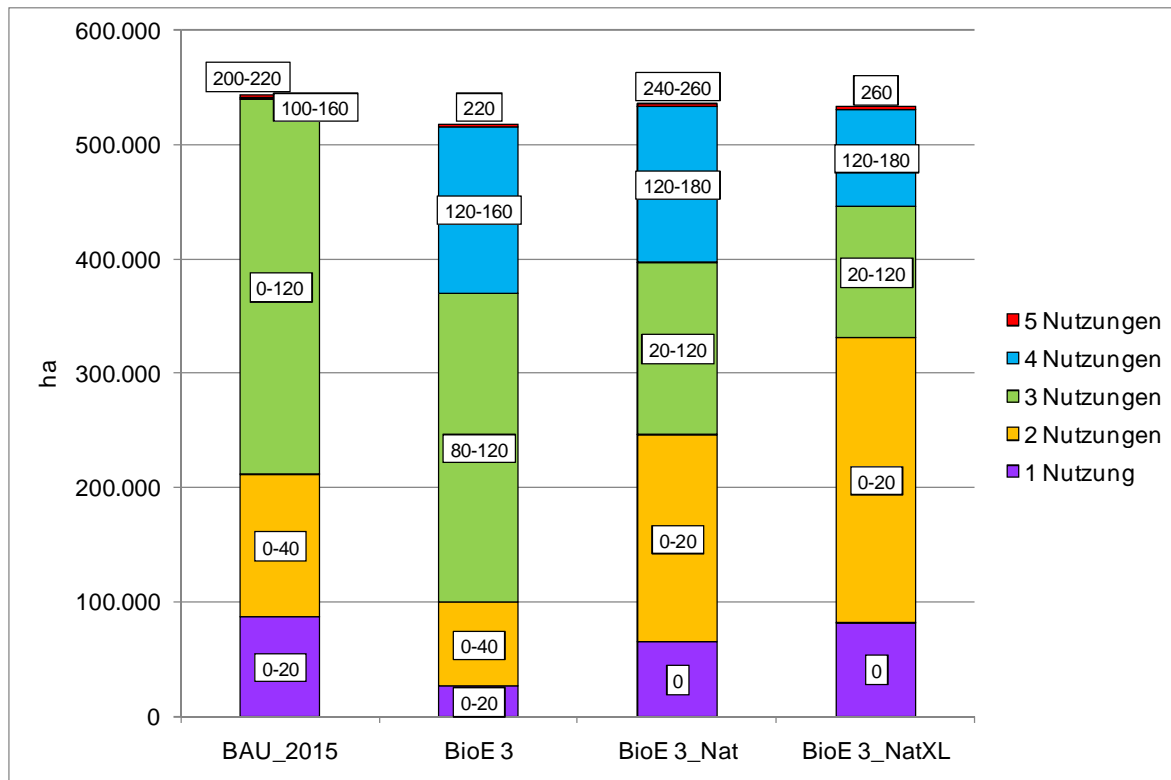
Quelle: eigene Berechnungen

**Tabelle 61:** Nutzung der möglichen Anbaufläche für mehrjährige Kulturen in Baden-Württemberg

Baden-Württemberg				
			ha	Ausnutzung der mögl. Anbaufläche
Flächen-einschränkung Standortkundlich	<b>geeignete Fläche</b> Anbaufläche in BioE 3	<b>Miscanthus</b>	<b>140.045</b> 136.882	<b>98%</b>
	<b>geeignete Fläche</b> Anbaufläche in BioE 3	<b>KUP</b>	<b>191.146</b> 21.816	<b>11%</b>
Flächen-einschränkung Standortkundlich und Naturschutzfachlich	<b>geeignete Fläche</b> Anbaufläche in BioE 3 _Nat	<b>Miscanthus</b>	<b>30.157</b> 29.449	<b>98%</b>
	Anbaufläche in BioE 3 _NatXL		29.449	<b>98%</b>
	<b>geeignete Fläche</b> Anbaufläche in BioE 3 _Nat	<b>KUP</b>	<b>46.163</b> 8.951	<b>19%</b>
	Anbaufläche in BioE 3 _NatXL		7.273	<b>16%</b>

Quelle: eigene Berechnungen

Wie bereits in den Szenariogruppen 1 und 2 zu beobachten war, führt die Möglichkeit das Grünland energetisch zu nutzen auch im Szenario BioE 3 gegenüber dem BAU\_2015 zu einer deutlichen Intensivierung, sowohl hinsichtlich der Nutzungshäufigkeit als auch der Düngung. Die Einführung moderater und extremer Naturschutzforderungen bewirkt eine ähnliche Entwicklung der Grünlandnutzung wie in den Szenariogruppen 1 und 2. Es bilden sich zwei sehr gegensätzliche Nutzungsintensitäten heraus: zum einen wird die extensiv bewirtschaftete Fläche aufgrund der Naturschutzforderungen ausgedehnt, zum anderen wird die von den Naturschutzforderungen nicht betroffene Fläche deutlich intensiviert, um das qualitativ minderwertige Grundfutter auszugleichen. Der Anbau mehrjähriger Kulturen wirkt sich nur insofern auf das Grünland aus, als dass der Grünlandumbruch bis zur vorgegebenen Grenze ausgedehnt wird. Auf die Intensität der Grünlandnutzung hat dies jedoch keinen Einfluss, was sich darin zeigt, dass die Grünlandnutzung in der Szenariogruppe 3 sich kaum von der in der Szenariogruppe 2 unterscheidet.



Quelle: eigene Berechnungen

*Abbildung 17: Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 3, BioE 3\_Nat und BioE 3\_NatXL im Vergleich zum Szenario BAU\_2015 in Baden-Württemberg*

Mit Ausnahme der Mutterkuhhaltung im Szenario BioE 3\_NatXL ändert sich die Anzahl der gehaltenen Tiere auch in dieser Szenariogruppe gegenüber dem BAU\_2015 nicht, während die Milchkuhhaltung intensiviert wird und die jährlich produzierte Milchmenge im Szenario BioE 3 gegenüber dem BAU\_2015 um 25% steigt. In den beiden Naturschutzszenarien wird die Milchmenge jedoch wieder leicht reduziert, da die Grundfutterbereitstellung aus dem Grünland von Nutzungsbeschränkungen betroffen ist.

Während auf Landesebene im Szenario BioE 3 nur auf etwa 17% der Ackerfläche Miscanthus und auf 23% KUP angebaut werden dürfen, ist dieser Anteil in der Ackerbauregion VGG\_1 mit 28 bzw. 29% deutlich höher (vgl. Tabelle 63). Da der Anbau aus ökonomischer Sicht sehr attraktiv ist, wird die Option auch in einem hohen Maß in Anspruch genommen und führt dazu, dass der Anbau einjähriger Kulturen, mit Ausnahme von Silomais, gegenüber dem BAU\_2015 erheblich eingeschränkt wird (vgl. Tabelle 62). Auffällig ist, dass der Grünlandumbruch durch den Anbau von Miscanthus und KUP nicht beeinflusst wird und im gleichen Umfang

stattfindet, wie bereits im BioE 1 und BioE 2. Für die Reduzierung des Zwischenfruchtanbaus ist in erster Linie die Einschränkung des Sommergetreideanbaus verantwortlich. Interessant ist die Entwicklung des Silomaisanbaus gegenüber dem BioE 2. Insgesamt gesehen findet dieser in einem geringeren Umfang statt und da die Grünlandnutzung, wie später noch näher beschrieben wird, keinen Änderungen unterliegt sowie der Klee grasanbau auffallend eingeschränkt wird, wird vermehrt Silomais für die Fütterung bereitgestellt.

In den beiden Naturschutzszenarien BioE 3\_Nat und BioE 3\_NatXL wird die Anbaufläche für die mehrjährigen Kulturen gegenüber dem BioE 3 aufgrund naturschutzfachlicher Aspekte um rund 70% eingeschränkt. Zwar ist auch der Grünlandumbruch verboten und die nutzbare Ackerfläche wird durch Naturschutzauflagen eingeschränkt, jedoch wird diese Einschränkung durch die Reduzierung des Anbaus von KUP und Miscanthus erheblich überkompensiert, wovon insbesondere der Sommergetreide, Mais- und Klee grasanbau profitieren. Die Zunahme des Klee grasanbaus bewirkt gleichzeitig einen Rückgang des Silomaisanbaus für Fütterungszwecke, während die Grünlandnutzung im Vergleich zu den Szenariogruppen 1 und 2 konstant bleibt. Da der Sommergetreideanbau gegenüber dem BioE 3 wieder zunimmt, werden auch vermehrt Zwischenfrüchte angebaut.

Die Anbaufläche für Miscanthus und KUP ist auch hier in allen drei Szenarien auf maximal 30% der geeigneten Ackerfläche beschränkt. Die gesamte Anbaufläche für mehrjährige Kulturen wurde modellintern durch die jeweils größere geeignete Fläche (meist KUP, da sie geringere Standortansprüche haben) bestimmt. Während diese Restriktion auf der Landesebene kaum zum Tragen kommt, da die gesamte Anbaufläche der mehrjährigen Kulturen in allen Szenarien nur zu rund 80% (die maximale Anbaufläche wird durch die KUP-Fläche bestimmt) genutzt wird, gewinnt sie in einer für Baden-Württemberg typischen Ackerbauregion wie dem VGG\_1 an Bedeutung. Hier wird die mögliche Anbaufläche zu 99% ausgenutzt, wobei die Option für Miscanthus vollständig genutzt wird und die Differenz zur gesamten maximalen Anbaufläche für mehrjährige Kulturen durch KUP genutzt wird (vgl. Tabelle 63). Dies zeigt, dass der Anbau von Miscanthus insbesondere in dieser Region im Vergleich zu den einjährigen (Energie) Kulturen über eine deutliche betriebswirtschaftliche Vorzüglichkeit verfügt, gefolgt von KUP.

In einer typischen Futterbauregion wie dem Allgäu (VGG\_5) ist der Anbau mehrjähriger Kulturen vor allem aufgrund der klimatischen Gegebenheiten nur in einem geringen Umfang möglich. Während der Miscanthusanbau aus standörtlicher Sicht in dieser Region ausgeschlossen ist, können im Szenario BioE 3 rund 20% und in den beiden Naturschutzszenarien ca. 10% der Ackerfläche für den Anbau mehrjähriger Kulturen genutzt werden. Dies führt dazu, dass die Anbauumfänge der einjährigen Kulturen sich gegenüber der Szenariogruppe 2 weniger stark ändern als in einer Ackerbauregion mit guter Anbaueignung für KUP und Miscanthus.

Der Grünlandumbruch ist in dieser Region auch weiterhin sehr attraktiv und wird bis zu der Grenze von 5% des Grünlandanteils durchgeführt. Lediglich rund 1% der Ackerfläche im Szenario BioE 3 wird für den Anbau von KUP genutzt und führt vor allem im Getreideanbau zu Einschränkungen im Vergleich zum BioE 1 und BioE 2, während die übrigen Anbauumfänge konstant bleiben. In den beiden Naturschutzszenarien steht aufgrund des Grünlandumbruchverbots zwar weniger Ackerfläche zur Verfügung, jedoch nimmt auch die für den Anbau von KUP genutzte Anbaufläche sichtbar ab und auch hier ist wie bereits im BioE 3 überwiegend der Getreideanbau im Vergleich zu den Szenarien BioE 1 und BioE 2 betroffen. Die geringe Ausnutzung der Option KUP anzubauen zeigt, dass in dieser Region aufgrund des hohen Anteils an Dauergrünland insbesondere die Milchkuhhaltung und die energetische Nutzung von Dauergrünland dem Anbau von KUP aus betriebswirtschaftlicher Sicht überlegen sind.

**Tabelle 62:** Vergleich der Anbaustrukturen des Szenarios BAU\_2015 mit den Szenarien BioE 3, BioE 3\_Nat und BioE 3\_NatXL für VGG\_1 und VGG\_5

		VGG_1				VGG_5			
		BAU_2015	BioE 3	BioE 3_Nat	BioE 3_NatXL	BAU_2015	BioE 3	BioE 3_Nat	BioE 3_NatXL
<b>Ackerfläche</b>	ha	184.176	185.778	179.313	177.360	4.028	6.304	3.907	3.859
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			1%	-3%	-4%		57%	-3%	-4%
<b>Grünlandfläche</b>	ha	42.883	41.299	42.883	42.883	45.525	43.249	45.525	45.525
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-4%	0%	0%		-5%	0%	0%
<b>Wintergetreide</b>	ha	73.785	53.339	55.150	53.135	706	972	636	771
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-28%	-25%	-28%		38%	-10%	9%
<b>Sommergetreide</b>	ha	52.005	19.922	43.879	44.592	86	63	66	63
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-62%	-16%	-14%		-27%	-24%	-27%
<b>Mais</b>	ha	15.116	51.016	53.984	51.247	2.444	3.678	2.093	1.862
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			237%	257%	239%		51%	-14%	-24%
<b>Kartoffeln</b>	ha	2.719	2.719	0	0	0	0	0	0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			0%	-100%	-100%				
<b>Zuckerrüben</b>	ha	17.856	784	429	437	0	0	0	0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-96%	-98%	-98%				
<b>Winterraps</b>	ha	16.301	1.344	509	404	29	0	0	0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-92%	-97%	-98%		-100%	-100%	-100%
<b>Sonnenblumen</b>	ha	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>									
<b>Kleegras</b>	ha	6.393	4.020	4.489	4.436	763	1.523	927	916
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-37%	-30%	-31%		100%	22%	20%
<b>Miscanthus</b>	ha		51.219	14.572	14.572		0	0	0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>									
<b>KUP</b>	ha		1.416	714	714		68	32	32
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>									
<b>Brache</b>	ha	0	0	5.588	7.824	0	0	154	215
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>									
<b>Zwischenfrüchte</b>	ha	50.330	36.002	73.944	75.371	1.440	2.362	1.675	1.858
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-28%	47%	50%		64%	16%	29%

Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 63: Nutzung der möglichen Anbaufläche für mehrjährige Kulturen in VGG\_1 und VGG\_5

			VGG_1		VGG_5	
			ha	Ausnutzung der mögl. Anbaufläche	ha	Ausnutzung der mögl. Anbaufläche
Flächen-einschränkung Standortkundlich	<b>geeignete Fläche</b>	<b>Miscanthus</b>	<b>51.221</b>		<b>0</b>	
	Anbaufläche in BioE 3		51.219	100%	0	
	<b>geeignete Fläche</b>	<b>KUP</b>	<b>52.921</b>		<b>946</b>	
	Anbaufläche in BioE 3		1.416	3%	68	7%
Flächen-einschränkung Standortkundlich und Naturschutzfachlich	<b>geeignete Fläche</b>	<b>Miscanthus</b>	<b>14.572</b>		<b>0</b>	
	Anbaufläche in BioE 3 _Nat		14.572	100%	0	
	Anbaufläche in BioE 3 _NatXL	14.572	100%	0		
	<b>geeignete Fläche</b>	<b>KUP</b>	<b>15.371</b>		<b>447</b>	
Anbaufläche in BioE 3 _Nat	714		5%	32	7%	
Anbaufläche in BioE 3 _NatXL	714	5%	32	7%		

Quelle: eigene Berechnungen

Die Nutzung des Grünlandes ändert sich in den beiden Vergleichsgebietsgruppen Unterland/Gäue und Allgäu im Vergleich zu den Szenariogruppen 1 und 2 in den Szenarien BioE 3, BioE 3\_Nat und BioE 3\_NatXL nur unwesentlich durch die Option Miscanthus und KUP anzubauen (Abbildungen siehe Anhang 5 und Anhang 6). Auch im Szenario BioE 3 bewirkt die Option der energetischen Grünlandnutzung sowohl in VGG\_1 als auch in VGG\_5 eine deutliche Intensivierung gegenüber dem BAU\_2015. Die Implementierung der Naturschutzvorgaben zieht auch hier eine auffallend gegensätzliche Entwicklung der Grünlandnutzung hin zu sehr extensiven und sehr intensiven Nutzungsformen nach sich, die insbesondere in der Futterbau-region sehr deutlich wird.

In den beiden für Baden-Württemberg typischen Regionen VGG\_1 und VGG\_5 ändert sich die Anzahl der gehalten Tiere nicht. Die produzierte Milchmenge schwankt in beiden Regionen gegenüber der Szenariogruppe 1 und 2 ebenfalls nur unwesentlich.

### 7.2.3.2 Bioenergieerzeugung

Die Option KUP und Miscanthus anzubauen führt in Baden-Württemberg zu einer weiteren Erhöhung der Bioenergieproduktion gegenüber den Szenariogruppen 1 und 2 im Vergleich zum Basisszenario BAU\_2015 (vgl. Tabelle 64). Besonders interessant ist dabei der Vergleich mit der Szenariogruppe 2, in der die Ausdehnung des Anbaus einjähriger Energiepflanzen nicht auf eine maximale Anbaufläche be-

schränkt ist. Im Szenario BioE 3 wird 18% mehr Fläche für die Energiepflanzenproduktion genutzt als im Szenario BioE 2 und auch die flächenbezogene Energieproduktion steigt um 17%. Da die energetische Nutzung von Stroh, Raps, Mais und Dauergrünland zugunsten des KUP- und Miscanthusanbaus eingeschränkt wird, zeigt dies zum einen die betriebswirtschaftliche Vorzüglichkeit des Anbaus mehrjähriger Kulturen sowie die energieeffizientere Flächennutzung durch KUP und Miscanthus. Insgesamt wird im Szenario BioE 3 die höchste Energieproduktion im Vergleich zu allen anderen Szenarien erreicht und es wäre möglich über 5% des Primärenergiebedarfs zu decken. Dabei müsste das Stroh von rund 323.00 ha energetisch genutzt werden und auf rund 50% der landwirtschaftlichen Nutzfläche ein- und mehrjährige Energiepflanzen angebaut werden.

Die Ergebnisse der beiden Naturschutzszenarien zeigen bezüglich der Bioenergieproduktion einen deutlichen Trend auf. Die Einschränkung der Anbaufläche für mehrjährige Kulturen bedingt, dass wieder mehr Ackerfläche für den Anbau einjähriger Kulturen genutzt wird. Gemeinsam mit den erhöhten Naturschutzaufgaben führt dies dazu, dass der Getreideanbau und somit die Strohverbrennung, sowie die Biogaserzeugung aus Silomais, vor allem im BioE 3\_Nat, gegenüber dem BioE 3 ausgedehnt wird. Während der Raps im Szenario BioE 3 noch über eine verhältnismäßig hohe Bedeutung verfügt und vollständig in der Bioedieselproduktion zum Einsatz kommt, wird er nach der Implementierung der verbesserten Naturschutzmaßnahmen nahezu bedeutungslos. Die Ausdehnung der energetischen Silomaisnutzung in den beiden Naturschutzszenarien ist auf den größeren Umfang der Grundfutterbereitstellung vom Grünland aufgrund der Extensivierung zurückzuführen. Da das extensive Grünland aufgrund der gesetzten Modellvorgaben lediglich in der Fütterung zum Einsatz kommen kann, nicht jedoch in der Biogasanlage wird folglich weniger Ackerfläche für die Futterbereitstellung genutzt und steht so für die Erzeugung von Energiepflanzen zur Verfügung. Auffallend ist, dass der Anbau der mehrjährigen Kulturen vom Szenario BioE 3\_Nat zum BioE 3\_NatXL lediglich hinsichtlich des Anbaus von KUP einer Einschränkung unterliegt, was die ökonomische Vorzüglichkeit des Miscanthusanbaus zeigt. In den beiden Naturschutzszenarien ist die Energieproduktion um über 20% geringer als im BioE 3, allerdings wird auch deutlich weniger Fläche für den Energiepflanzenanbau genutzt.

**Tabelle 64:** *Energiepflanzenanbau in Baden-Württemberg in den Szenarien BAU\_2015, BioE 3, BioE 3\_Nat und BioE 3\_NatXL*

		<b>Baden-Württemberg</b>			
		BAU_2015	BioE 3	BioE 3_Nat	BioE 3_NatXL
<b>Strohverbrennung</b>	ha	0	322.921	335.304	325.073
<b>Raps (Biodiesel)</b>	ha	1.635	14.855	859	664
<b>Mais (Biogas)</b>	ha	40.228	270.041	309.227	292.192
<b>Grünland (Biogas)</b>	ha	0	264.365	174.806	105.515
<b>Miscanthus</b>	ha		136.882	29.449	29.449
<b>KUP</b>	ha		21.816	8.951	7.273
<b>Energieproduktion</b>	TJ	4.282	86.785	67.510	63.328
<b>Anteil am Primärenergiebedarf (in Form von Nettoenergie)</b>		0,27%	5,41%	4,21%	3,95%

Quelle: eigene Berechnungen

Die veränderten Rahmenbedingungen wirken sich in einer typischen Ackerbauregion wie dem VGG\_1 ähnlich auf die Bioenergieproduktion aus, wie in Baden-Württemberg (vgl. Tabelle 65). Im Szenario BioE 3 wird die Strohverbrennung und die Vergärung von Silomais gegenüber dem BioE 2 reduziert, während die energetische Grünlandnutzung konstant bleibt und die Bioedieselproduktion aus Raps zunimmt. Der Anbau von mehrjährigen Kulturen, insbesondere Miscanthus, findet auf einem höheren Anteil der Ackerfläche statt als landesweit. Auch die insgesamt für den Anbau von Energiepflanzen genutzte landwirtschaftliche Nutzfläche ist mit einem Anteil von 55% höher als in Baden-Württemberg.

In den beiden Naturschutzszenarien zeigen sich in VGG\_1, wie auch in Baden-Württemberg zwei unterschiedliche Entwicklungen. Da aufgrund der stärkeren Anbaubeschränkung für Miscanthus und KUP mehr Ackerfläche zur Verfügung steht, werden der Getreideanbau und damit die Strohverbrennung sowie der Silomaisanbau für die energetische Nutzung ausgedehnt. Hingegen wird weniger Raps für die Biodieselproduktion genutzt und auch die Vergärung von Grünland aufgrund der Naturschutzforderungen eingeschränkt. Auffallend ist, dass sowohl unter moderaten als auch unter extremen Naturschutzforderungen der Anbau der mehrjährigen Kulturen, insbesondere Miscanthus, im höchstmöglichen Umfang durchgeführt wird, was darauf hinweist, dass besonders in Ackerbauregionen der Anbau mehrjähriger Kulturen aus ökonomischer Sicht eine attraktive Alternative zum Anbau einjähriger (Energie-) Pflanzen darstellt. Insgesamt wird zwar im Szenario BioE 3\_NatXL rund

10% weniger Fläche für den Energiepflanzenanbau genutzt als im BioE 3\_Nat, da jedoch mehr Stroh für die Verbrennung zur Verfügung steht, sinkt die Energieproduktion lediglich um 4%. Dies zeigt, dass die energetische Verwertung von Stroh, KUP und Miscanthus einen hohen Beitrag zur Bioenergiebereitstellung leisten können.

Wie bereits in den beiden Szenarien BioE 1 und BioE 2 steht auch im BioE 3 in der Futterbauregion VGG\_5 gegenüber dem BAU\_2015 infolge des Grünlandumbruchs deutlich mehr Ackerfläche zur Verfügung. Dies ermöglicht auch im BioE 3 eine starke Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus, wobei die Anbauumfänge von Getreide, infolgedessen auch die Strohverbrennung, und Mais für die Vergärung etwas kleiner sind als im BioE 2, und stattdessen KUP angebaut werden. Insgesamt bleibt die für den Energiepflanzenanbau genutzte Ackerfläche gegenüber dem BioE 2 jedoch konstant, ebenso, wie sich die energetische Dauergrünlandnutzung kaum ändert. Dies zeigt, dass zum einen bereits im BioE 2 die aus ökonomischer Sicht maximal sinnvolle Fläche für den Energiepflanzenanbau genutzt wurde und zum anderen der Anbau mehrjähriger Kulturen in dieser Region nur eine sehr untergeordnete Rolle spielt.

In den beiden Naturschutzszenarien BioE 3\_Nat und BioE 3\_NatXL wird die Bioenergieproduktion im VGG\_5 aus zwei Gründen eingeschränkt: zum einen steht aufgrund des Grünlandumbruchverbots weniger Ackerfläche zur Verfügung als im BioE 3 und zum anderen wird infolge der Extensivierung mehr Grünland in der Fütterung eingesetzt. Der Anbau von KUP spielt mit 32 ha kaum noch eine Rolle, was zeigt, dass der Anbau von KUP in dieser Region im Gegensatz zu einer typischen Ackerbauregion nur über eine sehr geringe betriebswirtschaftliche Attraktivität verfügt.

**Tabelle 65: Energiepflanzenanbau in VGG\_1 und VGG\_5 in den Szenarien BAU\_2015, BioE 3, BioE 3\_Nat und BioE 3\_NatXL**

		VGG_1				VGG_5			
		BAU_2015	BioE 3	BioE 3_Nat	BioE 3_NatXL	BAU_2015	BioE 3	BioE 3_Nat	BioE 3_NatXL
<b>Strohverbrennung</b>	ha	0	72.441	94.206	90.903	0	1.035	701	830
<b>Raps (Biodiesel)</b>	ha	0	1.344	509	404	0	0	0	0
<b>Mais (Biogas)</b>	ha	9.209	48.448	51.534	48.705	201	869	325	108
<b>Grünland (Biogas)</b>	ha	0	22.278	15.157	10.109	0	20.517	16.368	13.989
<b>Miscanthus</b>	ha		51.219	14.572	14.572		0	0	0
<b>KUP</b>	ha		1.416	714	714		68	32	32
<b>Energieproduktion</b>	TJ	942	20.689	15.755	15.070	21	654	465	394

Quelle: eigene Berechnungen

### 7.2.3.3 Ökonomische Kennzahlen

Die Option mehrjährige Kulturen anzubauen verändert die Betriebsorganisation in Baden-Württemberg gegenüber der Szenariogruppe 2 überwiegend zugunsten des KUP- und Miscanthusanbaus. Hinsichtlich der Deckungsbeiträge führt dies vor allem im Szenario BioE 3 landesweit zu einer Erhöhung um 40 €/ha im Vergleich zum Szenario BioE 2, in dem der Anbau der mehrjährigen Kulturen noch nicht möglich war (vgl. Tabelle 66). Da der Anbau der einjährigen Kulturen zurückgedrängt wird und auf rund 18% der Ackerfläche mehrjährige Kulturen angebaut werden, während sich die Grünlandnutzung kaum ändert, zeigt dies, dass die Änderung der Deckungsbeiträge auf den Anbau von KUP und Miscanthus zurückzuführen sind. Im Vergleich zu den Szenarien BioE 1 und BioE 2 nimmt die MEKA-Förderung gegenüber dem BAU\_2015 mit 4% deutlich weniger zu. Dies begründet sich darin, dass zum einen der Anbau von KUP und Miscanthus nicht förderfähig ist und somit auf 18% der Ackerfläche keine MEKA-Förderung in Anspruch genommen werden kann. Zum anderen wird vor allem infolge des geringen Sommergetreideanbaus auch weniger Fläche mit Zwischenfrüchten bestellt, deren Anbau gefördert wird.

Im Naturschutzszenario BioE 3\_Nat liegt der Deckungsbeitrag nur noch um 10 €/ha über dem im BioE 2\_Nat erzielten Wert. Aufgrund der gleichen moderaten Naturschutzforderungen, die den beiden Szenarien zugrunde liegen, kann der Anstieg der Deckungsbeiträge auf den Anbau der mehrjährigen Kulturen zurückgeführt werden. Da die geeignete Anbaufläche jedoch aufgrund der naturschutzfachlichen Einschränkungen geringer ist, fällt auch der Unterschied der Deckungsbeiträge geringer aus als zwischen den Szenarien BioE 3 und BioE 2. Die Inanspruchnahme

der MEKA-Förderung ist aufgrund der Ausdehnung des Zwischenfruchtanbaus und einigen förderfähigen Naturschutzmaßnahmen gegenüber dem BioE 3 um 23 €/ha höher, im Vergleich zum BioE 2\_Nat jedoch wegen des Anbaus mehrjähriger Kulturen etwas geringer.

Die weitere Erhöhung der Naturschutzforderungen um 40% im Szenario BioE 3\_NatXL bewirkt, dass die Deckungsbeiträge gegenüber dem BioE 3\_Nat um 2% sinken. Da die Anbaufläche der mehrjährigen Kulturen sich kaum ändert, beruht diese Änderung ausschließlich auf der Erhöhung der Naturschutzforderungen. Die nahezu gleiche Reduzierung ergab sich bereits im Szenario BioE 1\_NatXL gegenüber dem BioE 1\_Nat. Auch die leichte Ausdehnung der MEKA-Förderung ist auf die höheren Naturschutzforderungen und die mit einigen Maßnahmen verbundene Förderung zurückzuführen.

*Tabelle 66: Deckungsbeiträge und MEKA-Förderung in den Szenarien BioE 3, BioE 3\_Nat und BioE 3\_NatXL im Vergleich zum Szenario BAU\_2015 in Baden-Württemberg*

		Baden-Württemberg			
		BAU_2015	BioE 3	BioE 3_Nat	BioE 3_NatXL
<b>Deckungsbeitrag</b>	<b>Mio. €</b>	1.835	2.169	2.058	2.016
	<b>€/ha</b>	1.329	1.570	1.490	1.459
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			18%	12%	10%
<b>davon MEKA-Förderung</b>	<b>Mio. €</b>	62	64	80	83
	<b>€/ha</b>	45	46	58	60
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			4%	31%	35%

Quelle: eigene Berechnungen

In der für Baden-Württemberg typischen Ackerbauregion VGG\_1 bewirkt der Anbau von KUP und Miscanthus die gleichen Änderungen der Deckungsbeiträge und MEKA-Förderung, wie sie bereits für Baden-Württemberg beschrieben wurden, jedoch sind sie, da der relative Anteil von KUP- und Miscanthuskulturen an der Ackerfläche mit 28% erheblich höher ist, deutlich ausgeprägter (vgl. Tabelle 67). Während die Möglichkeit den Energiepflanzenanbau auf die nahezu gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche auszudehnen lediglich zu geringen Änderungen der Deckungsbeiträge im Szenario BioE 2 gegenüber dem BioE 1 geführt haben, werden im BioE 3 infolge des Anbaus von KUP und vor allem Miscanthus deutlich höhere Deckungsbeiträge erzielt. Während die landesweite MEKA-Förderung gegenüber

dem BAU\_2015 noch um 4% ansteigt, sinkt sie in der Region Unterland/Gäue um 5%. Dies begründet sich in dem hohen Anteil der KUP- und Miscanthusfläche, deren Förderung durch MEKA nicht vorgesehen ist.

In den beiden Naturschutzszenarien BioE 3\_Nat und BioE 3\_NatXL führen zum einen die implementierten Naturschutzmaßnahmen und zum anderen die erhebliche Einschränkung der Option mehrjährige Kulturen anzubauen dazu, dass die Deckungsbeiträge im Vergleich zum BioE 3 deutlich sinken, während die MEKA-Förderung verstärkt in Anspruch genommen wird. Jedoch sind die erzielten Deckungsbeiträge höher als in den entsprechenden Naturschutzszenarien der Szenariogruppen 1 und 2, während die MEKA-Förderung geringer ausfällt. Da den Naturschutzszenarien jeweils die gleichen Bewirtschaftungsbeschränkungen zugrunde liegen, können die höheren Deckungsbeiträge und die niedrigere MEKA-Förderung auf die Anlage von KUP- und Miscanthusflächen zurückgeführt werden.

In der Futterbauregion VGG\_5 findet der Anbau mehrjähriger Kulturen nur in einem sehr geringen Umfang statt, der sich im Vergleich zu den Szenariogruppen 1 und 2 weder auf die Deckungsbeiträge noch auf die in Anspruch genommene MEKA-Förderung auswirkt. Dies zeigt, dass die betriebswirtschaftliche Vorzüglichkeit des Anbaus mehrjähriger Kulturen in einer Futterbauregion wie dem Allgäu im Gegensatz zu einer typischen Ackerbauregion kaum gegeben ist, während die energetische Nutzung von Stroh, Silomais und Grünland in einem engen Rahmen sinnvoll ist. Jedoch wird die knappe Futterfläche auch weiterhin bevorzugt für die aus ökonomischer Sicht vorzüglichere Milchkuhhaltung eingesetzt.

*Tabelle 67: Energiepflanzenanbau in VGG\_1 und VGG\_5 in den Szenarien BAU\_2015, BioE 3, BioE 3\_Nat und BioE 3\_NatXL*

		VGG_1				VGG_5			
		BAU_2015	BioE 3	BioE 3_Nat	BioE 3_NatXL	BAU_2015	BioE 3	BioE 3_Nat	BioE 3_NatXL
<b>Deckungsbeitrag</b>	<b>Mio. €</b>	227	294	270	266	110	115	110	109
	<b>€/ha</b>	1.001	1.296	1.190	1.170	2.224	2.312	2.221	2.194
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			29%	19%	17%		4%	0%	-1%
<b>davon MEKA-Förderung</b>	<b>Mio. €</b>	8	8	12	12	3	3	3	3
	<b>€/ha</b>	37	35	51	53	57	54	57	59
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-5%	40%	44%		-5%	-1%	2%

Quelle: eigene Berechnungen

#### **7.2.3.4 Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen**

Der Anbau von KUP und Miscanthus stellt im Vergleich zu einjährigen Kulturen, wie beispielsweise dem Getreideanbau oder dem Silomaisanbau ein sehr extensives Verfahren dar, da zum einen der Maschinen- und damit Kraftstoffeinsatz geringer ist und zum anderen die Anwendung von Dünger und Pflanzenschutzmittel kaum notwendig ist. Der geringere Einsatz von Betriebsmitteln wirkt sich auch auf die Treibhausgasbilanz aus, insbesondere dann, wenn ein großer Anteil der Ackerfläche für die Anlage mehrjähriger Kulturen genutzt wird.

In Baden-Württemberg wird im Szenario BioE 3 ein beachtlicher Teil der Ackerfläche für den Anbau von KUP und vor allem auch Miscanthus genutzt. Dies führt im vorgelagerten Bereich und in der Landwirtschaft aufgrund des geringeren Einsatzes und damit auch der Produktion von Dünger, Pflanzenschutzmitteln und Kraftstoff im Vergleich zum BAU\_2015, aber auch den beiden Szenarien BioE 1 und BioE 2 zu einer sichtbaren Reduzierung des Ausstoßes von Treibhausgasemissionen (vgl. Tabelle 68). Da in diesem Szenario die Anbaufläche von Energiepflanzen im Vergleich zum BioE 1 und BioE 2 den höchsten Umfang erreicht, sind die bei den Konversionsprozessen im nachgelagerten Bereich anfallenden Emissionsmengen auch höher. Insgesamt liegen die Emissionen jedoch nur 9% über dem im BAU\_2015 erreichten Wert und damit niedriger als in den Szenarien BioE 1 und BioE 2. Die Gutschrift für den Energiepflanzenanbau ist im Szenario BioE 3 besonders hoch, da zum einen ein großer Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche für die Bioenergieerzeugung genutzt wird und zum anderen die beim Anbau von KUP und Miscanthus erzielten Gutschriften sehr hoch sind. Insgesamt können so 1,2 t CO<sub>2</sub> e/ha im Boden gebunden werden. Auch wenn die durch den Grünlandumbruch freigesetzten CO<sub>2</sub>-Emissionen, die in diesem Szenario aufgrund des höheren Umbruchumfangs höher sind als in den Szenarien BioE 1 und BioE 2, in die Bilanz aufgenommen werden, ist es weiterhin möglich eine landesweite Treibhausgassenke in Höhe von 0,8 t CO<sub>2</sub> e/ha zu erreichen. In den beiden Szenarien BioE 1 und BioE 2 wurde im Gegensatz dazu zwar eine deutliche Reduktion der Treibhausgasemissionen gegenüber dem BAU\_2015 erreicht, jedoch keine bzw. nur eine sehr geringfügige Treibhausgassenke erzielt.

Die Einführung moderater Naturschutzforderungen führt im Szenario BioE 3\_Nat gegenüber dem BioE 3 dazu, dass die Emissionen insgesamt zurückgehen. Zwar wird im Vergleich zum BioE 3 die Anbaufläche für mehrjährige Kulturen einge-

schränkt und wieder vermehrt einjährige Kulturen angebaut, diese werden jedoch aufgrund der Naturschutzmaßnahmen extensiver bewirtschaftet, so dass im vorgelegerten Bereich insbesondere die verringerte Produktion von Dünger und Pflanzenschutzmitteln zu einer Verminderung des Ausstoßes von Treibhausgasen beitragen. Die verminderte Düngerausbringung und die damit verbundene Reduzierung der Lachgasemissionen begründet die niedrigeren Emissionen in der Landwirtschaft. Da der Umfang der Energiepflanzenproduktion gegenüber dem BioE 3 abnimmt, sinken auch die bei den Konversionsprozessen im nachgelagerten Bereich freigesetzten Emissionen. Infolge der geringeren Bioenergieproduktion sinken aber auch die Gutschriften und die Kohlenstoffspeicherung im Boden und obwohl der Grünlandumbruch verboten ist, ist mit 0,4 t CO<sub>2</sub> e/ha eine sichtbar geringere Kohlenstoffakkumulation möglich als im BioE 3.

Werden die Naturschutzforderungen, wie im Szenario BioE 3\_NatXL, um weitere 40% erhöht, werden die Emissionen im vorgelagerten Bereich, in der Landwirtschaft und im nachgelagerten Bereich gegenüber dem BioE 3\_Nat weiter reduziert und erreichen insgesamt lediglich noch das Niveau des BAU\_2015. Da die durch die Naturschutzforderungen nun sehr starken Einschränkungen in der Pflanzenproduktion wirksam werden und die Bioenergieproduktion aus betriebswirtschaftlicher Sicht an Vorzüglichkeit verliert und daher eingeschränkt wird, sinkt auch die Höhe der Gutschriften für den Energiepflanzenanbau. Dadurch wird insgesamt eine geringere Treibhausgassenke als unter moderaten Naturschutzforderungen erreicht.

**Tabelle 68:** Treibhausgasemissionen in den Szenarien BioE 3, BioE 3\_Nat und BioE 3\_NatXL im Vergleich zum Szenario Bau\_2015 in Baden-Württemberg

		Baden-Württemberg			
		BAU_2015	BioE 3	BioE 3_Nat	BioE 3_NatXL
<b>vorgelagerter Bereich</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	843,0	673,9	606,0	559,3
<b>Landwirtschaft</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	5.268,0	5.305,6	5.231,9	5.080,1
<b>nachgelagerter Bereich</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	47,1	706,6	568,8	529,7
<b>Treibhausgasemissionen insgesamt</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	6.158,1	6.686,1	6.406,7	6.169,1
	t CO <sub>2</sub> e/ha	4,5	4,8	4,6	4,5
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			9%	4%	0%
<b>Gutschrift Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	-517,5	-8.395,6	-6.911,3	-6.449,6
<b>Bilanz mit Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	5.640,5	-1.709,5	-504,6	-280,5
	t CO <sub>2</sub> e/ha	4,1	-1,2	-0,4	-0,2
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-130%	-109%	-105%
<b>CO<sub>2</sub> Freisetzung durch Grünlandumbruch</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	0,0	572,2	0,0	0,0
<b>Bilanz mit Grünlandumbruch und Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	5.640,5	-1.137,3	-504,6	-280,5
	t CO <sub>2</sub> e/ha	4,1	-0,8	-0,4	-0,2
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>			-120%	-109%	-105%

Quelle: eigene Berechnungen

Die in der Ackerbauregion VGG\_1 emittierten Treibhausgase weisen im Szenario BioE 3 eine ähnliche Entwicklung auf, wie auf Landesebene (vgl. Tabelle 69). Insgesamt sind die Veränderungen jedoch etwas ausgeprägter, da die für den Anbau mehrjähriger Kulturen genutzte Fläche einen höheren Anteil einnimmt als in Baden-Württemberg. Aufgrund der extensiveren Bewirtschaftung von KUP und Miscanthus werden sowohl im vorgelagerten Bereich als auch in der Landwirtschaft weniger Treibhausgase freigesetzt als in den Szenarien BioE 1 und BioE 2. Da insgesamt der Umfang des Energiepflanzenanbaus zunimmt, steigen auch die im nachgelagerten Bereich in den Konversionsprozessen freigesetzten Emissionsmengen an. Durch den hohen Umfang des Energiepflanzenanbaus werden im Szenario BioE 3 im Vergleich zu den Szenarien BioE 1 und BioE 2 auch sehr hohe Gutschriften für den Energiepflanzenanbau erzielt, die zu einer Treibhausgassenke in Höhe von 4,2 t CO<sub>2</sub> e/ha führen und auch unter Einbezug des Grünlandumbruchs nur um 0,1 t CO<sub>2</sub> e/ha reduziert werden.

In VGG\_1 ist über 80% der landwirtschaftlichen Nutzfläche Ackerfläche, von der im Szenario BioE 3 fast ein Drittel für den (sehr extensiven) Anbau mehrjähriger Kultu-

ren genutzt wurde. Im Szenario BioE 3\_Nat werden lediglich noch auf rund 10% der Ackerfläche KUP und Miscanthus angebaut. Das heißt im Vergleich zum BioE 3 wird etwa 20% mehr Ackerfläche für den Anbau einjähriger Kulturen genutzt, deren Anbau deutlich intensiver ist als von KUP und Miscanthus. Dieser Effekt wird weder durch moderate, noch durch sehr hohe extensivierende Naturschutzforderungen kompensiert, so dass sowohl im vorgelagerten Bereich als auch in der Landwirtschaft gegenüber dem BioE 3 höhere Emissionen entstehen. Dagegen werden im nachgelagerten Bereich weniger Treibhausgase emittiert, da aufgrund des geringeren Umfangs des Energiepflanzenanbaus auch weniger konversionsbedingte Emissionen entstehen. Während im Szenario BioE 3\_Nat insgesamt mehr Treibhausgasemissionen entstehen als im BioE 3, wird aufgrund der niedrigeren Emissionen aus dem nachgelagerten Bereich im BioE 3\_NatXL sogar eine Reduktion um 2% gegenüber dem BAU\_2015 erreicht. Der infolge der Naturschutzmaßnahmen reduzierte Anbauumfang von Energiepflanzen und die damit verbundene geringere Gutschrift führt dazu, dass insgesamt zwar eine Treibhausgassenke entsteht, diese jedoch um rund 40% niedriger ist als im BioE 3. Unter sehr hohen Naturschutzforderungen im BioE 3\_NatXL verstärkt sich dieser Trend und es werden nur noch 2,3 t CO<sub>2</sub> e/ha gespeichert.

Da der Anbau von KUP und Miscanthus in der Futterbauregion VGG\_5 nur in einem sehr geringen Umfang stattfindet und sich die Anbaufläche von Energiepflanzen gegenüber dem Szenario BioE 2 bzw. BioE 2\_Nat nicht ändert, werden auch die nahezu gleichen Mengen an Treibhausgasen emittiert. Lediglich im vorgelagerten Bereich werden aufgrund der geringeren Dünger- und Pflanzenschutzproduktion weniger Emissionen als in den Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat freigesetzt. Gegenüber dem BAU\_2015 steigen die Emissionen in allen drei Szenarien aufgrund der intensiveren Bewirtschaftung an und im nachgelagerten Bereich werden durch die Konversionsprozesse vermehrt Treibhausgase produziert. Insgesamt werden je nach Szenario 3 - 8% mehr Emissionen als im BAU\_2015 verursacht. Die Gutschrift für den Energiepflanzenanbau ermöglicht es jedoch in allen drei Szenarien die Menge an emittierten Treibhausgasen gegenüber dem BAU\_2015 zu reduzieren. Da durch den Grünlandumbruch im Szenario BioE 3 in der Futterbauregion eine verhältnismäßig große Menge an Treibhausgasen freigesetzt wird, wirkt sich dies auch deutlich auf die Treibhausgasbilanz aus, die sich gegenüber dem BAU\_2015 verschlechtert, während in den beiden Naturschutzszenarien eine Ver-

besserung, wenn auch aufgrund des hohen Viehbesatzes keine Treibhausgasenke, erreicht wird.

Tabelle 69: Treibhausgasemissionen in den Szenarien BioE 3, BioE 3\_Nat und BioE 3\_NatXL im Vergleich zum Szenario Bau\_2015 in VGG\_1 und VGG\_5

	VGG_1				VGG_5			
	BAU_2015	BioE 3	BioE 3_Nat	BioE 3_NatXL	BAU_2015	BioE 3	BioE 3_Nat	BioE 3_NatXL
<b>vorgelagerter Bereich</b>								
1000 t CO <sub>2</sub> e	218,3	164,3	176,1	165,2	10,3	12,0	8,4	8,4
<b>Landwirtschaft</b>								
1000 t CO <sub>2</sub> e	707,1	624,8	652,4	632,9	372,8	396,1	388,1	384,3
<b>nachgelagerter Bereich</b>								
1000 t CO <sub>2</sub> e	9,9	156,2	121,7	115,6	0,2	6,4	4,6	3,8
<b>Treibhausgasemissionen insgesamt</b>								
1000 t CO <sub>2</sub> e	935,3	945,3	950,2	913,7	383,3	414,5	401,1	396,5
t CO <sub>2</sub> e/ha	4,1	4,2	4,2	4,0	7,7	8,4	8,1	8,0
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>		1%	2%	-2%		8%	5%	3%
<b>Gutschrift Energiepflanzen</b>								
1000 t CO <sub>2</sub> e	-114,1	-1.900,0	-1.504,1	-1.432,7	-2,5	-75,3	-53,8	-44,8
<b>Bilanz mit Energiepflanzen</b>								
1000 t CO <sub>2</sub> e	821,2	-954,7	-553,9	-519,0	380,7	339,2	347,3	351,7
t CO <sub>2</sub> e/ha	3,6	-4,2	-2,4	-2,3	7,7	6,8	7,0	7,1
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>		-216%	-167%	-163%		-11%	-9%	-8%
<b>CO<sub>2</sub> Freisetzung durch Grünlandumbruch</b>								
1000 t CO <sub>2</sub> e	0,0	34,9	0,0	0,0	0,0	50,1	0,0	0,0
<b>Bilanz mit Grünlandumbruch und Energiepflanzen</b>								
1000 t CO <sub>2</sub> e	821,2	-919,8	-553,9	-519,0	380,7	389,3	347,3	351,7
t CO <sub>2</sub> e/ha	3,6	-4,1	-2,4	-2,3	7,7	7,9	7,0	7,1
<i>Veränderungen zu BAU_2015</i>		-212%	-167%	-163%		2%	-9%	-8%

Quelle: eigene Berechnungen

## 8 Auswertung der Sensitivitätsanalysen

Anhand von Sensitivitätsanalysen kann untersucht werden, welchen Einfluss einzelne Parameter auf das Modellergebnis haben. Für den Bereich der Naturschutzmaßnahmen wurden die Sensitivitäten bereits ausführlich analysiert, indem in den Szenarien BioE 1\_NatXL und BioE 3\_NatXL auch die durch sehr hohe Naturschutzforderungen ausgelösten Entwicklungstendenzen aufgezeigt wurden.

Da die in Kapitel 7 dargestellten Ergebnisse stark von den exogen vorgegebenen Rahmenbedingungen abhängen, wurden zwei weitere, sehr einflussreiche Parameter variiert. Zum einen wurden die gewählten Preisannahmen verändert, zum anderen wurde die für den Anbau einjähriger Energiepflanzen und die energetische Nutzung von Dauergrünland zulässige Fläche variiert. Das Basisszenario für die Sensitivitätsanalysen ist das Szenario BioE 3, in dem neben dem Anbau einjähriger Energiepflanzen auch die Kultivierung mehrjähriger Energiepflanzen möglich ist (vgl. dazu auch Kapitel 5.5). Da analysiert werden soll, inwiefern sich die Ausdehnung der energetischen Nutzung einjähriger Kulturen und von Dauergrünland auf die Anbaufläche mehrjähriger Kulturen auswirkt, wurde die Fläche von KUP und Miscanthus gegenüber dem BioE 3 nicht verändert.

Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalysen werden im folgenden Kapitel für Baden-Württemberg dargestellt und mit den Ergebnissen des Szenarios BioE 3 verglichen. Der Übersicht halber wird nur auf besonders auffällige Veränderungen in den einzelnen Sensitivitätsrechnungen eingegangen.

### 8.1 Auswirkungen verschiedener Preisannahmen auf die Landnutzung

Für die Sensitivitätsanalysen bezüglich der Preisannahmen wurden mehrere Preise jeweils unter ceteris-paribus-Bedingungen verändert. Ein besonderer Focus lag dabei auf der Veränderung der Anbauumfänge der verschiedenen Kulturen, insbesondere der Energiekulturen, der Produktion von Treibhausgasen und der Energieproduktion (vgl. Tabelle 70).

Die verschiedenen in Kapitel 7 modellierten Szenarien weisen gegenüber dem BAU\_2015 eine erhebliche Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus auf. Um zu überprüfen, ob höhere Nahrungsmittelpreise diesem Trend entgegenwirken wür-

den, wurden diese in zwei Schritten um 20 und 50% erhöht (BioE 3\_Nm+20% und BioE 3\_Nm+50%). Die Erhöhung bewirkt eine Ausdehnung des Marktfruchtanbaus, insbesondere des Getreideanbaus, und eine Reduzierung der Anbaufläche für Energiepflanzen von 51% der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf 40% bzw. 26%. Da durch die Ausdehnung des Getreideanbaus auch mehr Stroh für die Verbrennung zur Verfügung steht, wird die Energieproduktion gegenüber dem BioE 3 lediglich um 4% bzw. 10% eingeschränkt. Dies zeigt, dass die energetische Nutzung von Stroh, das nicht für den Ausgleich der Humusbilanz benötigt wird, einen wichtigen Beitrag zur Energiebereitstellung leisten kann. Während die Treibhausgasbilanz bei einer Erhöhung der Nahrungsmittelpreise um 20% noch einen negativen Wert bzw. eine leichte Senke von 0,2 t CO<sub>2</sub> e/ha erreicht, führt eine Erhöhung um 50% zu einer Freisetzung von 0,4 t CO<sub>2</sub> e/ha, da durch die Einschränkung des Energiepflanzenanbaus auch geringere Gutschriften für die Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Substitution zum Ausgleich der emittierten Treibhausgase erzielt werden.

Da im Szenario BioE 3 die Option des Anbaus mehrjähriger Kulturen, insbesondere von Miscanthus, in einem sehr hohen Umfang in Anspruch genommen wurde, wurde analysiert, ob die ökonomische Vorzüglichkeit auch bei einer Reduzierung des Erzeugerpreises von 7,78 €/dt um 30% (BioE 3\_Mehrj-30%) noch in einem ähnlichen Umfang gegeben ist. Der geringere Preis für Hackschnitzel und Miscanthusstroh bewirkt, dass der Anbau der mehrjährigen Kulturen um 36% gegenüber dem BioE 3 eingeschränkt wird und weniger Grünland umgebrochen wird. Davon profitieren neben den Marktfrüchten auch die einjährigen Energiepflanzen. Der Anbau von Silomais, vor allem für die Vergärung in der Biogasanlage, wird ausgedehnt und da weniger Grünland umgebrochen wird und mehr Klee gras für die Fütterung angebaut wird, wird auch vermehrt Grünland vergoren. Obwohl mehr Getreide als im BioE 3 angebaut wird, wird weniger Stroh energetisch genutzt, sondern für den Ausgleich der Humusbilanz auf der Ackerfläche belassen. Insgesamt wirkt sich die Reduzierung der Anbaufläche der mehrjährigen Kulturen mit einer um 4% geringeren Energieproduktion nur wenig auf die Bioenergiebereitstellung aus. Da insgesamt eine etwas geringere Fläche für den Energiepflanzenanbau genutzt wird und somit geringere Gutschriften erreicht werden, ist die erreichte Treibhausgassenke mit 0,6 t CO<sub>2</sub> e/ha auch etwas geringer. Dennoch zeigt die Sensitivitätsanalyse des Hackschnitzel- und Miscanthusstrohpreises, dass auch unter diesen Rahmenbedingungen der Anbau von mehrjährigen Kulturen noch auf 12% der

Ackerfläche aus betriebswirtschaftlicher Sicht sinnvoll ist. Daraus lässt sich schließen, dass in der Realität weniger die Erzeugerpreise als vielmehr fehlende Absatzmöglichkeiten und langfristige Pachtverträge die Ausdehnung des Anbaus mehrjähriger Kulturen beschränken.

Da bis zum Jahr 2015 eine erhebliche Steigerung des Stickstoffpreises erwartet wird, wurde auch für die Modellierung die im Health Check ausgewiesene Erhöhung um über 100% bis zum Jahr 2015 angenommen. Um zu untersuchen, inwiefern sich die sehr hohen Düngerkosten auf die Anbauumfänge auswirken, wurde der Betriebsmittelpreis für Stickstoffdünger für die Sensitivitätsanalyse um 50% reduziert (BioE 3\_N-50%). Dies bewirkt im Vergleich zum BioE 3 eine Verschiebung der Anbauumfänge von stickstoffextensiveren Kulturen hin zu stickstoffintensiveren Kulturen. Besonders deutlich wird dies beim Getreideanbau: während der Sommergetreideanbau um 35% eingeschränkt wird, wird der Anbau von Wintergetreide um 22% ausgedehnt. Daneben wird auch der Rapsanbau ausgeweitet, wobei dieser vollständig in der Biodieselproduktion zum Einsatz kommt. Im Vergleich zum BioE 3 wird etwas weniger Grünland umgebrochen und die Grünlandnutzung sowohl hinsichtlich der Düngung als auch der Nutzungsfrequenz intensiviert. Im Gegenzug wird der Anbau von Mais, Klee gras, mehrjährigen und sonstigen Kulturen eingeschränkt. Die für den Energiepflanzenanbau genutzte Fläche verändert sich kaum, es kommt jedoch zu einer Verschiebung der Anbauumfänge, zugunsten von Raps und Dauergrünland. Insgesamt ist die Energieproduktion jedoch nur unwesentlich geringer als im BioE 3. Die eingesparten Mengen an Treibhausgasen sind aufgrund des deutlich höheren Düngereinsatzes geringer, es wird jedoch noch eine Treibhausgassenke in Höhe von 0,6 t CO<sub>2</sub> e/ha erreicht. Diese Sensitivitätsanalyse zeigt, dass hohe Stickstoffpreise den Anbau düngerextensiver Kulturen wie Sommergetreide und mehrjähriger Kulturen begünstigen. Sie fördern die Reduzierung der ausgebrachten Düngermengen und der damit verbundenen Lachgasemissionen, wodurch der Beitrag zu Verbesserung der Treibhausgasbilanz höher ist.

Der Milchpreis war in den letzten Jahren deutlichen Schwankungen unterworfen, weshalb eine genaue Vorhersage des Erzeugerpreises für das Jahr 2015 schwierig ist. Daher wurden auch für den Milchpreis in Höhe von 0,31 €/kg zwei Sensitivitätsanalysen durchgeführt, wobei der Preis zunächst um 20% erhöht (BioE 3\_Milch+20%) und anschließend um 20% reduziert (BioE 3\_Milch-20%) wurde. Ein höherer Milchpreis wirkt sich weder auf die Anbauumfänge noch auf die

Bioenergieproduktion in Baden-Württemberg aus. Jedoch steigt die produzierte Milchmenge leicht an. Um die Energieversorgung der Tiere sicherzustellen, kommt dabei vermehrt Mais in der Fütterung zum Einsatz, während das Grünland als Grundfutter verdrängt wird. Gleichzeitig beeinflusst dies auch die Bereitstellung von Bioenergie hinsichtlich der dafür angebauten Kulturen: während der Maisanbau hierfür reduziert wird, wird vermehrt Dauergrünland vergoren.

Sinkt der Milchpreis dagegen um 20% begünstigt dies die Bioenergieproduktion. Die produzierte Milchmenge wird gegenüber dem BioE 3 eingeschränkt und in der Fütterung kommt vermehrt Grünland zum Einsatz. Da im Gegenzug weniger Klee-gras und Silomais verfüttert werden und deren Anbauumfänge leicht eingeschränkt werden, begünstigt dies den Anbau mehrjähriger Kulturen. Die Ausdehnung des Anbaus der mehrjähriger Kulturen, insbesondere Miscanthus, bewirkt zum einen eine leichte Erhöhung der Bioenergiebereitstellung und zum anderen eine weitere Verbesserung der Treibhausgasbilanz und eine Senke in Höhe von 0,9 t CO<sub>2</sub>e/ha.

Da der Silomaisanbau in allen Szenarien gegenüber dem BAU\_2015 um ein vielfaches erhöht wurde, wurden für den Silomaiserzeugerpreis mehrere Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Dabei wurde der Preis zunächst schrittweise um bis zu 50% (BioE 3\_SM-20%, BioE 3\_SM-30%, BioE 3\_SM-40%, BioE 3\_SM-50%) abgesenkt. Um die Auswirkungen sehr hoher Preise für Biogassilomais noch einmal zu verdeutlichen wurde auch eine Erhöhung des Preises um weitere 20% modelliert (BioE 3\_SM+20%). Schon eine Reduzierung des Silomaispreises um 20% führt dazu, dass weniger Grünland umgebrochen wird. Dies bestätigt den auch in der Realität zu beobachtenden Trend, dass die Ausdehnung des Silomaisanbaus aufgrund hoher Erzeugerpreise zulasten des Grünlandes erfolgt. Wie Tabelle 70 zeigt wird der Silomaisanbau mit sinkenden Erzeugerpreisen eingeschränkt. Dabei betrifft dies nur den für die Biogasanlage erzeugten Silomais, während vermehrt Silomais verfüttert wird. Die übrigen Kulturen profitieren von der Einschränkung des Silomaisanbaus. Dies wirkt sich auch auf die Bioenergiebereitstellung aus. Die bereitgestellte Energiemenge sinkt und auch die Zusammensetzung ändert sich. Die Biogasproduktion wird eingeschränkt, gleichzeitig wird die Biodieselproduktion erheblich ausgedehnt und die Wärmebereitstellung aus Stroh und Hackschnitzeln bzw. Miscanthusstroh nimmt ebenfalls zu. Insgesamt wird lediglich noch rund 40% der landwirtschaftlichen Nutzfläche für den Anbau von Energiepflanzen genutzt, was neben der geringeren Bioenergieproduktion aber auch zur Folge hat, dass eine

Einsparung von Treibhausgasen nicht mehr möglich ist und je nach Szenario Emissionen in Höhe von 0,2 – 0,3 t CO<sub>2</sub> e/ha entstehen.

Wird der Preis für Silomais dagegen um weitere 20% erhöht, führt dies hinsichtlich der Anbauumfänge zu der entgegengesetzten Entwicklung. Der Grünlandumbruch wird bis zur vorgegebenen Grenze von 5% des Grünlandanteils ausgedehnt. Gegenüber dem BioE 3 wird der Silomaisanbau weiter ausgedehnt und nimmt landesweit 38% der Ackerfläche ein. Gleichzeitig wird mit 3% nur noch ein geringer Anteil des Silomais verfüttert. Um die Grundfuttersversorgung weiter sicherzustellen kommen vermehrt Dauergrünland und Klee gras in der Fütterung zum Einsatz, während die Anbauumfänge von Raps, mehrjährigen und sonstigen Kulturen eingeschränkt werden. Obwohl aufgrund des geringeren Anbauumfangs von Getreide weniger Stroh für die Verbrennung zur Verfügung steht, der Rapsanbau für die Biodieselproduktion leicht rückläufig ist und auch weniger Grünlandaufwuchs vergoren wird, wird die dadurch geringere Bioenergieproduktion durch die Vergärung von Silomais überkompensiert und die Energieproduktion gegenüber dem BioE 3 leicht erhöht. Insgesamt wird die Anbaufläche für Energiepflanzen gegenüber dem BioE 3 ausgedehnt und nimmt 54% der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Anspruch. Da zum einen die durch den Energiepflanzenanbau erzielten Gutschriften für die Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Substitution zunehmen und aufgrund der höheren Gärrestmenge weniger Dünger produziert wird, ist es möglich die Menge an eingesparten Treibhausgasen zu erhöhen und eine Treibhausgassenke in Höhe von 0,9 t CO<sub>2</sub> e/ha zu erreichen.

Insgesamt zeigen die Sensitivitätsanalysen hinsichtlich der Erzeuger- und Betriebsmittelpreise, dass sich vor allem eine Veränderung der Nahrungsmittel- und der Silomaispreise sowie der Preise für mehrjährige Kulturen auf die Betriebsorganisation auswirken und die Bioenergieproduktion sowie die Treibhausgasbilanz beeinflussen. Bei hohen Nahrungsmittelpreisen wird die Ackerfläche überwiegend für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion genutzt und auch das Grünland kommt überwiegend in der Fütterung zum Einsatz, da die Veredlung und damit Milch- und Fleischproduktion dann ökonomisch vorteilhafter ist als die Vergärung in der Biogasanlage. Niedrigere Erzeugerpreise für mehrjährige Kulturen und Biogassilomais bedingen einen geringen Umfang des Grünlandumbruchs. Daraus lässt sich schließen, dass der Grünlandumbruch insbesondere zugunsten des Anbaus von mehrjährigen Kulturen und Silomais für die energetische Verwertung durchgeführt wird.

Tabelle 70: Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen für die Preisannahmen in Baden-Württemberg

	BioE 3	BioE 3 _Nm+20%	BioE 3 _Nm+50%	BioE 3 _Mehrf-30%	BioE 3 _N-50%	BioE 3 _Milch+20%	BioE 3 _Milch-20%	BioE 3 SM-20%	BioE 3 SM-40%	BioE 3 SM-50%	BioE 3 SM+20%
<b>Ackerfläche</b>	863.401	863.981	864.540	859.698	862.104	863.400	863.401	856.183	856.482	856.481	864.165
<i>Veränderungen zu BioE 3</i>	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-1%	-1%	-1%	0%
<b>Grünlandfläche</b>	518.119	517.539	516.979	521.820	519.415	518.119	518.119	525.336	525.038	525.038	517.285
<i>Veränderungen zu BioE 3</i>	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	1%	1%	1%	0%
<b>davon Grünland Fütterung</b>	253.754	269.203	368.057	253.610	251.488	251.851	257.250	252.513	252.330	251.901	256.412
<i>Veränderungen zu BioE 3</i>	42%	466.973	550.924	359.995	337.927	329.922	328.938	488.386	489.404	489.666	296.762
<b>Maais</b>	284.471	159.675	124.637	306.832	278.803	284.710	282.824	47.852	22.540	20.686	325.581
<i>Veränderungen zu BioE 3</i>	-44%	-44%	-56%	8%	-2%	0%	-1%	-83%	-92%	-93%	14%
<b>Raps</b>	14.855	10.961	8.268	14.335	15.215	14.855	14.855	71.945	96.678	96.136	14.202
<i>Veränderungen zu BioE 3</i>	-26%	-26%	-44%	-4%	2%	0%	0%	384%	551%	547%	-4%
<b>Kleegras</b>	69.400	68.484	69.889	71.123	68.479	69.092	68.810	69.260	69.119	69.472	70.570
<i>Veränderungen zu BioE 3</i>	-1%	-1%	1%	2%	-1%	0%	-1%	0%	0%	0%	2%
<b>Sonstiges</b>	6.044	6.737	6.768	6.357	5.324	6.044	6.044	12.714	12.714	12.837	5.994
<i>Veränderungen zu BioE 3</i>	11%	11%	12%	5%	-12%	0%	0%	110%	110%	112%	-1%
<b>Mehnjährige Kulturen</b>	158.698	151.082	103.986	100.988	156.288	158.709	161.861	165.958	165.958	165.958	151.056
<i>Veränderungen zu BioE 3</i>	-5%	-5%	-34%	-36%	-2%	0%	2%	5%	5%	5%	-5%
<b>Strohverbrennung</b>	322.921	458.309	549.236	238.961	318.722	322.978	321.994	484.102	485.111	485.373	289.098
<b>Raps (Biodiesel)</b>	14.855	10.961	8.268	14.335	15.215	14.855	14.855	71.945	96.678	96.136	14.202
<b>Mais (Biogas)</b>	270.041	143.000	104.074	293.093	263.759	269.561	270.315	31.223	5.436	5.153	315.256
<b>Grünland (Biogas)</b>	264.365	248.337	148.922	268.210	267.927	266.268	260.870	272.823	272.708	273.136	260.873
<b>Energieproduktion</b>	86.785	83.638	78.404	83.122	86.489	86.729	87.244	78.777	77.331	77.313	87.657
<b>Anteil am Primärenergiebedarf (in Form von Nettoenergie)</b>	5,41%	5,22%	4,89%	5,18%	5,39%	5,41%	5,44%	4,91%	4,82%	4,82%	5,47%
<b>Treibhausgasbilanz mit Grünlandumbbruch und Energiepflanzen</b>	-1.137	-289	557	-874	-771	-1.123	-1.208	233	429	435	-1.307

Quelle: eigene Berechnungen

## 8.2 Auswirkungen unterschiedlicher Flächenanteile für den Energiepflanzenanbau auf die Landnutzung

Mit den Sensitivitätsanalysen bezüglich der Anbaufläche für Energiepflanzen soll untersucht werden, inwiefern eine Verdrängung der mehrjährigen Energiekulturen durch einjährige stattfindet und wie stark sich eine Ausdehnung der Energiepflanzenanbaufläche auf die Bioenergieproduktion und die Möglichkeit Treibhausgase einzusparen auswirkt. Zu beachten ist in diesen Analysen, dass sich die Beschränkung der Anbaufläche lediglich auf eine Einschränkung des Anbaus von einjährigen Energiepflanzen und die energetische Grünlandnutzung gegenüber dem BioE 3 bezieht, jedoch nicht auf die Strohverbrennung und die Anlage von KUP- und Miscanthuskulturen. Während der Anbau von einjährigen Energiepflanzen und die energetische Nutzung von Dauergrünland im Szenario BioE 3 nicht durch Anbau Grenzen eingeschränkt wird, wird sie in den im Folgenden beschriebenen Sensitivitätsanalysen schrittweise von 10 auf 50% angehoben (BioE 3\_Energiepfl\_10%, BioE 3\_Energiepfl\_20%, BioE 3\_Energiepfl\_30%, BioE 3\_Energiepfl\_40%, BioE 3\_Energiepfl\_50%).

Im Szenario BioE 3\_Energiepfl\_10% wird etwas mehr Grünland als im BioE 3 umgebrochen (vgl. Tabelle 71). Auffällig ist, dass hier gleichzeitig auch die größte Ausdehnung des Anbaus mehrjähriger Kulturen stattfindet. Dies zeigt erneut, dass der Anbau von KUP und Miscanthus aus ökonomischer Sicht über eine hohe Vorzüglichkeit verfügt. In Folge der starken Beschränkung des Energiepflanzenanbaus wird der Anbau von Marktfrüchten deutlich ausgedehnt, während der Silomaisanbau stark eingeschränkt wird. Im Gegensatz zum BioE 3 wird hier Raps für die Nahrungsmittelproduktion angebaut und nur rund 16% des Rapses wird für die Biodieselproduktion eingesetzt. Das Dauergrünland wird überwiegend verfüttert und im Vergleich zum BioE 3 durch einen erheblich höheren Anteil an Silomais und Klee gras ergänzt.

Einhergehend mit der Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus zeigt sich im Grünland eine interessante Entwicklung: Während bei einem geringen Energieflächenanteil von nur 10% die durchschnittliche Stickstoffdüngung von Futtergrünland bei rund 77 kg N/ha liegt und vom energetisch genutzten Grünland bei 121 kg N/ha, nähert sich die Düngintensität der beiden Nutzungsoptionen mit zunehmender

energetischer Grünlandnutzung an, so dass im Szenario BioE 3 das Futtergrünland mit durchschnittlich 92 kg N/ha und das für die Vergärung vorgesehene Grünland mit 107 kg N/ha gedüngt wird.

Mit der Möglichkeit den Anbau einjähriger Energiepflanzen und die energetische Grünlandnutzung weiter auszudehnen sinkt die Anbaufläche für Getreide stark, während der Silomaisanbau zunimmt. Auch der Umfang des Kleegrasanbaus wird sichtbar eingeschränkt. Um den Grundfutterbedarf dennoch zu decken, wird, wie erwähnt, das Futtergrünland intensiver genutzt. Der Anbauumfang der sonstigen Kulturen wie Zuckerrüben und Kartoffeln nimmt ab dem Szenario BioE 3\_Energiepfl\_40% auf eine konstante Anbaufläche von ca. 6.000 ha ab.

Da die Anbaufläche für Getreide aufgrund der Einschränkungen für den Energiepflanzenanbau im Szenario BioE 3\_Energiepfl\_10% gegenüber dem BioE 3 um 49% ausgedehnt wird, nimmt auch das für die Verbrennung zur Verfügung stehende Stroh zu und rund die Hälfte der gesamten Bioenergieproduktion wird in Form von Wärme durch die Strohverbrennung bereitgestellt. Die Option den Energiepflanzenanbau auszudehnen bewirkt, dass zum einen aufgrund der Einschränkungen im Getreideanbau weniger Stroh für die Verbrennung bereitgestellt wird und zum anderen der Anbau der mehrjährigen Kulturen mit zunehmender Anbaufläche für einjährige Kulturen und der Nutzung von Dauergrünland auf einen konstanten Wert von rund 158.700 ha reduziert wird. Insgesamt wird zwar weniger Fläche mit Raps bestellt, der in die Biodieselproduktion fließende Raps nimmt jedoch zu und ab einem möglichen Energiepflanzenanbau auf 20% der Landnutzungsfläche (BioE 3\_Energiepfl\_20%) wird der Raps vollständig für die Biodieselproduktion genutzt. Die Anbaufläche für Silomais, der für die Vergärung in der Biogasanlage vorgesehen ist, wird mit zunehmender Anbauoption für Energiepflanzen deutlich ausgedehnt, während sie für die Fütterung eingeschränkt wird. Dabei steigt der Anteil des Silomaises, der in der Biogasanlage genutzt wird, von 80%, wenn der Energiepflanzenanbau nur auf 10% der Landnutzungsfläche zulässig ist (BioE 3\_Energiepfl\_10%) auf 95% im Szenario BioE 3\_Energiepfl\_50%. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch für die Dauergrünlandnutzung. Hier wird im Szenario BioE 3\_Energiepfl\_10% lediglich 9% energetisch genutzt, während es im BioE 3\_Energiepfl\_50% bereits 49% sind.

Obwohl die für den Energiepflanzenanbau genutzte Fläche vom Szenario BioE 3\_Energiepfl\_10% bis hin zum BioE 3 stark zunimmt, steigt die Energieproduktion nicht im gleichen Maße an. Während im BioE 3\_Energiepfl\_10% bereits rund 4,8% des Primärenergiebedarfs durch Bioenergie gedeckt werden können, steigt dieser im BioE 3 lediglich um etwa 14% auf etwa 5,4% an und beansprucht dafür über 30% mehr Fläche. Die Gutschriften für die Treibhausgaseinsparungen steigen mit zunehmender Energiepflanzenanbaufläche an, und bereits im Szenario BioE 3\_Energiepfl\_20% kann eine leichte Senke erreicht werden.

Tabelle 71: Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen für die Anbauumfänge von Energiepflanzen in Baden-Württemberg

		BioE 3	BioE 3_10%	BioE 3_20%	BioE 3_30%	BioE 3_40%	BioE 3_50%
<b>Ackerfläche</b>							
<i>Veränderungen zu BioE 3</i>	ha	863.401	863.742 0%	863.332 0%	863.332 0%	863.331 0%	863.332 0%
<b>Grünlandfläche</b>							
<i>Veränderungen zu BioE 3</i>	ha	518.119	517.709 0%	518.119 0%	518.119 0%	518.119 0%	518.119 0%
<b>davon Grünland Fütterung</b>	ha	253.754	471.638	390.059	325.570	275.756	263.100
<b>Getreide</b>							
<i>Veränderungen zu BioE 3</i>	ha	329.864	490.434 49%	478.824 45%	445.063 35%	389.328 18%	343.014 4%
<b>Mais</b>							
<i>Veränderungen zu BioE 3</i>	ha	284.471	89.174 -69%	120.657 -58%	170.133 -40%	224.213 -21%	272.810 -4%
<b>Raps</b>							
<i>Veränderungen zu BioE 3</i>	ha	14.855	13.040 -12%	7.307 -51%	9.093 -39%	13.048 -12%	13.229 -11%
<b>Kleegras</b>							
<i>Veränderungen zu BioE 3</i>	ha	69.400	74.504 7%	70.564 2%	68.268 -2%	68.703 -1%	69.536 0%
<b>Sonstiges</b>							
<i>Veränderungen zu BioE 3</i>	ha	6.044	26.592 340%	16.196 168%	7.658 27%	6.044 0%	6.044 0%
<b>Mehnjährige Kulturen</b>							
<i>Veränderungen zu BioE 3</i>	ha	158.698	169.997 7%	169.784 7%	163.118 3%	161.996 2%	158.698 0%
<b>Strohverbrennung</b>	ha	322.921	487.278	466.424	436.005	383.181	336.185
<b>Raps (Biodiesel)</b>	ha	14.855	2.062	5.699	9.093	13.048	13.229
<b>Mais (Biogas)</b>	ha	270.041	70.899	104.303	154.710	209.181	258.018
<b>Grünland (Biogas)</b>	ha	264.365	46.070	128.060	192.549	242.363	255.019
<b>Energieproduktion</b>	TJ	86.785	76.161	79.719	83.128	85.311	86.341
<b>Anteil am Primärenergiebedarf (in Form von Nettoenergie)</b>		5,41%	4,75%	4,97%	5,19%	5,32%	5,39%
<b>Treibhausgasbilanz mit Grünlandumbrech und Energiepflanzen</b>	1000 t CO <sub>2</sub> e	-1.137	377	-10	-463	-846	-1.059

Quelle: eigene Berechnungen

## **9 Diskussion und Schlussfolgerungen**

Ziel dieser Arbeit war es, den Anbau von Energiepflanzen in Baden-Württemberg mit dem Regionalmodell EFEM (Economic Farm Emission Model) aus ökonomischer und ökologischer Sicht zu bewerten. Dabei lag ein besonderer Fokus auf der Veränderung der Anbaustruktur, den Einkommenseffekten, der Bilanzierung der Treibhausgasemissionen und dem potenziellen Beitrag zur Energieversorgung.

Dazu wurden mehrere Szenarien modelliert, mit denen gezeigt werden konnte, welche Auswirkungen die Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus und die Implementierung von verbesserten Naturschutzmaßnahmen auf die Landwirtschaft in Baden-Württemberg haben. Die Modellergebnisse zeigten, dass die angenommenen Rahmenbedingungen je nach Region sehr unterschiedliche Auswirkungen auf die Betriebsorganisation haben. Im Folgenden wird die für die modellierten Szenarien als Basis dienende Ausgangssituation (BAU\_2015) zusammenfassend dargestellt und daran anschließend ein Überblick über die Ergebnisse der einzelnen Szenarien gegeben und diese diskutiert. Die Auswirkungen verbesserter Naturschutzmaßnahmen auf die Landwirtschaft in Baden-Württemberg werden in Kapitel 9.2 noch einmal gesondert interpretiert. Anschließend wird das verwendete Modell beurteilt und Ansätze für eine mögliche Weiterentwicklung aufgezeigt.

### **9.1 Zusammenfassende Darstellung und Bewertung der modellierten Szenarioergebnisse**

Um die Reaktion der Landwirtschaft in Baden-Württemberg auf veränderte Rahmenbedingungen hinsichtlich des Energiepflanzenanbaus und verbesserter Naturschutzbedingungen möglichst genau modellieren zu können, ist eine hohe Abbildungsgüte des Modells entscheidend. Um diese zu gewährleisten, wurde EFEM auf das gewählte Referenzjahr 2003 kalibriert. Die Modellierung der für Baden-Württemberg relevanten Produktionsverfahren der Dauergrünlandbewirtschaftung, des Ackerbaus und der Tierhaltung auf einzelbetrieblicher Ebene und die anschließende Hochrechnung auf Vergleichsgebietsgruppenebene sowie auf Landesebene weist eine hinreichend genaue Übereinstimmung mit der Statistik auf.

Die Referenzsituation 2003 wurde anschließend auf das Jahr 2015 projiziert (BAU\_2015), um zum einen den Einfluss der sich in jüngster Vergangenheit stark

geänderten agrarpolitischen Rahmenbedingungen auszuschließen und zum anderen möglichst aktuelle Entwicklungen darzustellen.

Um der Themenstellung der vorliegenden Arbeit gerecht zu werden, wurden die bereits in EFEM integrierten Bioenergieverfahren um die energetische Nutzung von Dauergrünland sowie die mehrjährigen Kulturen Pappeln, Weiden und Miscanthus erweitert und aktualisiert. Ebenfalls implementiert wurden die vom ILPÖ ausgearbeiteten Maßnahmen, die dem Naturschutz dienen und auf landwirtschaftlich genutzten Acker- und Grünlandflächen umgesetzt werden können.

Aufbauend auf die Ausgangssituation BAU\_2015 wurden mehrere Szenarien formuliert, deren Ziel die Analyse der Konflikte und Synergieeffekte ist, die durch eine Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus und der Naturschutzvorgaben entstehen. Zunächst wurde die Basissituation um moderate (BAU\_Nat) sowie sehr hohe (BAU\_NatXL) Naturschutzmaßnahmen erweitert, um deren Auswirkungen ohne eine Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus zu untersuchen. Daran anschließend wurden drei weitere Szenariogruppen formuliert, in denen zunächst die potenzielle Anbaufläche für Energiepflanzen ausgedehnt wurde (BioE 1 und BioE 2), das Energiepflanzenspektrum um Miscanthus und Kurzumtriebsplantagen (KUP) erweitert wurde (BioE 3) und anschließend moderate Naturschutzforderungen implementiert wurden (BioE 1\_Nat, BioE 2\_Nat, BioE 3\_Nat). Für die beiden Szenarien BioE 1 und BioE 3 wurden die moderaten Naturschutzforderungen um weitere 40% erhöht, um den durch Naturschutzmaßnahmen ausgelösten Entwicklungstrend zu analysieren (vgl. Tabelle 72). Der Fokus dieses Kapitels liegt vor allem auf der Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus und den damit verbundenen Änderungen der Anbauumfänge, Deckungsbeiträge, emittierten Treibhausgase und der Bioenergieerzeugung. In Tabelle 73 sind die wichtigsten Ergebnisse der einzelnen Szenarien aufgeführt und werden dem BAU\_2015 gegenübergestellt.

Tabelle 72: Übersicht über die Szenarienannahmen

		Anbaufläche Energiepflanzen	zur Verfügung stehende Energiepflanzen	Naturschutzannahmen
<b>Business- as-usual</b>	<b>BAU_2015</b>	5% der Ackerfläche	Raps, Silomais	gesetzliche Vorgaben
	<b>BAU_Nat</b>			moderate, aus naturschutzfachlicher Sicht wünschenswerte Maßnahmen
	<b>BAU_NatXL</b>			Erhöhung der moderaten Annahmen um 40%
<b>Szenario- gruppe 1</b>	<b>BioE 1</b>	30% der landwirtschaftlichen Nutzfläche	Raps, Silomais, Klee gras, Getreide (Körner und Stroh), Dauergrünland	gesetzliche Vorgaben
	<b>BioE 1_Nat</b>			moderate, aus naturschutzfachlicher Sicht wünschenswerte Maßnahmen
	<b>BioE 1_NatXL</b>			Erhöhung der moderaten Annahmen um 40%
<b>Szenario- gruppe 2</b>	<b>BioE 2</b>	gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche		gesetzliche Vorgaben
	<b>BioE 2_Nat</b>			moderate, aus naturschutzfachlicher Sicht wünschenswerte Maßnahmen
<b>Szenario- gruppe 3</b>	<b>BioE 3</b>	gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche inkl. Anbau mehnjähriger Kulturen auf 30% der geeigneten Ackerfläche	Raps, Silomais, Klee gras, Getreide (Körner und Stroh), Dauergrünland, KUP, Miscanthus	gesetzliche Vorgaben
	<b>BioE 3_Nat</b>			moderate, aus naturschutzfachlicher Sicht wünschenswerte Maßnahmen
	<b>BioE 3_NatXL</b>			Erhöhung der moderaten Annahmen um 40%

Quelle: eigene Darstellung

In der Ausgangssituation BAU\_2015, in der mindestens die gesetzlichen Naturschutzaufgaben eingehalten werden müssen und 5% der Ackerfläche für den Energiepflanzenanbau genutzt werden können, wird in Baden-Württemberg auf rund 70% der Ackerfläche Getreide angebaut, auf 10% Mais, auf 11% Winterraps und auf 7% Klee gras. Die übrige Fläche wird für den Zuckerrüben- und Kartoffelanbau genutzt oder stillgelegt. Der Energiepflanzenanbau spielt in diesem Szenario noch eine untergeordnete Rolle, da er auf 5% der Ackerfläche beschränkt ist und trägt mit 0,27% nur in geringem Umfang zur Deckung des Primärenergiebedarfs bei. Auf regionaler Ebene zeigen sich deutliche Unterschiede bei der Nutzung der Ackerfläche. Während die für Baden-Württemberg beschriebene Entwicklung auch in einer typischen Ackerbauregion wie dem Unterland/Gäue (VGG\_1) zu beobachten ist, wird in einer Futterbauregion wie dem Allgäu (VGG\_5) lediglich auf 20% der Ackerfläche Getreide, jedoch auf über 60% Mais und auf fast 20% Klee gras angebaut.

Das Grünland wird aufgrund der an die Pflege gebundenen Zahlungsansprüche vollständig genutzt. Da die energetische Nutzung jedoch noch nicht zulässig ist und die Grünlandausstattung der Betriebe sehr gut ist, wird es sowohl landesweit als auch in den einzelnen Regionen überwiegend sehr extensiv bewirtschaftet.

Die Anzahl der gehaltenen Tiere unterscheidet sich kaum von den in der Statistik ausgewiesenen Zahlen. In der Milchkuhhaltung gelangen die intensiveren Halteverfahren in die Lösung, da die Milcherzeugung aus ökonomischer Sicht sehr attraktiv ist, jedoch die Stallkapazitäten begrenzend auf die Anzahl der gehaltenen Tiere wirken. Dadurch nimmt die jährliche Milchproduktion im Vergleich zur Referenz\_2003 landesweit um über 20% zu, wobei sich auch hier deutliche regionale Unterschiede zeigen.

In Baden-Württemberg werden Deckungsbeiträge von rund 1.300 €/ha erzielt. In einer Futterbauregion wie dem VGG\_5 liegen die Deckungsbeiträge aufgrund der hohen Einkommensbeiträge aus der Tierhaltung um etwa zwei Drittel über dem landesweiten Schnitt, während sie im VGG\_1 nur etwa 75% des landesweiten Wertes erreichen. Je nach Region stammen 2 bis 6% des Deckungsbeitrages aus der MEKA-Förderung. Landesweit werden im BAU\_2015 etwa 62 Mio. € für MEKA-Maßnahmen in Anspruch genommen. Da der gewählte Optimierungsansatz den Deckungsbeitrag maximiert und daher oft intensivere Produktionsverfahren ohne MEKA-Förderung bevorzugt werden, bzw. auch nicht alle verfügbaren MEKA-Maßnahmen in EFEM integriert sind, liegt die in Anspruch genommene Förderung unter den in den Jahren 2003 (148,1 Mio. €), aber auch 2007 (97,2 Mio. €) ausbezahlten Förderbeträgen.

Die flächenbezogenen Treibhausgasemissionen liegen in Baden-Württemberg ohne Berücksichtigung der Gutschriften für die Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Substitution durch den Energiepflanzenanbau bei 4,5 t CO<sub>2</sub> e/ha. Werden die Gutschriften in die Bilanz aufgenommen, werden noch 4,1 t CO<sub>2</sub> e/ha emittiert. In der Ackerbauregion werden aufgrund der geringen Viehdichte insgesamt nur 4,1 t CO<sub>2</sub> e/ha produziert, die durch die Gutschriften für den Energiepflanzenanbau um 0,5 t CO<sub>2</sub> e/ha reduziert werden und damit stärker zurückgehen als auf Landesebene, da in VGG\_1 im Verhältnis ein größerer Teil der Fläche (Ackerfläche) für den Energiepflanzenanbau genutzt werden kann. Dagegen werden in der Futterbauregion VGG\_5 aufgrund der sehr hohen Viehdichte und den daraus resultierenden Emissionen mit 7,7 t CO<sub>2</sub>

e/ha deutlich mehr Treibhausgase freigesetzt. Da der Anbau von Energiepflanzen in dieser Region nur in einem sehr geringen Umfang stattfindet, trägt er auch kaum zur Verbesserung der Treibhausgasbilanz bei.

Im BAU\_2015 bewirkt die Implementierung verbesserter Naturschutzmaßnahmen (**BAU\_Nat**), die teilweise erfordern die Fläche aus der Nutzung zu nehmen, dass der Energiepflanzenanbau ebenso eingeschränkt wird, wie der Anbau der meisten Marktfrüchte (vgl. Tabelle 73). Gleichzeitig kommt es zu einer Verschiebung in der Grundfutterproduktion. In der Grünlandbewirtschaftung lösen die Extensivierungsmaßnahmen eine sehr unterschiedliche Entwicklung aus: Zwar werden die Zielflächen entsprechend der Naturschutzforderungen extensiviert, gleichzeitig wird das übrige Grünland jedoch deutlich intensiviert, um weiterhin ausreichend hochwertiges Grundfutter zur Verfügung zu stellen. Eine Erhöhung der Naturschutzforderungen um 40% im Szenario **BAU\_NatXL** verstärkt die für das BAU\_Nat beschriebenen Entwicklungen überwiegend. Die durch die Naturschutzrestriktionen ausgelösten Änderungen, lassen sich sowohl auf Landesebene als auch auf regionaler Ebene, wenn auch in unterschiedlich starken Ausprägungen, beobachten.

Infolge der einzuhaltenden Naturschutzforderungen wird sowohl auf Landesebene als auch in den beiden Regionen Unterland/Gäue und Allgäu ein etwas geringerer Deckungsbeitrag erzielt als im BAU\_2015. Da ein Teil der Naturschutzmaßnahmen durch MEKA förderbar ist und auch der Zwischenfruchtanbau stark zunimmt, wird überwiegend eine höhere MEKA-Förderung in Anspruch genommen, die den Rückgang der Deckungsbeiträge jedoch nur teilweise ausgleicht.

Interessant ist, dass allein durch die eingeführten verbesserten Naturschutzmaßnahmen und die damit verbundene extensivere Flächenbewirtschaftung im landesweiten Durchschnitt 4 bzw. 7% der Treibhausgasemissionen eingespart werden können. Die erzielten Einsparungen sind in einer Ackerbauregion wie dem VGG\_1 etwas höher, während in einer Futterbauregion wie dem VGG\_5 aufgrund der hohen Viehdichte eine Flächenextensivierung kaum Einfluss auf die emittierten Treibhausgase hat.

Die Tierhaltung wird durch die Naturschutzforderungen nur unwesentlich beeinflusst. Infolge sehr hoher Naturschutzforderungen wird die Mutterkuhhaltung im landesweiten Durchschnitt in allen „XL-Szenarien“ um 10% eingeschränkt, da die Grundfutterbereitstellung von deutlichen Restriktionen betroffen ist.

Die Option den Energiepflanzenanbau gegenüber dem BAU\_2015 deutlich auszuweiten und die Erweiterung des Energiepflanzenspektrums haben zur Folge, dass die landesweit für den Anbau von Energiepflanzen genutzte Fläche in allen Szenarien deutlich zunimmt, während der Anbau von Marktfrüchten einen klaren Rückgang verzeichnet, wodurch insgesamt eine weniger abwechslungsreiche Fruchtfolge entsteht. Daneben wird der in den Biomasseszzenarien BioE 1, BioE 2 und BioE 3 im gesetzlich vorgegebenen Rahmen zulässige Grünlandumbruch in hohem Umfang genutzt, was die Vorzüglichkeit der Ackerfläche gegenüber dem Dauergrünland verdeutlicht. Diese Entwicklungen zeigen sich bereits im Szenario BioE 1, in dem die Option gegeben ist 30% der landwirtschaftlichen Nutzfläche für den Energiepflanzenanbau zu nutzen und diese auch vollständig ausgeschöpft wird. Noch deutlicher wird dies, wenn die gesamte landwirtschaftliche Fläche für den Energiepflanzenanbau genutzt werden kann, wie in den beiden Biomasseszzenarien BioE 2 und BioE 3. In diesen beiden Szenarien wird rund 40 bzw. 50% der Fläche für die Bioenergieerzeugung genutzt. Die Bioenergieerzeugung erfolgt in allen Szenarien in erster Linie durch die Getreidestrohverbrennung, die Vergärung von Mais und im Szenario BioE 3 auch durch die Verbrennung von Miscanthusstroh. Insgesamt wird in Baden-Württemberg je nach Szenario bis zu 40% der Ackerfläche für den Anbau von Silomais genutzt und dieser zu über 90% in der Biogasanlage vergoren. Dies entspricht der auch in der Realität zu beobachtenden Zunahme des Maisanbaus. Da weniger Mais verfüttert wird, wird sichtbar mehr Klee gras angebaut und die Grünlandnutzung intensiviert, um ausreichend Grundfutter zur Verfügung zu stellen. Zur Intensivierung des Grünlandes trägt daneben aber auch die Option bei, das Grünland für die Bioenergieproduktion einzusetzen. Es findet zu rund 40 - 50% Verwendung in der Biogasanlage.

Insgesamt zeigt sich, dass die unter den gesetzten Rahmenbedingungen hohe Vorzüglichkeit des Energiepflanzenanbaus gegenüber dem Marktfruchtanbau in einer Ackerbauregion wie dem Unterland/Gäue bedeutend höher ist als in einer Futterbauregion wie dem Allgäu, in der die Milchviehhaltung aus betriebswirtschaftlicher Sicht nach wie vor sinnvoller ist und die Ackerfläche bevorzugt für die Futterproduktion eingesetzt wird.

Der Anbau der mehrjährigen Kulturen Miscanthus und Kurzumtriebsplantagen wird aus wissenschaftlicher Sicht als besonders effiziente Möglichkeit der Bioenergieerzeugung empfohlen und ist in der Szenariogruppe 3 in einem vorgegebenen Um-

fang möglich. Im Szenario BioE 3 wird die vorgegebene maximale Anbaufläche landesweit zu 80% ausgenutzt und somit 18% der Ackerfläche für den Anbau mehrjähriger Kulturen, insbesondere Miscanthus, genutzt. Dies führt neben der weiteren Verdrängung von Marktfrüchten im Vergleich zum BioE 2 auch zu einer Verdrängung der einjährigen Energiekulturen, wobei sich deutliche regionale Unterschiede zeigen. In einer Futterbauregion wie dem Allgäu ist der Anbau mehrjähriger Kulturen unbedeutend, während die energetische Grünlandnutzung eine wichtige Rolle spielt und die knappe Ackerfläche bevorzugt zur Grundfutterproduktion für die aus ökonomischer Sicht vorzüglichere Milchkuhhaltung eingesetzt wird. In einer Ackerbauregion wie dem Unterland/Gäue werden hingegen auf 28% der Ackerfläche mehrjährige Kulturen angebaut. Das entspricht fast der insgesamt möglichen Anbaufläche und zeigt, dass in einer Ackerbauregion insbesondere der Anbau von Miscanthus dem Anbau einjähriger Energiepflanzen unter den vorgegebenen Rahmenbedingungen aus ökonomischer Sicht deutlich überlegen ist und in der Realität weniger die Erzeugerpreise, als vielmehr fehlende Absatzmöglichkeiten, langfristige Pachtverträge und die fehlende finanzielle Absicherung von politischer Seite, wie sie beispielsweise für die Biogaserzeugung etabliert ist, eine Anbauausdehnung behindern.

Die Einschränkung der Ackerfläche zugunsten von Naturschutzflächen bewirkt landesweit und auch auf regionaler Ebene, dass in den moderaten Naturschutzszenarien (BioE 1\_Nat, BioE 2\_Nat und BioE 3\_Nat) nahezu alle Kulturen im Vergleich zu den korrespondierenden Biomasseszenarien in ihren Anbauumfängen eingeschränkt werden. Eine Ausnahme bildet der Silomais, dessen Anbaufläche überwiegend zugunsten der Energieerzeugung ausgedehnt wird. Im Szenario BioE 3\_Nat wird die potenzielle Anbaufläche für mehrjährige Kulturen gegenüber dem BioE 3 landesweit um rund 75% gegenüber dem BioE 3 reduziert, woraus hauptsächlich eine Zunahme des Getreide- und Maisanbaus resultiert. Insgesamt bewirken die Extensivierungsmaßnahmen jedoch in allen Szenarien, dass die für den Energiepflanzenanbau genutzte Fläche im Vergleich zu dem jeweiligen Biomasseszenario eingeschränkt wird. Klare Auswirkungen zeigen die Bewirtschaftungsauflagen auch bezüglich des Dauergrünlandes, das außerhalb der Naturschutzflächen erheblich intensiviert wird, um ausreichend Grundfutter zur Verfügung zu stellen (vgl. dazu auch Kapitel 9.2). Besonders deutlich wird diese von Extremen geprägte Grünlandbewirtschaftung in einer Futterbauregion wie dem Allgäu.

Die ausgeprägte energetische Grünlandnutzung in den Biomasseszenarien wird in den Naturschutzszenarien auf etwa 30% reduziert. Das für die Biogaserzeugung genutzte Dauergrünland kann aus Sicht der Fütterung als Überschussgrünland bezeichnet werden. Die Modellergebnisse zeigen, dass selbst unter, aus naturschutzfachlicher Sicht optimalen, Restriktionen rund 30% des Dauergrünlandes nicht für die Fütterung gebraucht werden. Dieser Wert liegt leicht über den von RÖSCH ET AL. (2007) prognostizierten Anteil von rund 25%.

Werden die Naturschutzrestriktionen um weitere 40% erhöht, wie in den beiden Szenarien BioE 1\_NatXL und BioE 3\_NatXL, so werden die beschriebenen Entwicklungen in ihrem Trend überwiegend verstärkt.

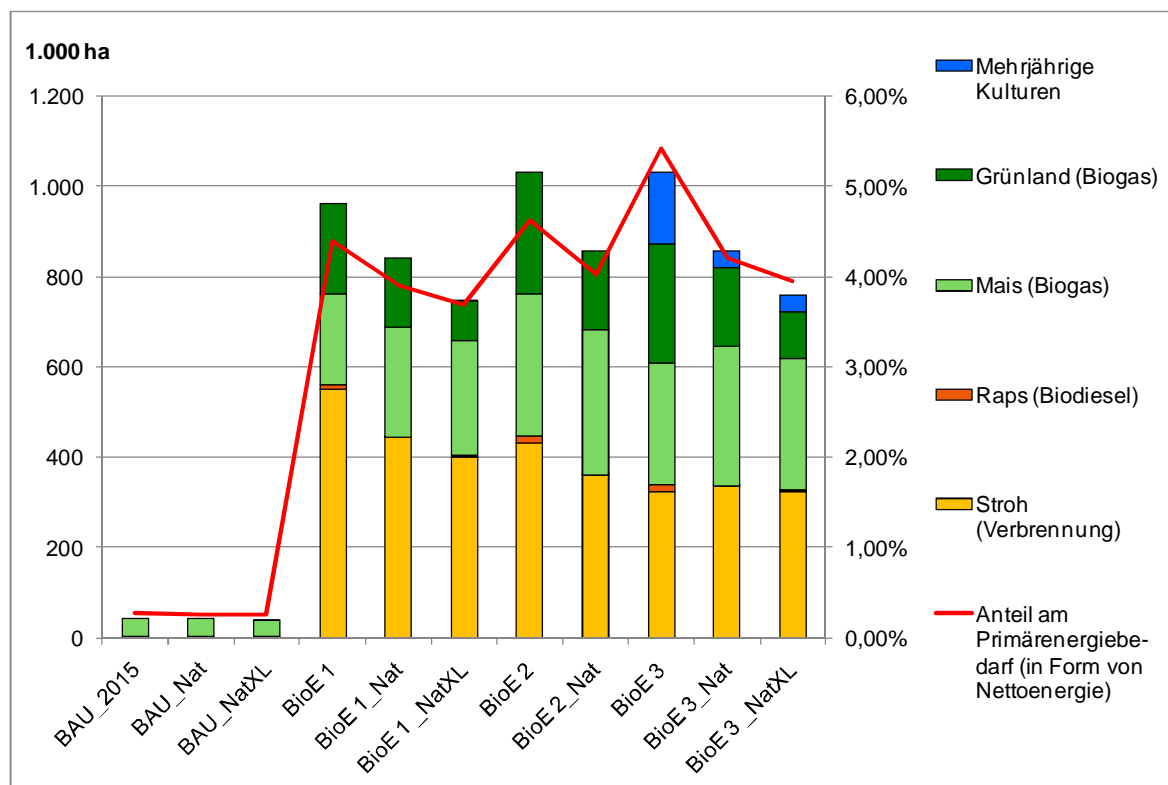
Tabelle 73: Zusammenfassung der Szenarioergebnisse für Baden-Württemberg

		Baden-Württemberg										
		BAU_2015	BAU_Nat	BAU_NatXL	BioE 1	BioE 1_Nat	BioE 1_NatXL	BioE 2	BioE 2_Nat	BioE 3	BioE 3_Nat	BioE 3_NatXL
<b>Ackerfläche</b>	ha	837.324	813.670	804.209	859.699	813.670	804.210	859.699	813.670	863.401	813.671	804.209
Veränderungen zu BAU_2015			-3%	-4%	3%	-3%	-4%	3%	-3%	3%	-3%	-4%
<b>Grünlandfläche</b>	ha	544.128	544.128	544.128	521.820	544.128	544.128	521.821	544.128	518.119	544.128	544.129
Veränderungen zu BAU_2015			0%	0%	-4%	0%	0%	-4%	0%	-5%	0%	0%
<b>Getreide</b>	ha	576.489	557.875	550.007	550.349	458.286	425.842	434.169	380.767	329.864	354.595	351.493
Veränderungen zu BAU_2015			-3%	-5%	-5%	-21%	-26%	-25%	-34%	-43%	-38%	-39%
<b>Mais</b>	ha	80.056	82.737	80.917	219.101	257.534	269.518	331.301	335.762	284.471	324.009	310.520
Veränderungen zu BAU_2015			3%	1%	174%	222%	237%	314%	319%	255%	305%	288%
<b>Winterraps</b>	ha	89.957	61.155	53.207	9.831	830	781	15.260	899	14.855	859	664
Veränderungen zu BAU_2015			-32%	-41%	-89%	-99%	-99%	-83%	-99%	-83%	-99%	-99%
<b>Kleegras</b>	ha	59.995	54.217	51.600	71.542	67.000	67.142	71.123	66.667	69.400	66.269	65.422
Veränderungen zu BAU_2015			-10%	-14%	19%	12%	12%	19%	11%	16%	10%	9%
<b>Sonstiges</b>	ha	30.157	30.613	30.575	8.806	2.946	3.024	7.777	2.502	6.044	2.466	1.485
Veränderungen zu BAU_2015			2%	1%	-71%	-90%	-90%	-74%	-92%	-80%	-92%	-95%
<b>Brache</b>	ha	586	27.073	37.903	0	27.073	37.903	0	27.073	0	27.073	37.903
Veränderungen zu BAU_2015			4521%	6369%	-100%	4521%	6369%	-100%	4521%	-100%	4521%	6369%
<b>mehrfährige Kulturen</b>	ha									158.698	38.400	36.722
<b>Zwischenfrüchte</b>	ha	215.496	287.495	303.144	241.527	339.301	341.873	245.775	349.998	200.695	336.502	337.070
Veränderungen zu BAU_2015			33%	41%	12%	57%	59%	14%	62%	-7%	56%	56%
<b>Deckungsbeitrag</b>	€/ha	1.329	1.319	1.307	1.512	1.473	1.447	1.529	1.480	1.570	1.490	1.459
Veränderungen zu BAU_2015			-1%	-2%	14%	11%	9%	15%	11%	18%	12%	10%
<b>MEKA-Förderung</b>	Mio. €	62	68	70	69	80	83	70	82	64	80	83
Veränderungen zu BAU_2015			10%	14%	12%	29%	35%	14%	33%	4%	31%	35%
<b>Treibhausgasbilanz mit Grünlandumbruch und Energiepflanzen</b>	t CO <sub>2</sub> e/ha	4,1	3,9	3,8	0,5	0,2	0,2	0,0	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2
Veränderungen zu BAU_2015			-4%	-7%	-88%	-96%	-95%	-100%	-104%	-120%	-109%	-105%

Quelle: eigene Berechnungen

Die Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus in Baden-Württemberg ist in

Abbildung 18 für die einzelnen Szenarien noch einmal gesondert dargestellt. Die höchste Ausdehnung wird in den Szenarien BioE 2 und BioE 3 erreicht. In beiden Szenarien wird einschließlich der Getreideanbaufläche, deren Stroh verbrannt wird, etwa 75% der landwirtschaftlichen Fläche für die Energieproduktion genutzt. Bezieht man die Fläche für die Strohproduktion nicht ein, sondern ausschließlich die Fläche, auf der Energiepflanzen angebaut werden, so wird im Szenario BioE 2 rund 40% der Fläche und in Szenario BioE 3 etwa 50% der Fläche für die Energieproduktion genutzt. Durch die starke Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus und die Verbrennung des Strohs der gesamten Getreideanbaufläche wird je nach Szenario zwischen 4 und 87 PJ an Energie produziert, was einem Anteil von 0,3 - 5,4% des Primärenergieverbrauchs, der im Jahr 2006 bei etwa 1.600 PJ lag, entsprechen würde (Stala, 2011b). Die höchste Energieproduktion wird im Szenario BioE 3 erreicht, was insbesondere auch auf den Anbau der mehrjährigen Kulturen zurückzuführen ist.



Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 18: Energiepflanzenanbau und Energieproduktion in den einzelnen Szenarien, dargestellt für Baden-Württemberg

Laut der Fortschreibung des ersten Biomasseaktionsplanes Baden-Württemberg liegt das Potenzial von Anbaubiomasse bei 14 - 34 PJ/Jahr (WM, 2010). In den Szenariorechnungen wurde dagegen teilweise eine deutlich höhere Energieproduktion erreicht. Dies ist insbesondere auf den Anbau mehrjähriger Energiekulturen und die Verbrennung von Stroh zurückzuführen und zeigt, dass damit ein bedeutender Beitrag zur Energiebereitstellung in Baden-Württemberg geleistet werden kann.

Die modellierten Potenziale beruhen auf den für Bioenergie und Nahrungsmittel angenommenen Preisen und sind daher wirtschaftliche Potenziale. Insbesondere für den Verkauf von Silomais und Grünland an die weiterverarbeitenden Biogasanlagen spielt die Vergütung durch das EEG eine wichtige Rolle, da sie sich in Form höherer Erzeugerpreise bemerkbar macht und damit die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber der Lebensmittelproduktion verbessert. Hingegen zeigen die Modellrechnungen auch, dass die energetische Nutzung mehrjähriger Kulturen und von Stroh auch ohne die Vergütung durch das EEG attraktiv ist. Für eine Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus, wie sie in den einzelnen Szenarien modelliert wurde, müsste vor allem die Anzahl der Biogasanlagen deutlich erhöht werden und weiterverarbeitende Anlagen für Getreide- und Miscanthusstroh sowie Hackschnitzel zur Verfügung gestellt werden. Dies würde hohe Investitionen nach sich ziehen (vgl. dazu auch Kaule et al., 2011)

Die energetische Nutzung von Stroh ist so, wie sie in den Szenarien statt findet, aufgrund der knappen Flächen wünschenswert, wobei in der vorliegenden Arbeit davon ausgegangen wird, dass durch die Strohverbrennung ausschließlich Wärme erzeugt wird. Da die Wärmenutzung jedoch hohen, jahreszeitlich bedingten Schwankungen unterliegt, sollte die Möglichkeit der Umwandlung in Strom genutzt werden. Hinsichtlich der Biogaserzeugung ist anzustreben, dass zukünftig zum einen die Ausnutzung der Abwärme verbessert wird und zum anderen vermehrt Reststoffe zum Einsatz kommen sowie die Methanausbeuten der Substrate verbessert werden, um eine weitere, in der Öffentlichkeit häufig kritisierte „Vermaisung der Landschaft“ zu verhindern. Insgesamt stellt die Bioenergieerzeugung jedoch eine wichtige Energiequelle dar, da sie bedarfsgerecht bereitgestellt, aber auch gespeichert werden kann. Die Energieerzeugung mithilfe von Windkraftträdern oder Photovoltaik stellt zwar die effizientere Flächennutzung dar, jedoch kann die da-

durch erzeugte Energie bisher nicht in ausreichendem Umfang gespeichert werden, weshalb sie für die Bereitstellung der Grundlast gegenwärtig nicht geeignet ist.

Auch für den als ökonomische Kennzahl ausgewählten betrieblichen Deckungsbeitrag konnte gezeigt werden, dass sich die Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus unter den gesetzten Rahmenbedingungen positiv auswirkt (vgl. Tabelle 73). Dies gilt vor allem für die in diesem Bereich sehr anpassungsfähige Ackerbauregion. Vor allem die Möglichkeit des Strohverkaufs für die Verbrennung sorgt für zusätzliche Einnahmen. Im Szenario BioE 1, in dem 30% der landwirtschaftlichen Nutzfläche genutzt werden kann, um einjährige Energiepflanzen anzubauen und das Dauergrünland energetisch zu nutzen, steigt der Deckungsbeitrag gegenüber dem BAU\_2015 landesweit um 14% an. In den beiden Naturschutzszenarien werden infolge der Bewirtschaftungsauflagen etwas geringere Werte als im BioE 1 erzielt, die jedoch über den Deckungsbeiträgen im BAU\_2015 liegen.

Im Vergleich zum BAU\_2015 wird im BioE 1 eine höhere MEKA-Förderung in Anspruch genommen, da zum einen mehr Zwischenfrüchte angebaut werden und vor allem im Getreideanbau vermehrt durch MEKA förderfähige Verfahren genutzt werden. Mit zunehmenden Naturschutzauflagen wird eine höhere Fördersumme in Anspruch genommen, da einige Vorgaben förderfähig sind und auch der Zwischenfruchtanbau deutlich ausgedehnt wird.

Während sich diese Entwicklung etwas ausgeprägter auch im VGG\_1 beobachten lässt, ändern sich die Deckungsbeiträge und die in Anspruch genommene MEKA-Förderung in der Futterbauregion Allgäu nur wenig. Hier wirkt sich das aus der energetischen Grünlandnutzung im Vergleich zum BAU\_2015 erzielte Einkommen lediglich im BioE 1 positiv auf den Deckungsbeitrag aus, während die durch die Naturschutzauflagen hervorgerufene Extensivierung diesen Effekt kompensiert. Während im BioE 1 aufgrund der Intensivierung eine tendenziell geringere MEKA-Fördersumme genutzt wird, steigt sie in den beiden Naturschutzszenarien infolge der Naturschutzmaßnahmen und der damit verbundenen Extensivierung wieder leicht an.

Die Möglichkeit den Energiepflanzenanbau im BioE 2 bzw. BioE 2\_Nat weiter auszuweiten, wirkt sich im Vergleich zum BioE 1 bzw. BioE 1\_Nat sowohl auf Landesebene als auch in den beiden Regionen Unterland/Gäue und Allgäu kaum auf die Deckungsbeiträge aus, während die MEKA-Förderung, mit Ausnahme des Allgäus,

leicht zunimmt. Dies ist vor allem auf die Ausdehnung des Zwischenfruchtanbaus infolge des vermehrten Maisanbaus zurück zu führen bzw. auf die verstärkte Nutzung förderfähiger Anbauverfahren beim Getreideanbau.

Der Vergleich mit den Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat zeigt, dass der Anbau von mehrjährigen Kulturen noch einmal eine leichte Steigerung des Deckungsbeitrages ermöglicht. Die MEKA-Förderung hingegen ist geringer, da der Anbau mehrjähriger Kulturen zurzeit nicht gefördert wird. In den beiden Naturschutzszenarien wird jedoch aufgrund der geringeren Anbaufläche für mehrjährige Kulturen wieder eine vergleichsweise hohe MEKA-Förderung in Anspruch genommen. Besonders deutlich wird dies auch in der Ackerbauregion VGG\_1, in der der Anteil der Anbaufläche mehrjähriger Kulturen an der Ackerfläche über dem landesweiten Durchschnitt liegt. Hier steigen die Deckungsbeiträge um rund 30% gegenüber dem BAU\_2015. Auch unter verbesserten Naturschutzbedingungen werden in dieser Region noch um etwa 20% höhere Deckungsbeiträge erzielt. Da in der Futterbauregion VGG\_5 sowohl im BioE 3 als auch im BioE 3\_Nat und im BioE 3\_NatXL nur in geringem Umfang mehrjährige Kulturen angebaut werden, wirkt sich dies im Vergleich zum BioE 2 und BioE 2\_Nat auch kaum auf die Deckungsbeiträge oder die MEKA-Förderung aus.

Insgesamt zeigt sich, dass ein höherer Anteil von Ackerfläche an der landwirtschaftlichen Nutzfläche gleichzeitig auch mit einer höheren Anpassungsfähigkeit an veränderte Rahmenbedingungen, insbesondere hinsichtlich des ein- und mehrjährigen Energiepflanzenanbaus, korreliert. Daneben ist in diesen Gebieten auch die Getreideanbaufläche größer und somit kann mehr Einkommen aus dem Verkauf von Stroh für die Verbrennung erzielt werden.

Neben den Deckungsbeitragsänderungen unterscheiden sich auch die absoluten Deckungsbeiträge in den Vergleichsgebietsgruppen teilweise deutlich. Während im Ackerbaugebiet VGG\_1 in den verschiedenen Szenarien Deckungsbeiträge von rund 1.000 - 1.300 €/ha erzielt werden, erreichen sie in der Futterbauregion VGG\_5 aufgrund der Tierhaltung mit etwa 2.200 - 2.300 €/ha nahezu doppelt so hohe Werte, was den aktuellen Buchführungsergebnissen entspricht.

In der Futterbauregion werden in allen Szenarien neben höheren Deckungsbeiträgen auch höhere flächenbezogene MEKA-Förderungen (54 - 59 €/ha) erzielt als in der Ackerbauregion (ca. 35 - 57 €/ha), allerdings ist die Schwankungsbreite zwi-

schen den Szenarien auch geringer. Dies ist auf den hohen Grünlandanteil zurückzuführen, der dieser Region eine geringe Anpassung erlaubt und die höhere MEKA-Förderung für Grünlandmaßnahmen gegenüber Maßnahmen auf Ackerflächen. Landesweit liegen die Gesamtausgaben für MEKA je nach Szenario zwischen 64 und 83 Mio. €. Besonders hohe Werte werden dabei in den Naturschutzszenarien erreicht, da ein Teil der einzuhaltenden Naturschutzmaßnahmen durch MEKA gefördert wird.

Deutliche Auswirkungen zeigt die Option, den Energiepflanzenanbau auszudehnen, auch bezüglich der emittierten Treibhausgase. Die aus dem Energiepflanzenanbau resultierenden Gutschriften für die Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Substitution führen im Vergleich zum BAU\_2015 auf Landesebene zu einer starken Reduktion der Treibhausgasemissionen. In den einzelnen Regionen unterscheiden sich die Treibhausgasbilanzen jedoch erheblich. So führt der Anbau von Energiepflanzen auf 30% der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Szenario **BioE 1** im landesweiten Durchschnitt dazu, dass lediglich noch 0,5 t CO<sub>2</sub> e/ha emittiert werden. In einer Ackerbauregion wie dem Unterland/Gäue wird eine deutliche Treibhausgassenke in Höhe von 1,7 t CO<sub>2</sub> e/ha erreicht, während in der Futterbauregion Allgäu aufgrund der intensiveren Anbau- und Tierhaltungsverfahren und des in hohem Umfang durchgeführten Grünlandumbruchs 0,4 t CO<sub>2</sub> e/ha mehr freigesetzt werden als in der Ausgangssituation. Die Einführung verbesserter und auch sehr hoher Naturschutzmaßnahmen (BioE 1\_Nat und BioE 1\_NatXL) und die damit verbundene Flächenextensivierung sowie das Grünlandumbruchverbot tragen in Baden-Württemberg zu einer weiteren Verbesserung der Treibhausgasbilanz um 0,3 t CO<sub>2</sub> e/ha bei. In der Ackerbauregion VGG\_1 wird wie bereits im BioE 1 eine deutliche Treibhausgassenke erreicht. In der Futterbauregion VGG\_5 wird zwar im Vergleich zum BioE 1 infolge des Grünlandumbruchverbots eine geringere Menge an Treibhausgasen emittiert, jedoch liegt diese weit über dem Landesschnitt und steigt unter sehr hohen Naturschutzvorgaben sogar wieder an, da weniger Gutschriften für den Energiepflanzenanbau erzielt werden.

Durch die weitere Ausdehnung des Anbaus einjähriger Energiepflanzen und der energetischen Grünlandnutzung in den Szenarien **BioE 2** und BioE 2\_Nat kann auf Landesebene im Szenario BioE 2 eine ausgeglichene Treibhausgasbilanz und im BioE 2\_Nat aufgrund des Grünlandumbruchverbots und der extensiveren Bewirtschaftung sogar eine leichte Treibhausgassenke erreicht werden. In der Ackerbau-

region VGG\_1 wird, wie bereits in den Szenarien BioE 1 und BioE 1\_Nat, eine deutliche Treibhausgasenke erreicht, während in der Futterbauregion VGG\_5 aufgrund der hohen Viehdichte flächenbezogen weiterhin sehr hohe Emissionen freigesetzt werden.

Die Option Miscanthus und KUP anzubauen, wirkt sich ebenfalls positiv auf die Treibhausgasbilanz in Baden-Württemberg aus. Sowohl im **BioE 3** als auch in den beiden Naturschutzszenarien BioE 3\_Nat und BioE 3\_NatXL kann eine Treibhausgasenke erreicht werden, da der Anbau von KUP und Miscanthus im Vergleich zu den einjährigen Ackerbaukulturen einen deutlich geringeren Einsatz an Produktionsmitteln erfordert. Noch deutlicher wird dieser Effekt in der Ackerbauregion Unterland/Gäue, wo eine Treibhausgasenke von bis zu 4,1 t CO<sub>2</sub>e/ha erreicht werden kann. In der Futterbauregion ergeben sich im Vergleich zur Szenariogruppe 2 keine Veränderungen.

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass der Energiepflanzenanbau in Baden-Württemberg in den verschiedenen Szenarien, selbst unter Berücksichtigung des in den Biomasseszenarien zulässigen Grünlandumbruchs, zu Gutschriften für die Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Substitution von rund 0,5 - 7,8 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten führt und damit die in der Statistik ausgewiesenen, aus der Landwirtschaft stammenden Emissionen, teilweise sogar überkompensieren könnte. Diese lagen im Jahr 2007 bei etwa 4,6 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (landwirtschaftlich genutzte Böden und Tierhaltung), was einem Anteil von 5,6% der gesamten Emissionen Baden-Württembergs entspricht (Stala, 2011a). Die höchsten Einsparungen sind dabei unter der Voraussetzung möglich, dass die Option zum Anbau mehrjähriger Energiepflanzen gegeben ist. Ackerbauregionen verfügen aufgrund des hohen Ackerflächenanteils und der daraus resultierenden Anpassungsfähigkeit über das höchste Einsparungspotenzial durch den Energiepflanzenanbau. Futterbauregionen wie das Allgäu weisen einen hohen Grünlandanteil auf, der je nach Szenario zu rund 30 - 50% für die Bioenergieerzeugung genutzt wird. Die dabei erzielten Gutschriften können die hohen Emissionen aus der Tierhaltung jedoch kaum reduzieren.

In dem im Modell verwendeten Bilanzierungsrahmen wird nicht berücksichtigt, dass eine Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus Nahrungsmittelimporte notwendig macht, weshalb auch die damit verbundenen Treibhausgasemissionen nicht be-

rücksichtigt werden. Die durch Futtermittelimporte verursachten Emissionen werden dagegen in der Gesamtbilanz erfasst.

Im Anschluss an die Modellierung der Szenarien wurden für ausgesuchte Parameter, die die Modellergebnisse besonders stark beeinflussen, Sensitivitätsberechnungen durchgeführt. Diese zeigten, dass der Anbauumfang von Energiepflanzen, besonders von Miscanthus und KUP, sehr stabil ist. Die Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus insgesamt ist überwiegend vom Verhältnis der Nahrungs- und Futtermittelpreise zu den Energiepflanzenpreisen abhängig. Bei hohen Nahrungsmittelpreisen wird die Ackerfläche überwiegend für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion genutzt und auch das Grünland kommt überwiegend in der Fütterung zum Einsatz, da die Veredlung und damit Milch- und Fleischproduktion dann ökonomisch vorteilhafter ist als die Vergärung in der Biogasanlage.

Der Grünlandumbruch ist bei niedrigen Erzeugerpreisen für mehrjährige Kulturen und Biogassilomais besonders gering, was zeigt, dass der Anbau von mehrjährigen Kulturen und Silomais gegenüber der Grünlandnutzung über eine besonders hohe Vorzüglichkeit verfügt. Die Analysen hinsichtlich der für den Energiepflanzenanbau zulässigen Fläche ergaben einen verhältnismäßig konstanten Beitrag zum Primärenergiebedarf in Höhe von rund 5%, wobei vor allem der Anbau von Miscanthus und die energetische Strohnutzung eine wichtige Rolle spielen.

## **9.2 Beurteilung der Auswirkungen verbesserter Naturschutzrestriktionen**

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollte insbesondere untersucht werden, inwiefern sich die Einführung von Naturschutzforderungen, die aus naturschutzfachlicher Sicht wünschenswert sind und auf Acker- und Grünlandflächen umgesetzt werden können, auf die Landwirtschaft in Baden-Württemberg auswirken.

Zunächst bedeutet die Einführung der moderaten Naturschutzrestriktionen, dass den Modellbetrieben etwa 3% weniger Ackerfläche zur Verfügung steht, da sie für Naturschutzzwecke aus der Nutzung genommen wurde. Auf dieser Fläche werden die Maßnahmen „Feldlerchenfenster“, Saumstrukturen/Blühstreifen und Blänken/Flutmulden umgesetzt, die in Form von „Schutz vor Nutzung“ durchgeführt werden (vgl. Kapitel 5.4). Rund 80% der Ackerfläche ist von Maßnahmen betroffen, die als

„Schutz durch Nutzung“ umgesetzt werden, wobei der überwiegende Teil dieser Maßnahmen (70%) die Aufweitung der Fruchtfolge und die Anlage von Winterstopeln betrifft. Bemerkbar machen sich die Naturschutzforderungen auch bei der Grünlandnutzung. Hier sind etwa 50% der Fläche von Extensivierungsmaßnahmen betroffen. In den extremen Naturschutzszenarien erhöhen sich die Naturschutzforderungen um weitere 40%.

Naturschutzverbände setzen sich seit längerem für ein Umbruchverbot ein, da es sich vor allem bei extensivem Grünland um einen artenreichen Lebensraum handelt und dieser durch die Umwandlung in Ackerfläche verloren geht. Aus diesem Grund ist der Grünlandumbruch in den Naturschutzszenarien nicht zulässig. In Baden-Württemberg sind seit 2003 rund 20.000 ha Grünland verloren gegangen, meist durch die Umwandlung in Ackerfläche. Dies entspricht etwa 3,7% des Dauergrünlandanteils. In den modellierten Biomasseszenarien wurden je nach Szenario landesweit 4 - 5% umgebrochen. Um das Grünland in Baden-Württemberg vor weiteren Verlusten durch Umwandlung zu schützen, hat die Landesregierung ab dem 1. Juli 2011, wie in den modellierten Naturschutzszenarien, ein Verbot des Grünlandumbruchs ausgesprochen (MLR, 2011b, dlz agrarheute, 2011).

Bei der Ergebnisanalyse zeigten sich insbesondere hinsichtlich der angebauten Kulturen unerwünschte Wechselwirkungen infolge der Umsetzung der Naturschutzmaßnahmen. Betroffen sind vor allem die Grünlandbewirtschaftung und die Ausdehnung des Silomaisanbaus, weshalb im Folgenden auf diese Aspekte besonders eingegangen werden soll.

Für das extensiv bewirtschaftete Grünland ist im Modell die Verwertung in der Fütterung vorgesehen, jedoch nicht in der Biogasanlage, da angenommen wird, dass dieses energiearme, rohfaserreiche Material in der Biogasanlage Schwierigkeiten, sowohl technischer Art als auch bei der Fermentation, und damit höhere Kosten verursacht. Dies führt dazu, dass in den Naturschutzszenarien ein höherer Anteil des Grünlandes verfüttert wird als in den Biomasseszenarien. Dabei wird hauptsächlich Klee gras substituiert, weshalb dessen Anbaufläche reduziert wird und diese dann für den Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung steht. Dies ist einer der Gründe dafür, dass insbesondere der Anbau von Silomais für die energetische Nutzung in den Naturschutzszenarien gegenüber den Biomasseszenarien ausgedehnt wird und dadurch eine weniger abwechslungsreiche Fruchtfolge entsteht. In den

beiden Szenarien BioE 2\_Nat und BioE 3\_Nat wird zusätzlich der Anbau von Silomais für Fütterungszwecke leicht ausgedehnt, um das qualitativ minderwertige Grundfutter von den Naturschutzflächen durch sehr energiereiches Futter auszugleichen. Daneben trägt auch die intensivere Grünlandnutzung außerhalb der Naturschutzflächen zum Ausgleich dieses Grundfutters bei.

Die Nutzungskonkurrenz zwischen Naturschutzforderungen und einer intensiven Bioenergie- und Futtermittelproduktion wird auch durch die Einführung der Option, das Dauergrünland energetisch zu nutzen, deutlich. Dies führt dazu, dass vor allem die Naturschutzvorgaben, die die sehr extensiven Bewirtschaftungsweisen wie ein- oder zwei Schnitte ohne Düngung betreffen, nur als Minimum erfüllt werden, nicht jedoch darüber hinaus. Das übrige Grünland unterliegt gegenüber dem BAU\_2015 einer Intensivierung. Insgesamt machen die Modellergebnisse deutlich, dass eine Ausdehnung der extensiven Grünlandnutzung aus naturschutzfachlichen Gründen zu einer intensiveren Nutzung des übrigen Grünlandes führt sowohl hinsichtlich der Schnitthäufigkeit als auch der Düngeintensität. Die intensivere Grünlandnutzung läuft jedoch den Interessen des Naturschutzes zuwider, da die Artenvielfalt auf intensivem Grünland niedrig ist und es aus naturschutzfachlicher Sicht daher nur einen geringen Wert besitzt.

Aus Sicht des Klimaschutzes und der möglichst effizienten Flächennutzung ist der Anbau mehrjähriger Kulturen wie KUP und Miscanthus gegenüber einjährigen Energiekulturen zu bevorzugen. Jedoch ist die Artenvielfalt in diesen Anlagen gering und sie können auf benachbarte Lebensräume, wie beispielsweise Offenlandschaften, deren Einsehbarkeit für Bodenbrüter entscheidend ist, einschränkend wirken. Aus diesem Grund wurde die Anbaufläche für die mehrjährigen Kulturen aus naturschutzfachlicher Sicht in dem Naturschutzszenario BioE 3\_Nat im Vergleich zu dem Biomasseszenario BioE 3 deutlich (um über 75%) eingeschränkt. Diese starke Reduzierung der potenziellen Anbaufläche und die daraus resultierende deutlich geringere tatsächliche Anbaufläche ist neben der Beschränkung der Grünlandnutzung ein weiterer Grund für die Ausdehnung des Maisanbaus in BioE 3\_Nat gegenüber dem BioE 3. Da jedoch auch der Mais aufgrund seiner Wuchshöhe habitateinschränkende Wirkung hat, zeigt sich hier ein weiterer durch die Naturschutzmaßnahmen ausgelöster, aber unerwünschter Effekt.

Die moderaten Naturschutzvorgaben beeinflussen die Tierhaltung nur unwesentlich. Eine Erhöhung der Naturschutzrestriktionen um weitere 40% geht auf Ebene Baden-Württembergs jedoch mit einer Reduzierung des Mutterkuhbestandes um 10% einher. Diese Entwicklung zeigt, dass Naturschutzrestriktionen zuerst zu einer Einstellung der extensiven Haltungsverfahren führen und die knappe Futterfläche für das aus ökonomischer Sicht vorzüglichere Verfahren der Milchkuhhaltung eingesetzt wird.

In Baden-Württemberg, aber auch in VGG\_1 und VGG\_5 zeigte sich, dass verbesserte Naturschutzforderungen zu geringeren Deckungsbeiträgen gegenüber dem jeweiligen Biomass Szenario führen. Die maximalen Einkommensrückgänge werden unter moderaten Naturschutzforderungen (BioE 3\_Nat) in VGG\_1 mit 8% gegenüber dem Szenario BioE 3 erreicht. In den beiden betrachteten Vergleichsgebietsgruppen und auf Ebene Baden-Württembergs können die Einkommensrückgänge durch die MEKA-Förderung nicht vollständig ausgeglichen werden. Die Modellrechnungen zeigten insgesamt, dass die Naturschutzauflagen die Einkommen gegenüber den Biomass Szenarien zwar reduzieren, diese sich aber dennoch gegenüber dem BAU\_2015, aufgrund des umfangreicheren Energiepflanzenanbaus, erhöhen. Für die hier angenommenen Naturschutzmaßnahmen würden die Kosten in der Realität jedoch sicher höher ausfallen, da mit dem verwendeten Optimierungsansatz die Anpassungsfähigkeit der landwirtschaftlichen Betriebe überschätzt wird. Daneben wären möglicherweise noch staatliche Transferleistungen notwendig, um Anreize für die Umsetzung der Naturschutzforderungen zu setzen sowie zur Kostendeckung für die Überwachung der Einhaltung. Diese Kosten werden in dem gewählten Ansatz nicht berücksichtigt.

Der höchste Beitrag zur Deckung des Primärenergiebedarfs wird analog zu den Biomass Szenarien erreicht, wenn der Anbau mehrjähriger Kulturen möglich ist (BioE 3\_Nat). Der in diesem Szenario erzielte Beitrag zur Deckung des Primärenergiebedarfs unterscheidet sich nur um 1,2 Prozentpunkte von dem im BioE 3 erzielten Beitrag, obwohl die Anbaufläche für Energiepflanzen um etwa ein Viertel geringer ist. In diesem Szenario leistet jedoch die Strohverbrennung aufgrund des höheren Getreideanbauumfangs einen größeren Beitrag als in BioE 3. Das zeigt, dass die Strohverbrennung als Form der Reststoffverwertung einen wichtigen Beitrag zur Bioenergiebereitstellung leisten kann. In der Realität könnte dieser Verwertungspfad sicherlich bereits durch geringe finanzielle Anreize an Bedeutung gewin-

nen. Daneben sollten weitere Möglichkeiten für die Reststoffverwertung erschlossen und gefördert werden, nicht nur, um wie bereits in Kapitel 9.1 erwähnt eine weitere „Vermaisung der Landschaft“ zu verhindern, sondern auch um eine weitere Intensivierung der Flächen zu vermeiden.

In den Naturschutzszenarien BioE 1\_Nat und BioE 2\_Nat bedingen die Naturschutzforderungen auch eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen gegenüber dem jeweiligen Biomassesszenario und führen im Szenario BioE 2\_Nat sogar dazu, dass eine Kohlenstoffsенке in Höhe von 0,2 t CO<sub>2</sub> e/ha entsteht. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass der Grünlandumbruch nicht zulässig ist und die Emissionen vor allem in den Futterbauregionen dann geringer ausfallen. Zudem wird insgesamt weniger Dünger eingesetzt. Durch die Einführung moderater Naturschutzmaßnahmen können also Synergieeffekte für den Klimaschutz erreicht werden. Jedoch wird auch unter moderaten Naturschutzmaßnahmen je nach Szenario noch rund 30 - 40% der Fläche für den Energiepflanzenanbau genutzt, was zu einem Substitutionseffekt hinsichtlich der Nahrungsmittelproduktion führen würde, die dann in anderen Ländern erzeugt und importiert würden.

Insgesamt konnte mit den Modellrechnungen gezeigt werden, dass die Ziele der Energie- und Klimaschutzpolitik mit den Zielen des Naturschutzes grundsätzlich vereinbar sind. Jedoch ergeben sich einige aus naturschutzfachlicher Sicht unerwünschte Wechselwirkungen, die insbesondere in der Intensivierung der Grünlandnutzung zum Ausdruck kommen, aber auch beispielsweise in engeren Fruchtfolgen und einem höheren Maisanteil. Diese potenziellen Konflikte sollten bei der Einführung und Umsetzung von Naturschutzmaßnahmen bedacht werden. Daneben können sie durch eine gezielte Förderung beispielweise der Reststoffverwertung (Stroh, Landschaftspflegeschnitt) und einer abwechslungsreichen Energiepflanzenfruchtfolge eingeschränkt werden. Vor allem das Dauergrünland stellt einen wichtigen Kohlenstoffspeicher dar und bietet bei einer angepassten Nutzung einer Reihe von (schützenswerten) Arten einen Lebensraum. Sowohl im Ackerland als auch im Grünland sind die naturschutzverträglichen Bewirtschaftungsweisen aus ökonomischer Sicht für den Landwirt aber meist sehr unattraktiv und bedürfen eines finanziellen Ausgleichs. Sollen die Naturschutzmaßnahmen, wie sie in dieser Arbeit angenommen wurden, in der Realität nicht nur auf freiwilliger Basis, sondern verpflichtend umgesetzt werden, so ist dafür auf der einen Seite der Einsatz weiterer Fördermittel notwendig und auf der anderen Seite eine strenge Überwachung der leicht

zu umgehenden Naturschutzmaßnahmen. Von Seiten des Naturschutzes gilt es zu beurteilen, ob eine sehr unterschiedliche Flächennutzung mit extensiven Flächen auf der einen Seite und sehr intensiv bewirtschafteten Flächen auf der anderen Seite eine aus naturschutzfachlicher Sicht sinnvolle Kombination ergeben.

### **9.3 Beurteilung und mögliche Weiterentwicklung des verwendeten Modellansatzes**

Mit dem ökonomisch-ökologischen Regionalmodell EFEM können die wichtigsten Betriebsformen Baden-Württembergs und deren Produktionsverfahren der Tier- und Pflanzenproduktion abgebildet und die Wechselwirkungen zwischen dem Anbau von Energiepflanzen und dem Naturschutz hinreichend genau abgeschätzt werden. Um die Modellergebnisse verwenden und bewerten zu können, ist die Abbildungsqualität des Modells hinsichtlich der Ausgangssituation entscheidend. Da das Ziel der vorliegenden Arbeit eine Prognose der Entwicklung eines bestehenden Systems unter veränderten Rahmenbedingungen ist, ist eine sehr exakte Vorhersage beispielsweise der Anbauumfänge, weniger entscheidend als die Plausibilität der Ergebnisse. Wichtig ist, die durch verschiedene, zukünftig denkbare Rahmenbedingungen ausgelösten Entwicklungstrends darzustellen.

EFEM ist ein statisch-lineares Modell mit exogen vorgegebenen Preisen. Mögliche Wechselwirkungen der Preise können nicht abgebildet werden. Daher wird die Anbaufläche für Energiepflanzen sicherlich teilweise überschätzt. Eine so starke Einschränkung der Anbauflächen für Futter- und Nahrungsmittel, wie sie beispielsweise in dem Szenario BioE 3 erfolgt, in dem über 50% der Fläche für die Energiepflanzenerzeugung genutzt wird, würde in der Realität sicherlich zu Preisänderungen führen. Da die Preisinterdependenzen in EFEM nicht modellintern berücksichtigt werden, wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Jedoch verdeutlichen diese, dass der Anbau von Energiepflanzen, insbesondere von mehrjährigen Kulturen, stabil ist und die Ausdehnung vor allem von den Nahrungs- und Futtermittelpreisen abhängt.

Für die Berechnung der N<sub>2</sub>O-Emissionen wurden IPCC-Daten der im Jahr 1996 veröffentlichten Methode zugrundegelegt, obwohl bereits im Jahr 2006 neue Guidelines für die Berechnung nationaler Treibhausgasinventare veröffentlicht wurden. Diese wurde vom Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), das das Emis-

onsinventar für die Landwirtschaft in Deutschland ausarbeitet, jedoch erst während der Erstellung der vorliegenden Arbeit übernommen, weshalb aus Gründen der Vergleichbarkeit noch die IPCC-Methode von 1996 gewählt wurde (Dämmgen et al., 2007, Haenel, 2010). Während sich der überwiegende Teil der vom IPCC veröffentlichten Emissionsfaktoren nur unwesentlich geändert hat, wurde der Faktor für die indirekten N<sub>2</sub>O-Emissionen durch Leaching erheblich reduziert, wodurch die indirekten Lachgasemissionen in der vorliegenden Arbeit überschätzt werden. Auf die Gesamtbilanz wirkt sich dies jedoch nur unwesentlich aus, da auf Landesebene lediglich rund 10% der gesamten Emissionen aus dieser Quelle stammen.

Der Vergleich der mit den IPCC-Faktoren berechneten Modellergebnisse hinsichtlich der direkten N<sub>2</sub>O-Emissionen mit tatsächlich gemessenen Werten aus dem süddeutschen Raum weist deutliche Unterschiede auf. So liegen die modellierten Werte je nach Vergleichsgebietsgruppe zwischen 2 und 4 kg N<sub>2</sub>O/ha. Gemessen werden auf süddeutschen Standorten jedoch meist höhere Werte aufgrund standörtlicher Gegebenheiten wie schwere Böden und intensive Frost-/ Tau-Phasen. Die starke Schwankungsbreite der Emissionen wurde bereits in mehreren Studien nachgewiesen. Für den bayerischen Standort Scheyern wurden beispielsweise mehrheitlich Werte zwischen 1,3 und 8 kg N<sub>2</sub>O/ha gemessen (Flessa et al., 2002; Ruser, 2008; Landtag Baden-Württemberg, 2009).

Auch die Ergebnisse der EPIC-Modellierung aus dem Partnerprojekt „Abschätzung der Produktionspotenziale für den Anbau von Energiepflanzen zur CO<sub>2</sub>-Bindung in Baden-Württemberg und deren ökologische und ökonomische Bewertung“ weisen höhere Emissionen (ca. 4 - 8 kg N<sub>2</sub>O-N/ha) (vgl. Kaule et al., 2011) auf als die für die Modellierung mit EFEM angenommenen Werte. Dies legt den Schluss nahe, dass mit der Methode des IPCC die direkten Lachgasemissionen unterschätzt werden. Da die modellierten Daten jedoch mit dem nationalen Treibhausgasinventar vergleichbar sein sollten, wurden keine höheren Faktoren eingesetzt. Es wäre jedoch denkbar weitere Modellrechnungen mit den höheren Emissionswerten durchzuführen, um die genaue Höhe der Unterschätzung zu quantifizieren. Eine Änderung der N<sub>2</sub>O-Werte würde zu insgesamt höheren Treibhausgasemissionen und daher gegebenenfalls geringeren Einsparpotenzialen führen. Insgesamt würde sich eine Verwendung höherer Werte jedoch ebenso unwesentlich auf die Treibhausgasbilanz in Baden-Württemberg auswirken, wie eine Reduzierung des Faktors für die indirekten N<sub>2</sub>O-Emissionen.

Vor dem Hintergrund des auch in der Realität zunehmenden Energiepflanzenanbaus und der immer stärkeren Trennung zwischen Energiepflanzen und Nahrungs- oder Futtermittelpflanzen erscheint es sinnvoll, weitere Verfahren für die Energiepflanzenproduktion in das Modell zu implementieren. Zum einen gewinnt der Anbau von Getreide für die Produktion von Ganzpflanzensilage (GPS) besonders aufgrund der Fruchtfolgeproblematik an Bedeutung, zum anderen unterscheiden sich die Silomaisarten, die für die Biogasproduktion und die Fütterung eingesetzt werden, in ihren Zuchtzielen. Im Rahmen abnehmender Tierbestände muss auch die energetische Grünlandverwertung stärker in Betracht gezogen werden, insbesondere die Nutzung extensiver Standorte und existierender Naturschutzflächen.

## 10 Zusammenfassung / Summary

### **Zusammenfassung**

Die Landwirtschaft trägt Schätzungen zufolge 10 - 12% zum anthropogenen Treibhausgaseffekt bei. Sie kann durch die Bioenergieerzeugung jedoch gleichzeitig auch die Treibhausgasbilanz entlasten. Da die Qualitätsansprüche beim Energiepflanzenanbau geringer sind als bei der Nahrungs- und Futtermittelproduktion, bietet dieser im Besonderen die Möglichkeit umweltverträglich zu produzieren und auf diese Weise wertvolle Lebensräume für verschiedene, teils bedrohte, Tier- und Pflanzenarten der Agrarlandschaft zu erhalten.

Um die nationalen und internationalen Klimaschutzziele zu erreichen, wird der Anbau bzw. die Nutzung von nachwachsenden Energieträgern auf Bundes- und Landesebene stark gefördert. Dies hat in den letzten Jahren zu einer deutlichen Ausdehnung der Anbaufläche für Energiepflanzen geführt und rückt die Ziele bezüglich des Klimaschutzes in erreichbare Nähe. Gleichzeitig werden die Flächen jedoch auch intensiver bewirtschaftet, wobei der Erhalt der Biodiversität immer wieder vernachlässigt wird und Ökosysteme, von deren Leistung insbesondere die Landwirtschaft abhängig ist, geschädigt oder zerstört werden. Hier bietet der Energiepflanzenanbau neue Möglichkeiten, gleichzeitig können aber auch Konkurrenzeffekte zum Naturschutz auftreten.

Um eine nachhaltige Entwicklung der Landwirtschaft zu unterstützen und unerwünschte Entwicklungen zu vermeiden, können neue politische Instrumente vor ihrer Einführung mit Modellen auf ihre Wirksamkeit überprüft werden. In der jüngsten Vergangenheit fanden neben den ökonomischen Aspekten auch zunehmend die ökologischen Auswirkungen Berücksichtigung in diesen Modellansätzen. Dabei kann zwischen landwirtschaftlichen Simulationsmodellen und Modellverbunden unterschieden werden. Während die landwirtschaftlichen Simulationsmodelle nur den Agrarsektor abbilden, bieten Modellverbunde den Vorteil, dass sie mehrere Sektoren gleichzeitig berücksichtigen können, wobei die relevanten Sektoren sehr detailliert abgebildet und gleichzeitig auch deren Interaktionen mit anderen Sektoren dargestellt werden können. Die landwirtschaftlichen Akteure werden in den Modellverbunden durch landwirtschaftliche Simulationsmodelle repräsentiert.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird das bestehende, auf linearer Programmierung beruhende, ökonomisch-ökologische Regionalmodell EFEM (Economic Farm Emission Model) mit dem Ziel, den Anbau von Energiepflanzen in Baden-Württemberg vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeit zu bewerten, weiterentwickelt. Die Berechnungen erfolgen auf einzelbetrieblicher Ebene und werden auf Vergleichsgebietsgruppenebene hochgerechnet. Das Modell wird auf der Datengrundlage der Jahre 2001 - 2005 kalibriert und die damit modellierte Referenz\_2003 anschließend auf das Jahr 2015 projiziert (BAU\_2015), um die Modellergebnisse ohne den Einfluss der sich in der jüngsten Vergangenheit stark geänderten agrarpolitischen Rahmenbedingungen beurteilen zu können. Basierend auf der für das Jahr 2015 modellierten Situation werden weitere Szenarien definiert, die sich hinsichtlich der Ausdehnung des Biomasseanbaus sowie der Naturschutzvorgaben unterscheiden. In den „Biomasseszenarien“ müssen jeweils nur die gesetzlichen Naturschutzvorgaben eingehalten werden, während in den korrespondierenden „Naturschutzszenarien“ jeweils die aus naturschutzfachlicher Sicht optimalen Restriktionen berücksichtigt werden. Zum einen wird damit das Ziel verfolgt, das Potenzial des Energiepflanzenanbaus zur CO<sub>2</sub>-Bindung in Baden-Württemberg abzuschätzen. Zum anderen steht die Frage im Fokus, welche Wechselwirkungen sich durch die Einführung optimierter Naturschutzmaßnahmen mit der Landbewirtschaftung auf regionaler Ebene ergeben. Da die Modellannahmen in den einzelnen Regionen Baden-Württembergs sehr unterschiedliche Auswirkungen zeigen, werden die Ergebnisse in dieser Arbeit nicht nur auf Ebene Baden-Württembergs, sondern jeweils auch ausführlich für zwei ausgesuchte, landestypische Vergleichsgebietsgruppen, VGG\_1 (Unterland/Gäue, Ackerbauregion) und VGG\_5 (Allgäu, intensive Futterbauregion), dargestellt. Mit den für ausgesuchte Parameter durchgeführten Sensitivitätsanalysen konnte gezeigt werden, dass die Modellergebnisse über eine ausreichende Stabilität verfügen, um zuverlässige Aussagen über die Synergieeffekte und Konflikte zwischen der Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus und Naturschutzforderungen machen zu können.

In der Ausgangssituation BAU\_2015 wird in Baden-Württemberg auf rund 70% der Ackerfläche Getreide und jeweils etwa 10% Mais, Winterraps und Klee gras angebaut. Die Grünlandbewirtschaftung erfolgt aufgrund der im Durchschnitt der Betriebe guten Grünlandausstattung verhältnismäßig extensiv. Da lediglich 5% der Ackerfläche für den Energiepflanzenanbau (Raps und Mais) genutzt werden kann, ist der

Beitrag zur Deckung des Primärenergiebedarfs mit 0,27% gering. Im Landesschnitt werden Deckungsbeiträge von rund 1.300 €/ha erzielt, wobei deutliche regionale Unterschiede auftreten. Während in der Ackerbauregion nur etwa 75% dieses Wertes erzielt werden, bedingt die Tierhaltung in der Futterbauregion um etwa zwei Drittel höhere Deckungsbeiträge. Insgesamt wird je nach Region 2 bis 6% des Deckungsbeitrages aus der MEKA-Förderung (Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich) generiert. Die Treibhausgasbilanz, die auch die Gutschriften für die Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Substitution durch den Energiepflanzenanbau beinhaltet, erreicht in Baden-Württemberg einen Wert von 4,1 t CO<sub>2</sub> e/ha. In der Ackerbauregion kann mit 3,6 t CO<sub>2</sub> e/ha ein niedrigerer Wert erzielt werden, während in der Futterbauregion aufgrund der hohen Viehdichte 7,7 t CO<sub>2</sub> e/ha emittiert werden.

Die Einführung verbesserter Naturschutzmaßnahmen in der Ausgangssituation BAU\_2015 zeigen, dass es allein aufgrund dieser Maßnahmen zu einer Verschiebung im Bereich der Grundfutterproduktion kommt und besonders in der Grünlandnutzung deutliche Änderungen hervorgerufen werden: Zwar werden die Zielflächen entsprechend der Naturschutzforderungen extensiviert, gleichzeitig wird das übrige Grünland jedoch deutlich intensiviert. Der erzielte Deckungsbeitrag sinkt im Vergleich zum BAU\_2015 insgesamt leicht, wobei ein Teil des Verlustes durch höhere MEKA-Förderungen ausgeglichen wird. Insbesondere in der Ackerbauregion leisten die eingeführten Extensivierungsmaßnahmen einen deutlichen Beitrag zum Klimaschutz, da in dieser Region 5 bzw. 8% der Treibhausgase eingespart werden können. Im landesweiten Schnitt werden etwas geringere Einsparungen erreicht, und in einer Futterbauregion wie dem Allgäu bleibt die Bilanz aufgrund der hohen Viehdichte konstant.

Insgesamt bleiben diese Wirkungszusammenhänge auch bestehen, wenn die Option zu einer weiteren Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus gegeben wird. In Baden-Württemberg wird dann sowohl mit als auch ohne verbesserte Naturschutzforderungen die Nahrungsmittelproduktion, insbesondere der Getreideanbau, deutlich eingeschränkt. In den reinen Biomass Szenarien wird zum einen die Option des Grünlandumbruchs nahezu vollständig genutzt, zum anderen wird die Grünlandbewirtschaftung aufgrund der Möglichkeit das Grünland auch energetisch zu nutzen, deutlich intensiviert, während die Grundfutterbereitstellung vermehrt durch Kleegrass erfolgt. Der Anbau von Silomais wird von 10% der Ackerfläche auf bis zu 40% ausgedehnt, wobei dieser in allen Szenarien zu über 90% in der Biogasanlage

vergoren wird. Die Option die mehrjährigen Energiekulturen KUP und Miscanthus anzubauen wird vor allem in der Ackerbauregion stark genutzt, wobei in erster Linie Miscanthus angebaut wird. Infolge der einzuhaltenden Naturschutzvorgaben werden in allen Szenarien die Zielflächen extensiviert, während die übrigen Flächen intensiviert werden. Besonders deutlich wird dies in der Grünlandnutzung. Deutliche Auswirkungen zeigen sich auch im Maisanbau, der infolge der eingeschränkten Anbauoption für mehrjährige Kulturen im Naturschutzszenario gegenüber dem korrespondierenden Biomasseszenario ohne verbesserte Naturschutzbedingungen erheblich ausgedehnt wird. Diese Entwicklungen laufen den Interessen des Naturschutzes zuwider. Insgesamt wird mit zunehmenden Naturschutzforderungen jedoch die Energiepflanzenproduktion eingeschränkt.

Die Tierhaltung bleibt auch in allen Szenarien weitgehend unberührt. Lediglich unter sehr hohen Naturschutzforderungen wird die Mutterkuhhaltung um 10% eingeschränkt. Das zeigt, dass infolge der implementierten Naturschutzvorgaben zuerst die extensiven Haltungsverfahren eingeschränkt werden, während die intensiven Verfahren erhalten bleiben.

Die Ausdehnung der Bioenergieerzeugung hat zur Folge, dass die Deckungsbeiträge gegenüber dem BAU\_2015 zunehmen. Die Ackerbauregionen profitieren von den geänderten Rahmenbedingungen besonders und erzielen um bis zu 30% höhere Deckungsbeiträge, wenn der Anbau mehrjähriger Energiepflanzen ohne die Einhaltung verbesserter Naturschutzforderungen möglich ist. Die Naturschutzmaßnahmen und die damit verbundene Extensivierung führen zu leichten Einschränkungen hinsichtlich der Deckungsbeiträge, wobei ein Teil des Einkommensrückganges jeweils durch die erhöhte Inanspruchnahme der MEKA-Förderung ausgeglichen werden kann. Die Kosten für die Umsetzung der Naturschutzmaßnahmen würden in der Realität sicher höher ausfallen, da mit dem verwendeten Optimierungsansatz die Anpassungsfähigkeit der landwirtschaftlichen Betriebe überschätzt wird und zusätzlich anfallende Kosten, beispielsweise für die Überwachung der Einhaltung, in dem gewählten Ansatz nicht berücksichtigt werden.

Die Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus wirkt sich, insbesondere in der Ackerbauregion, auch auf die Produktion von Bioenergie aus. Die höchste Bioenergieproduktion wird erreicht, wenn der Anbau mehrjähriger Kulturen möglich ist. Dann können rund 5% des Primärenergiebedarfs Baden-Württembergs gedeckt

werden, womit ein deutlich höherer Wert erreicht wird als das in der Fortschreibung des ersten Biomasseaktionsplanes Baden-Württemberg ausgewiesene Potenzial. Jedoch müsste dazu rund 50% der Ackerfläche und des Grünlandes für den Anbau von Energiepflanzen genutzt werden und nahezu das gesamte, nach Cross Compliance verfügbare, Strohaufkommen der Verbrennung zugeführt werden. Aufgrund der exogen vorgegebenen, statischen Preise wird die Energiepflanzenfläche aber sicherlich überschätzt. Zudem würden hohe Investitionen für weitere weiterverarbeitende Anlagen notwendig. Der Energiepflanzenanbau trägt durch die Gutschriften zu einer deutlichen Verbesserung der Treibhausgasbilanz bei, wobei insbesondere durch den Anbau mehrjähriger Kulturen eine Treibhausgassenke erreicht werden kann und dies auch unter der Annahme verbesserter Naturschutzmaßnahmen möglich ist. Die dabei durch die sicherlich notwendig werdenden Nahrungsmittelimporte entstehenden Treibhausgase werden in dem verwendeten Bilanzrahmen allerdings nicht berücksichtigt.

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass mit dem verwendeten Modellansatz die Wechselwirkungen zwischen dem Anbau von Energiepflanzen und dem Naturschutz hinreichend genau abgebildet werden können und die Ziele der Energie- und Klimaschutzpolitik mit den Zielen des Naturschutzes vereinbar sind. Ansätze die in weiteren Forschungsprojekten berücksichtigt werden sollten, sind zum einen die neuen Erkenntnisse hinsichtlich der  $N_2O$ -Emissionswerte und zum anderen die Integration weiterer Energiepflanzen.

## **Summary**

It is estimated that agriculture contributes to 10-12% of the anthropogenic greenhouse effect. But at the same time it can relieve the greenhouse gas balance by bioenergy production. As the quality requirements of energy crops are lower than for food and animal feed production, it offers in a particular way the possibility to produce environmentally compatible and thus save valuable habitats of different, partly threatened, animals and plants of the agricultural landscape.

To achieve the national and international climate change objectives, the cultivation or use of renewable energy sources is strongly supported on federal and provincial level. During the last years this led to a considerable expansion of the area for energy crops and the climate change objectives are getting closer. But at the same time the areas are cultivated more intensively while the conservation of biodiversity is constantly neglected and ecosystems, of which performance especially the agriculture is dependent, are damaged or destroyed. Here the cultivation of energy crops offers new possibilities, but at the same time competing effects on nature conservation can occur.

To support a sustainable development of agriculture and to avoid undesirable developments, new policy instruments can be tested for their effectiveness by models before being introduced. In the last few years beside the economic aspects increasingly the ecological impacts were taken into account in these model approaches. It can be distinguished between agricultural simulation models and modeling systems. While agricultural simulation models only represent the agricultural sector, modeling systems are able to consider several sectors simultaneously, while the relevant sectors can be represented very detailed and also their interactions with other sectors can be shown. In modeling systems the agricultural stakeholders are represented by agricultural simulation models.

In this thesis the existing economic-ecological regional model EFEM (Economic Farm Emission Model), based on linear programming, is further developed with the aim to evaluate the cultivation of energy crops in Baden-Württemberg in the context of sustainability. The calculations are made on farm level and are extrapolated on regional level. The model is calibrated on the database for the years 2001-2005 and the so modeled Reference\_2003 than is projected to the year 2015 (BAU\_2015),

this to evaluate the model results without the influence of the great changes in agricultural policy in the last years. Based on the modeled situation for the year 2015 further scenarios are defined that differ in the expansion of energy cropping and nature conservation measures. In the “biomass scenarios” only the legal nature requirements have to be met while in the corresponding “conservation scenarios” restrictions that are optimal from a nature conservation point of view, must be considered. On the one hand the aim is to estimate the potential of energy crop production for CO<sub>2</sub>-sequestration in Baden-Württemberg. On the other hand the focus lies on the interactions that arise from the implementation of optimized nature conservation measures with the land management on regional level. As the model assumptions have very different effects in the specific regions of Baden-Württemberg the results are not only described for Baden-Württemberg, but also in detail for two selected typical regions, VGG\_1 (Unterland/Gäue, fieldcropping area) and VGG\_5 (Allgäu, intensive forage growing area). The sensitivity analyses for selected parameters showed that the model results have sufficient stability to make reliable statements about synergy effects and conflicts between the expansion of energy crop cultivation and requirements for natural conservation.

In the baseline situation BAU\_2015 around 70% of the arable land is used with cereals and approximately 10% with maize, winter rape and grass-clover. The grassland management is more or less extensive because of the large areas of grassland per farm. Due to the fact that only 5% of the arable land can be used with energy crops (rape and maize) the contribution to cover the primary energy demand is low with 0.27%. In the average of Baden-Württemberg a contribution margin of around 1300 €/ha is achieved, with significant regional differences. While in a fieldcropping area only 75% of this value can be reached, in an intensive forage growing area the contribution margins are around two thirds higher because of the livestock production. Overall, depending on the region, between 2 and 6% of the contribution margin is generated from MEKA-payments (programm for the relieve of the agricultural market and protection of the cultural landscape). The greenhouse gas balance, that also includes the savings for energy- and CO<sub>2</sub>-substitution for the cultivation of energy crops, reaches 4.1 t CO<sub>2</sub> e/ha in Baden-Württemberg. In the fieldcropping area the value is lower with 3.6 t CO<sub>2</sub> e/ha, while in an intensive forage growing area 7.7 t CO<sub>2</sub> e/ha are emitted because of the high stocking density.

The introduction of improved conservation measures in the baseline situation BAU\_2015 shows that only because of these measures a displacement of the fodder production takes place and especially the management of the grassland changes significantly: although the target areas are extensified according to the conservation measures, the rest of the grassland is intensified. The achieved contribution margin is reduced slightly in comparison to BAU\_2015, but the loss is partially compensated by higher MEKA-payments. The implemented conservation measures contribute especially in the fieldcropping area significantly to the climate protection because 5 to 8% of the greenhouse gases can be saved in this region. In Baden-Württemberg the savings are on average slightly lower and in an intensive forage growing area like the Allgäu the balance keeps constant because of the high stocking density.

Overall these interactions remain even if the option for a further expansion of energy cropping is given. The food production, especially the cereal production, is then clearly reduced in Baden-Württemberg with and without improved conservation measures. In the “biomass scenarios” on the one hand the option for ploughing up of grassland is used nearly entirely and on the other hand grassland is used more intensively due to the possibility of using the grass for energy production, while the fodder is produced increasingly from grass-clover. The cultivation of silage maize is extended from 10% of the arable land to 40% and it is used in biogas plants for over 90%. The option to plant the perennial energy crops KUP (short rotational plantations) and miscanthus is mainly used in field cropping areas and especially miscanthus is planted. As a consequence of the nature conservation measures the target areas are extensified in all scenarios, whereas the remaining areas are intensified. This is particularly evident in the grassland management. Clear effects occur also in the maize production, which is expanded significantly due to the reduction of the usable area for perennial energy crops in the conservation scenario, in comparison to the corresponding biomass scenario without improved conservation measures. These developments run counter to the interests of nature conservation. Overall higher nature conservation measures lead to less areas used for energy crops.

The livestock production remains mainly unaffected in all scenarios. Only very high nature conservation measures cause a reduction of suckler cows about 10%. This shows that in consequence of the implemented conservation measures at first the

extensive systems of livestock production are reduced while the intensive systems remain.

As a consequence of the expansion of bioenergy production the contribution margin increases in comparison to the BAU\_2015. Especially the fieldcropping areas profit from the changed circumstances and achieve up to 30% higher contribution margins, if the cultivation of perennial energy crops is possible without improved conservation measures. The conservation measures and the associated extensification cause small reductions of the contribution margins, but the income loss is partly compensated by higher MEKA-payments. In reality the costs for the implementation of these nature conservation measures would be higher because with the used optimization approach the adaptability of the farms is overestimated and additional costs, like for example controlling the compliance, are not taken into account in this approach.

The expansion of the cultivation of energy crops also has an effect on the production of bioenergy, especially in the fieldcropping area. The highest bioenergy production is achieved if the cultivation of perennial energy crops is possible. Around 5% of the primary energy demand of Baden-Württemberg can then be covered, what is a significantly higher value than shown in the update of the first Biomass Action Plan of Baden-Württemberg. However this would require around 50% of the arable land for energy crops and nearly the whole straw, available according to Cross Compliance, must be combusted. Due to the exogenously given static prices the area used for energy crops is surely overestimated. In addition high investments for other processing facilities will be necessary. The cultivation of energy crops contributes to a significantly better greenhouse gas-balance through the savings, while a negative greenhouse gas-balance can be reached by the cultivation of perennial energy crops, also with improved nature conservation measures. The greenhouse gas emissions of the than surely needed food imports are not taken into account in this approach.

Altogether it could be shown that with the used model approach interactions between the cultivation of energy crops and nature conservation are represented sufficiently and the objectives of energy and climate policy are compatible. Approaches that should be considered in further research projects are on the one

hand the new findings on N<sub>2</sub>O-emissions and on the other hand the integration of additional energy crops.

## Literaturverzeichnis

- AEE – AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN, 2009: Erneuerbare Energien 2020, Potenzialatlas Deutschland, Sonderausgabe Bioenergie.  
In: [http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/AEE\\_Potenzialatlas\\_Sonderausgabe\\_Bioenergie\\_dez09\\_01.pdf](http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/AEE_Potenzialatlas_Sonderausgabe_Bioenergie_dez09_01.pdf), Abrufdatum: 10.2.2011.
- AEE – AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN, 2010: Anbau von Energiepflanzen, Umweltauswirkungen, Nutzungskonkurrenzen und Potenziale.  
In: [http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/34\\_Renews\\_Spezial\\_Energiepflanzen\\_jun10.pdf](http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/34_Renews_Spezial_Energiepflanzen_jun10.pdf), Abrufdatum: 10.2.2011.
- AEE – AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN, 2011: Bedeutung der Bioenergie innerhalb der Erneuerbaren Energien.  
In: <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/bioenergie/detailansicht/article/103/bedeutung-der-bioenergie-innerhalb-der-erneuerbaren-energien.html>. Abrufdatum: 3.3.2011.
- ANGENENDT, E., 2003: Entwicklung eines ökologisch-ökonomischen Modells für extensive Futterbaubetriebe zur Abbildung der Emissionen klimarelevanter Gase aus der Landwirtschaft und zur Bewertung von Verminderungsstrategien. Agrarwirtschaft, Sonderheft 176.
- ANGENENDT, E., KONOLD, A., JOOß, R., BAHRS, E., ZEDDIES, J., 2010: Nachhaltiger Anbau von Bioenergie – eine ökonomisch-ökologische Analyse für das Umweltministerium in Baden-Württemberg. Vortrag anlässlich der 50. Jahrestagung der GEWISOLA „Möglichkeiten und Grenzen der wissenschaftlichen Politikanalyse“, Braunschweig.
- BFN - BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (HRSG.), 2010a: Energieholzanbau auf landwirtschaftlichen Flächen, Leipzig.
- BFN - BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2010b: Hintergrundinfo, CBD-COP 10, Klimawandel und Biodiversität. Welche Auswirkungen hat der Klimawandel auf die biologische Vielfalt?  
In: <http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/presse/14-Klimawandel-Biodiversit%E4t.pdf>, Abrufdatum: 8.2.2011.
- BFN - BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2010c: Hintergrundinfo, CBD-COP 10, Bioenergie. Warum Bioenergie?  
In: <http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/presse/15-Bioenergie-und-Biodiversit%E4t.pdf>, Abrufdatum: 8.2.2011.
- BFN – BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, 2010d: Bioenergie und Naturschutz, Synergien fördern, Risiken vermeiden, Bonn.
- BILLEN, 2009: pers. Mitteilung zur CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Grünlandumbruch: 92-110 t CO<sub>2</sub>/ha, Annahme, dass die Freisetzung zu 80% in den ersten 5 Jahren erfolgt, Grundlage waren IPCC-Daten.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (HRSG.), 2007: Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt, Berlin.

- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (HRSG.), 2010a: Indikatorenbericht 2010 zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt.  
In: [http://www.biologischesvielfalt.de/fileadmin/NBS/documents/Indikatoren/Indikatorenbericht-2010\\_NBS\\_Web.pdf](http://www.biologischesvielfalt.de/fileadmin/NBS/documents/Indikatoren/Indikatorenbericht-2010_NBS_Web.pdf), Abrufdatum: 16.2.2011.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (HRSG.), 2010b: Erneuerbare Energien in Zahlen, Nationale und internationale Entwicklung, Berlin.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (HRSG.), 2010c: Zentrale Beschlüsse in Nagoya.  
In: [http://www.bmu.de/dossier\\_cop\\_10\\_nagoya/doc/46588.php](http://www.bmu.de/dossier_cop_10_nagoya/doc/46588.php), Abrufdatum: 3.2.2011.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (HRSG.), 2010d: Kurzinfo Klimaschutz.  
In: <http://www.bmu.de/klimaschutz/kurzinfo/doc/4021.php>, Abrufdatum: 3.2.2011.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 2010e: Studie „Die Ökonomie von Ökosystemen und der Biodiversität“.  
In: [http://www.bmu.de/naturschutz\\_biologische\\_vielfalt/teeb/doc/43001.php](http://www.bmu.de/naturschutz_biologische_vielfalt/teeb/doc/43001.php).  
Abrufdatum: 14.2.2011.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 2010f: Die Ökonomie von Ökosystemen und der Biodiversität, Sachstandsbericht zur Klimaproblematik September 2009, Das Wichtigste in Deutscher Übersetzung. Ein Service der BMU-Pressestelle.  
In: [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/teeb\\_zusammenfassung\\_de.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/teeb_zusammenfassung_de.pdf). Abrufdatum: 14.2.2011.
- BMVEL – BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2006a): Die EU-Agrarreform – Umsetzung in Deutschland, Ausgabe 2006. Bonifatius GmbH, Paderborn.
- BMVEL – BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2006b): Merkblatt für den Zuckerausgleich.  
In: <http://www.bmelv.de/cae/servlet/contentblob/384098/publicationFile/22545/MerkblattZucker.pdf>, Abrufdatum: 19.7.2010.
- Breitschuh, T., Gernand, U. (2010): Nachhaltigkeit im Maisanbau sichern.  
In: [http://www.bioenergie-portal.info/fileadmin/bioenergie-beratung/sachsen-anhalt/dateien/Nachhaltigkeit\\_im\\_Maisanbau.pdf](http://www.bioenergie-portal.info/fileadmin/bioenergie-beratung/sachsen-anhalt/dateien/Nachhaltigkeit_im_Maisanbau.pdf), Abrufdatum: 29.4.2012.
- BRITZ, W., PEREZ DOMINGUEZ, I., HECKELEI, T., (2010): A Comparison of CAPRI and SEAMLESS-IF as Integrated Modelling Systems. In: BROUWER, F. M., VAN ITTERSUM, M. (EDS.) (2010): Environmental and Agricultural Modelling - Integrated Approaches for Policy Impact Assessment, Springer Science + Business Media B.V. 2010.

- BROUWER, F. M., VAN ITTERSUM, M. (EDS.) (2010): Environmental and Agricultural Modelling - Integrated Approaches for Policy Impact Assessment, Springer Science + Business Media B.V. 2010.
- BROUWER, F. M., VAN ITTERSUM, M., (2010): Introduction. In: BROUWER, F. M., VAN ITTERSUM, M. (EDS.) (2010): Environmental and Agricultural Modelling - Integrated Approaches for Policy Impact Assessment, Springer Science + Business Media B.V. 2010.
- BURGER-SCHIEDLIN, H., 2010: „Kulturlandschaft“ – Ökosystemleistungen kommunizieren, in agrarische rundschau, Heft 6 Dezember 2010, Ökosoziales Forum Österreich (Hrsg.), S.26.
- DABBERT, S. (2008): Sozioökonomische Analyse und Modellierung von Wassernutzung und Landnutzung durch Landwirtschaft, in GLOWA-Danube Integrative Techniken, Szenarien und Strategien zur Zukunft des Wassers im Einzugsgebiet der Oberen Donau, Zwischenbericht des Projektes GLOWA-Danube 2008,  
In: [http://www.glowa-danube.de/publikationen/jahres\\_zwischenberichte/zwischenbericht\\_2008.pdf](http://www.glowa-danube.de/publikationen/jahres_zwischenberichte/zwischenbericht_2008.pdf), Abrufdatum: 22.12.2010.
- DÄMMGEN, U. (HERAUSGEBER) (2007): Calculations of emissions from German agriculture - National Emission Inventory Report (NIR 2007 for 2005 : introduction, methods and data (GAS-EM). Landbauforschung Völknerode Sonderheft 304, englisch; deutsch, Braunschweig.
- DESTATIS – STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND, 2010: Landwirtschaftszählung 2010.  
In: [http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/LandForstwirtschaft/Landwirtschaftszaehlung2010/Tabellen/Content75/2\\_\\_2\\_\\_LandwirtschGenutzteFlaecheHauptnutzungsarten,templateId=renderPrint.psml](http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/LandForstwirtschaft/Landwirtschaftszaehlung2010/Tabellen/Content75/2__2__LandwirtschGenutzteFlaecheHauptnutzungsarten,templateId=renderPrint.psml), Abrufdatum: 18.2.2011.
- DEUTSCHER BUNDESTAG, 2010: Drucksache 17/1575, Herausforderung Klimawandel – Landwirtschaft 2050.  
In: <http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/17/015/1701575.pdf>, Abrufdatum: 15.2.2011.
- DIEHL, K., HELMING, K., (2009): Nachhaltige Landnutzung durch vorausschauende Politik. In: Ökologisches Wirtschaften 2-2009, S. 30-34, oekom verlag, München.
- dlz agrarheute (2011): Bonde verbietet Grünland-Umbruch.  
In: <http://dlz.agrarheute.com/gruenland-466387>, Abrufdatum: 29.4.2012
- EC (EUROPEAN COMMISSION), (2011 a): Review of the Environmental Impact Assessment (EIA) Directive.  
In: <http://ec.europa.eu/environment/eia/conference.htm>, Abrufdatum: 25.1.2011.
- EC (EUROPEAN COMMISSION), (2011 b): Impact Assessment.  
In: [http://ec.europa.eu/governance/impact/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/governance/impact/index_en.htm), Abrufdatum: 25.1.2011.

- EEA (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY), 2008: Modelling environmental change in Europe: towards a model inventory (SEIS/Forward); Copenhagen, 2008.
- EU – EUROPÄISCHE UNION, 2008: Der Aktionsplan der Europäischen Union zur Biodiversität, Eindämmung des Verlustes der biologischen Vielfalt bis zum Jahr 2010 – und darüber hinaus, Luxemburg.
- EU – EUROPÄISCHE UNION, 2010: Aktionsplan der EU zur Biodiversität: Bewertung 2010, Luxemburg.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION, 1998: Strategie zur Erhaltung der Artenvielfalt, Mitteilung der Kommission vom 4. Februar 1998 über eine Gemeinschaftsstrategie zur Erhaltung der Artenvielfalt.  
In: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/nature\\_and\\_biodiversity/l28183\\_de.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/nature_and_biodiversity/l28183_de.htm). Abrufdatum: 8.2.2011.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2001: Aktionsplan für die biologische Vielfalt in der Landwirtschaft, Mitteilung der Kommission an den Rat vom 27. März 2001 – Aktionsplan zur Erhaltung der biologischen Vielfalt in der Landwirtschaft in (Teil III).  
In: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/agriculture/environment/l28024\\_de.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/agriculture/environment/l28024_de.htm). Abrufdatum 8.2.2011.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2006: Aktionsplan zur Erhaltung der biologischen Vielfalt, Mitteilung der Kommission vom 22. Mai 2006 mit dem Titel: „Eindämmung des Verlusts der biologischen Vielfalt bis zum Jahr 2010 und darüber hinaus – Erhalt der Ökosystemleistungen zum Wohl der Menschen“.  
In: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/maritime\\_affairs\\_and\\_fisheries/fisheries\\_resources\\_and\\_environment/l28176\\_de.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/maritime_affairs_and_fisheries/fisheries_resources_and_environment/l28176_de.htm), Abrufdatum: 8.2.2011.
- EUROSTAT (2010): Introduction NUTS.  
In: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/nuts\\_nomenclature/introduction](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/nuts_nomenclature/introduction), Abrufdatum: 5.11.2010.
- EUROSTAT (2010): Local Administrative Units (LAU).  
In: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/nuts\\_nomenclature/local\\_administrative\\_units](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/nuts_nomenclature/local_administrative_units), Abrufdatum: 5.11.2010.
- EURURALIS, (2010): EUruralis General.  
In: <http://www.eururalis.eu/general5.htm>, Abrufdatum 14.1.2011.
- FEHRENBACH, H., GIEGRICH, J., REINHARDT, G., RETTENMAIER, N., (2009): Synopse aktueller Modelle und Methoden zu indirekten Landnutzungsänderungen ILUC, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH.
- FLESSA, H., RUSER, R., DÖRSCH, P., KAMP, T., JIMENEZ, M. A., MUNCH, J. C. UND BEESE, F. (2002): Integrated evaluation of greenhouse gas emissions (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) from two farming systems in southern Germany. Agriculture, Ecosystems and Environment. 91: 175–189.

- FNR – FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V., 2010: Anbau nachwachsender Rohstoffe 2010.  
In: <http://www.nachwachsenderohstoffe.de/service/daten-und-fakten/anbau/?spalte=3>, Abrufdatum: 24.2.2011.
- FNR – FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V.(2011): Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe 2011.  
In: <http://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/anbauflaeche-fur-nachwachsende-rohstoffe-2011-4.html>, Abrufdatum: 15.1.2012.
- Frede, H.-G. (2010): Abschlussbericht zum Transferbereich Integrierte Evaluierung Energiepflanzenanbau 2007/2 – 2010/1.  
In: [http://www.sfb299.de/fileadmin/website/downloads/abschlussbericht\\_SFB-TFB\\_299\\_2011-02-02.pdf](http://www.sfb299.de/fileadmin/website/downloads/abschlussbericht_SFB-TFB_299_2011-02-02.pdf), Abrufdatum: 29.4.2012.
- FRITSCH, U. R., WIEGMANN, K. (2008): Ökobilanzierung der Umweltauswirkungen von Bioenergie-Konversionspfaden. Expertise für das WBGU-Hauptgutachten „Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung“. Internet: [http://www.wbgu.de/wbgu\\_jg2008\\_ex04.pdf](http://www.wbgu.de/wbgu_jg2008_ex04.pdf). Berlin. Abrufdatum: 31.3.2011.
- GABRIELSEN, P., BOSCH, P., (2003): Environmental Indicators: Typology and Use in Reporting, European Environment Agency, Copenhagen.
- GEMIS 4.5: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.5. Institut für angewandte Ökologie e.V. (Öko-Institut) Freiburg. Freie Software.  
In: <http://www.oeko.de/service/gemis/>, Abrufdatum: 14.7.2010.
- GLEMNITZ, M., PLATEN, R., SAURE, C., 2008: Auswirkungen des Anbaus von Energiepflanzen auf die Biodiversität: Bewertungsmethodik und Einfluss des Anbauverfahrens.  
In: [http://www.zalf.de/home\\_zalf/download/lse/glemnitz/KTBL2008.pdf](http://www.zalf.de/home_zalf/download/lse/glemnitz/KTBL2008.pdf), Abrufdatum: 8.2.2011.
- GLOWA-DANUBE, 2009: Forschungsprojekt GLOWA-Danube Kernaussagen.  
In: [http://www.glowa-danube.de/publikationen/kernaussagen/GLOWA-Danube\\_Kernaussagen.pdf](http://www.glowa-danube.de/publikationen/kernaussagen/GLOWA-Danube_Kernaussagen.pdf), Abrufdatum 14.1.2011.
- GLOWA-DANUBE, 2010: Forschungsprojekt GLOWA-Danube.  
In: <http://www.glowa-danube.de/de/projekt/projekt.php>, Abrufdatum: 22.12.2010.
- GÖMANN, H., ET AL. (2009): Health Check der EU-Agrarpolitik – Auswirkungen der Beschlüsse. Arbeitsbericht aus der vTI-Agrarökonomie.
- GÖMANN, H., KREINS, P., RICHMANN, A. (2008): Beschreibung des Regionalisierten Agrar- und Umweltinformationssystems RAUMIS im Rahmen des Projektes „Nachwachsende Rohstoffe und Landnutzung. Integration der Bioenergie in ein nachhaltiges Energiekonzept (NaRoLa), Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Braunschweig.

- GREEN (1987): Energy in pesticide Manufacture, Distribution and Use. In: HELSEL (Ed.): Energy in Plant Nutrition and Pest Control. Energy in World Agriculture, 2, Amsterdam.
- HAENEL, H.D. (HERAUSGEBER) (2010): Calculations of emissions from German agriculture - national emission inventory report (NIR) : 2010 for 2008. vTI Sonderheft 334, englisch; deutsch, Braunschweig.
- HEINEMEYER, O. UND GENSOR, A. (2006): Veränderungen der Kohlenstoffvorräte in Boden und Biomasse. In: Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2004, Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau, 2006. In: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3040.pdf>. Abrufdatum: 31.3.2011.
- HELLMANN, F., VERBURG, P.H., (2008): Spatially explicit modeling of biofuel crops in Europe, Biomass and Bioenergy, Article in Press (2008), 1-14.
- HELMING, J., JANSEN, S., VAN MEIJL, H., TABEAU, A., (2010): European farming and post 2013 CAP measures; A quantitative impact assessment study, LEI Report 20120-085, Alterra report 2103, LEI, part of Wageningen UR, The Hague.
- HENSELER, M., WIRSIG, A., KRIMLY, T. (2006): Anwendung des Regionalmodells ACRE in zwei interdisziplinären Projekten. Land- und Ernährungswirtschaft im Wandel -Aufgaben und Herausforderungen für die Agrar und Umweltinformatik, Referate der 26. GIL Jahrestagung, 06.-08. März 2006, Potsdam.
- HOVESTADT, T.; ROESER, J. MÜHLENBERG, M. (1991): Flächenbedarf von Tierpopulationen – Berichte aus der ökologischen Forschung. Forschungszentrum Jülich 1. Eschweiler.
- HÜLSBERGEN, K.J., SCHMID, H. (2008): Humusbilanzen und C-Kreisläufe in Betriebssystemen mit Bioenergieerzeugung. KTBL-Schrift 468, 151-171.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (1997): Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual (Volume 3), Paris.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2003): Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies, Japan. Darauf aufbauend der Prognosetool als Kalkulationssoftware. In: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpoglulucf/annex4a1.htm>, Abrufdatum: 19.1.2007.
- JANSSON, T., BAKKER, M., BOITIER, B., FOUGEYROLLAS, A., HELMING, J., VAN MEIJL, H., VERKERK, P.J., (2008): Cross sector land use modelling framework. In: HELMING, K., PÉREZ-SOBA, M., TABBUSH, P., (EDS.) (2008): Sustainability Impact Assessment of Land Use Changes, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- KANTELHARDT, J., HÜBNER, R., 2010: Monetäre Bewertung landwirtschaftsbezogener Ökosystemleistungen, in agrarische rundschau, Heft 6 Dezember 2010, Ökosoziales Forum Österreich (Hrsg.).

- KAULE, G., STAHR, K., ZEDDIES, J., ANGENENDT, E., BAKARA, H., BILLEN, N., KONOLD, A., JOOSS, R., MARGGRAF, V., SCHWARZ-V. RAUMER, H.-G.: 2011: Ergebnisbericht der Projekte „Nachwachsende Energieträger und Biodiversität: naturschutzbezogene und ökonomische Entwicklung und Bewertung von Anbauszenarien (NawEnNat)“ und „Abschätzung der Produktionspotenziale für den Anbau von Energiepflanzen zur CO<sub>2</sub>-Bindung in Baden-Württemberg und deren ökologische und ökonomische Bewertung“.  
In: [http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/100869/bwb27003\\_27006\\_u\\_bwk27003.pdf?command=downloadContent&filename=bwb27003\\_27006\\_u\\_bwk27003.pdf&FIS=203](http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/100869/bwb27003_27006_u_bwk27003.pdf?command=downloadContent&filename=bwb27003_27006_u_bwk27003.pdf&FIS=203), Abrufdatum: 7.9.2011.
- KAZENWADEL, G., 1999: Ökonomisch/Ökologische Beurteilung von regionalen Agrar- und Umweltprogrammen in der Europäischen Union. Agrarwirtschaft Sonderheft 162, Agrimedia Verlag, Bergen/Dumme.
- KIRCHGESSNER, M., WINDISCH, W., MÜLLER, H.-L. (1994): Methane release from dairy cows and pigs. In: Publication – European Association for Animal Production, Vol. 76.
- KRAYL, E. (1993): Strategien zur Verminderung der Stickstoffverluste aus der Landwirtschaft. Wissenschaftsverlag Vauk, Kiel.
- KTBL – KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT: Datensammlung Standarddeckungsbeiträge, Internetangebot.
- KTBL – KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (2004): Standarddeckungsbeiträge 2000/01, 2002/02, 2002/03, mit CD. Darmstadt.
- KTBL – KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (2006): Energiepflanzen, KTBL-Datensammlung mit Internetangebot. KTBL, Darmstadt.
- KTBL UND ATB – KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT UND LEIBNIZ-INSTITUT FÜR AGRARTECHNIK POTSDAM-BORNIM E.V. (HRSG.), 2006: Energiepflanzen, KTBL-Datensammlung mit Internetangebot. KTBL, Darmstadt.
- KÜSTERMANN, B., SCHMID, H., WENSKE, K., HÜLSBERGEN, K.-J. (2006): Umwelt- und Betriebsmanagement mit dem Modell REPRO, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau, Technische Universität München.  
In: <http://subs.emis.de/LNI/Proceedings/Proceedings78/GI-Proceedings-78-31.pdf>, Abrufdatum: 20.12.2010.
- LANDTAG BADEN-WÜRTTEMBERG (2008): Drucksache 14/3351, Antrag der Abg. Dr. Bernd Murschel u.a. GRÜNE und Stellungnahme des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum, Schwerpunkte des Agrarumweltprogramms MEKA;  
In: [http://www.landtag-bw.de/WP14/Drucksachen/3000/14\\_3351\\_d.pdf](http://www.landtag-bw.de/WP14/Drucksachen/3000/14_3351_d.pdf), Abrufdatum 5.8.2010.

- LANDTAG BADEN-WÜRTTEMBERG (2009): Drucksache 14/5481, Große Anfrage der Fraktion GRÜNE und Antwort der Landesregierung, Bodenschutz in der Landwirtschaft stärken – Grünland fördern.  
In: [http://www.landtag-bw.de/WP14/Drucksachen/5000/14\\_5481\\_d.pdf](http://www.landtag-bw.de/WP14/Drucksachen/5000/14_5481_d.pdf), Abrufdatum 1.8.2011.
- LANDWIRTSCHAFTLICHES WOCHENBLATT WESTFALEN-LIPPE (2003/2004): Preise für Junghennen. Hefte 2003: 3,21,48, Hefte 2004: 4, 27, 53. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.
- LFU – BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (HRSG.), 2010a: Auswirkungen nachwachsender Rohstoffe auf Natur und Umwelt in Bayern – Teil 8: Chancen und Risiken des Anbaus nachwachsender Rohstoffe und räumliche Ausdifferenzierung in Bayern.  
In: [http://www.lfu.bayern.de/natur/nawaro/projekt/doc/teil\\_8.pdf](http://www.lfu.bayern.de/natur/nawaro/projekt/doc/teil_8.pdf), Abrufdatum: 16.12.2010.
- LFU – BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (HRSG.), 2010b: Auswirkungen nachwachsender Rohstoffe auf Natur und Umwelt in Bayern – Teil 7: Fallbeispiel aus dem Landkreis Traunstein: Konkurrenz um Ackerflächen und Grünlandumbruch.  
In: [http://www.lfu.bayern.de/natur/nawaro/projekt/doc/teil\\_7.pdf](http://www.lfu.bayern.de/natur/nawaro/projekt/doc/teil_7.pdf), Abrufdatum: 16.12.2010.
- LFU – BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (HRSG.), 2010c: Auswirkungen nachwachsender Rohstoffe auf Natur und Umwelt in Bayern – Teil 4: Fallbeispiel aus dem Landkreis Würzburg: Einfluss des Biomasseanbaus auf die Ackervögel am Beispiel der Wiesenweihe.  
In: [http://www.lfu.bayern.de/natur/nawaro/projekt/doc/teil\\_4.pdf](http://www.lfu.bayern.de/natur/nawaro/projekt/doc/teil_4.pdf). Abrufdatum: 16.12.2010.
- LFU – BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (HRSG.), 2010d: Auswirkungen nachwachsender Rohstoffe auf Natur und Umwelt in Bayern – Teil 3: Fallbeispiel aus dem Landkreis Ansbach: Grünlandumbruch und Auswirkungen auf wiesenbrütende Vogelarten.  
In: [http://www.lfu.bayern.de/natur/nawaro/projekt/doc/teil\\_3.pdf](http://www.lfu.bayern.de/natur/nawaro/projekt/doc/teil_3.pdf). Abrufdatum: 16.12.2010.
- LFU – BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (HRSG.), 2010e: Auswirkungen nachwachsender Rohstoffe auf Natur und Umwelt in Bayern – Teil 9: Empfehlungen zur naturverträglichen und nachhaltigen Bioenergieerzeugung.  
In: [http://www.lfu.bayern.de/natur/nawaro/projekt/doc/teil\\_9.pdf](http://www.lfu.bayern.de/natur/nawaro/projekt/doc/teil_9.pdf). Abrufdatum: 16.12.2010.
- LÖTHE, K. (1999): Strategien zur Vermeidung von Gasemissionen aus verschiedenen landwirtschaftlichen Betriebssystemen. Wissenschaftsverlag Vauk, Kiel.
- LOUHICHI, K., KANELLOPOULOS, A., JANSEN, S., FLICHTMAN, G., BLANCO, M., HENGSDIJK, H., HECKELEI, T., BERENTSEN, P., LANSINK, A. O., VAN ITTERSUM, M., (2010): FSSIM, a bio-economic farm model for simulating the response of EU farming systems to agricultural and environmental policies, *Agricultural Systems* 103, 585-597.

- MITTENZWEI, K., FJELLSTAD, W., DRAMSTAD, W., FLATE, O., GJERTSEN, A.K., LOUREIRO, M., PRESTEGARD, S.S., 2007: Opportunities and limitations in assessing the multifunctionality of agriculture within the CAPRI model. *Ecological Indicators*, 7 (2007) 827-838. Elsevier-Verlag.
- MKULNV - MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, (2010): Natur im Wandel Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Nordrhein-Westfalen. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Referat Öffentlichkeitsarbeit, Düsseldorf (Hrsg.).
- MLR – MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM, ABTEILUNG 5 WALDWIRTSCHAFT UND NATURSCHUTZ, 2005: Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse, Wirtschaftsjahr 2003/2004, Heft 53, Stuttgart.
- MLR – MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM, ABTEILUNG 5 WALDWIRTSCHAFT UND NATURSCHUTZ, 2006: Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse, Wirtschaftsjahr 2004/2005, Heft 54, Stuttgart.
- MLR – MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM BADEN-WÜRTTEMBERG, ABTEILUNG 5 WALDWIRTSCHAFT UND NATURSCHUTZ, 2007a: Klimawandel und biologisch Vielfalt – welche Anpassungen von Naturschutzstrategien sind erforderlich?, Stuttgart.
- MLR – MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM, ABTEILUNG 5 WALDWIRTSCHAFT UND NATURSCHUTZ, 2007b: Gliederung des Landes Baden-Württemberg nach Vergleichsgebieten (VG).  
In: [http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB//show/1206952/mlr\\_heft%2055%2012\\_14.pdf](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB//show/1206952/mlr_heft%2055%2012_14.pdf), Abrufdatum: 9.3.2011.
- MLR – MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM, ABTEILUNG 5 WALDWIRTSCHAFT UND NATURSCHUTZ, 2007c: Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse, Wirtschaftsjahr 2005/2006, Heft 55, Stuttgart.
- MLR – MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM, ABTEILUNG 5 WALDWIRTSCHAFT UND NATURSCHUTZ, 2008: Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse, Wirtschaftsjahr 2006/2007, Heft 56, Stuttgart.
- MLR – MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM, ABTEILUNG 5 WALDWIRTSCHAFT UND NATURSCHUTZ, 2009: Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse, Wirtschaftsjahr 2007/2008, Heft 57, Stuttgart.
- MLR – MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM, ABTEILUNG 5 WALDWIRTSCHAFT UND NATURSCHUTZ, 2010a: Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse, Wirtschaftsjahr 2008/2009, Heft 58, Stuttgart.

- MLR – MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM, ABTEILUNG 5  
WALDWIRTSCHAFT UND NATURSCHUTZ, 2010b: Rinderhaltung der landwirtschaftlichen Betriebe.  
In: [http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/SRDB/Tabelle.asp?H= Landwirtschaft&U=03&T=05035035&E=LA&R=LA](http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/SRDB/Tabelle.asp?H=Landwirtschaft&U=03&T=05035035&E=LA&R=LA), Abrufdatum: 10.6.2011.
- MLR – MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM, ABTEILUNG 5  
WALDWIRTSCHAFT UND NATURSCHUTZ, 2011a: Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse, Wirtschaftsjahr 2009/2010, Heft 59, Stuttgart.
- MLR – MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM, ABTEILUNG 5  
WALDWIRTSCHAFT UND NATURSCHUTZ, 2011b: Pressemitteilung 145/2011: Landesregierung schützt wertvolle Kulturlandschaft und bereitet ein generelles „Umbruchverbot“ für Grünland vor.  
In: [http://www.mlr.baden-wuerttemberg.de/Landesregierung\\_schuetzt\\_wertvolle\\_Kulturlandschaft\\_und\\_bereitet\\_ein\\_generelles\\_Umbruchverbot\\_fuer\\_Gruenland\\_vor/98391.html](http://www.mlr.baden-wuerttemberg.de/Landesregierung_schuetzt_wertvolle_Kulturlandschaft_und_bereitet_ein_generelles_Umbruchverbot_fuer_Gruenland_vor/98391.html), Abrufdatum: 17.08.2011.
- MÜLLER, K., ZANDER, P., UCKERT, G.B., SCHULER, J., WERNER, A., HUFNAGEL, J., GLEMNITZ, M., SATTLER, C. (2008): Endbericht für das DBU-Projekt: „Wege zur naturschutzgerechten Erzeugung von Energiepflanzen für Biogasanlagen: Verfahren, Betriebe, Rahmenbedingungen“, Leibniz-Zentrum für Agrarlandforschung (ZALF) e.V., Müncheberg.
- OECD - ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 2001: Multifunctionality. Towards an Analytical Framework., Paris.  
In: <http://www.oecd.org/dataoecd/62/38/40782727.pdf>, Abrufdatum: 4.11.2010.
- ÖKO-INSTITUT, (2010): Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.5. Institut für angewandte Ökologie e.V. (Öko-Institut) Freiburg. Freie Software.  
In: <http://www.oeko.de/service/gemis/>, Abrufdatum: 14.7.2010.
- PATYK, A. UND REINHARDT, G.A. (1997): Düngemittel – Energie- und Stoffstrombilanzen. Vieweg Verlag, Brunschweig/Wiesbaden.
- PÉREZ DOMÍNGUEZ I., BEZLEPKINA I., HECKELEI T., OUDE LANSINK A., ROMSTAD E., KANELLOPOULOS A (2008): EXPAMOD: A methodological Tool for Linking Farm and Market Models by Means of Econometric Response Functions. In: 12th Congress of the European Association of Agricultural Economists – EAAE 2008.
- PLIENINGER, T. UND SCHLEYER, C., 2010: Konzept der Ökosystemleistungen im Kontext der Europäischen Landwirtschaft, in agrarische rundschau, Heft 6 Dezember 2010, Ökosoziales Forum Österreich (Hrsg.).
- PROLAND, (2002): Umweltinformationssystem Modell ProLand.  
In: <http://www.uni-giessen.de/sfb299/uis/proland.htm>, Abrufdatum: 7.10.2010.
- PROLAND, (2011): Landnutzungskonzepte für periphere Regionen,  
In: <http://www.sfb299.de/index.php?id=18>, Abrufdatum: 3.1.2011.

- REINHARDT, G.A. (1993): Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzierung nachwachsender Rohstoffe. Theoretische Grundlagen und Fallstudie Raps. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, S.63 ff.
- RÖSCH, C.; RAAB, K.; SKARKA, J.; STELZER, V. (2007): Energie aus dem Grünland - eine nachhaltige Entwicklung? Karlsruhe: Forschungszentrum Karlsruhe, (Wissenschaftliche Berichte, FZKA 7333).
- RUSER, R. (2008): Klimawirkung der Düngung: Wie wirken sich N-Düngung und Bewirtschaftung auf N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Böden aus? In: Bundesarbeitskreis Düngung (BAD) (Hrsg.): Klimawandel und Bioenergie – Pflanzenproduktion im Spannungsfeld zwischen politischen Vorgaben und ökonomischen Rahmenbedingungen (Tagung 22./23. April 2008 in Würzburg); S. 113–123. BAD, Frankfurt/Main.
- SCHÄFER, M., 2006: Abschätzung der Emissionen klimarelevanter Gase aus der Landwirtschaft Baden-Württembergs und Bewertung von Minderungsstrategien unter Nutzung eines ökonomisch-ökologischen Regionalmodells. Shaker Verlag, Aachen.
- SEAMLESS, (2009): Science for Integrated Assessment of Agricultural Systems in Europe.  
In: [http://www.seamless-ip.org/PDF\\_files/Seamless7may.pdf](http://www.seamless-ip.org/PDF_files/Seamless7may.pdf), Abrufdatum 15.9.2010.
- SENSOR, (2009): Tools for Impact Assessment.  
In: [http://www.zalf.de/home\\_ip-sensor/products/SENSOR\\_ToolsforImpactAsses sment.pdf](http://www.zalf.de/home_ip-sensor/products/SENSOR_ToolsforImpactAsses%20sment.pdf), Abrufdatum: 16.9.2010.
- SHAHBATI, A. UND GOSWAMI. Y. (1986): On-Farm and Off-Farm Energy Use. In Goswami (Ed.): alternative Energy in Agriculture. Vol. 1, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- SHERIDAN, P., (2010): Das Landnutzungsmodell ProLand – Erweiterungen, Operationalisierungen, Anwendungen, Dissertationsschrift an der Universität Gießen.
- SRU – SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN, 2011: Wege zur 100% erneuerbaren Stromversorgung, Sondergutachten.  
In: [http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02\\_Sondergutachten/2011\\_Sondergutachten\\_100Prozent\\_Erneuerbare.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2011_Sondergutachten_100Prozent_Erneuerbare.pdf?__blob=publicationFile), Abrufdatum: 20.3.2011.
- STALA - STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (2008): Sonderabfrage aus der Bodennutzungshaupterhebung, 2003.
- STALA – STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, 2010: Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen (Quellenbilanz) in Baden-Württemberg seit 1990.  
In: [http://www.statistik-portal.de/UmweltVerkehr/Indikatoren/LV-KG\\_co2energie.asp](http://www.statistik-portal.de/UmweltVerkehr/Indikatoren/LV-KG_co2energie.asp). Abrufdatum: 16.3.2011.

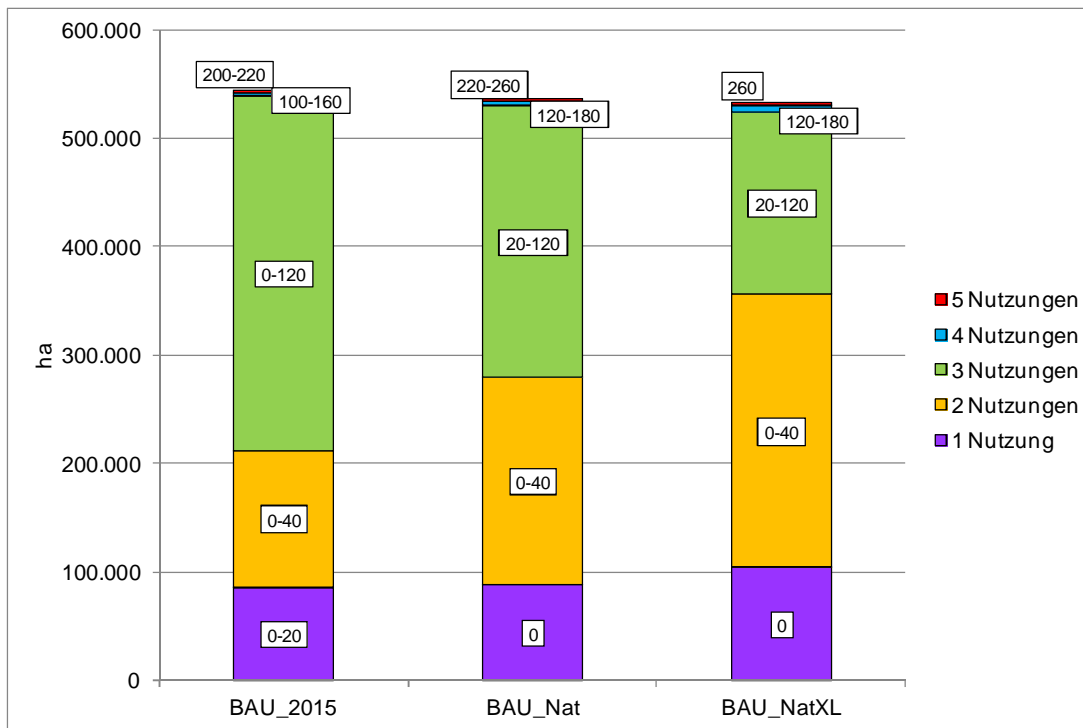
- STALA - STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, 2011a: Treibhausgas (THG)-Emissionen (CO<sub>2</sub>, Methan, Lachgas) in Baden-Württemberg.  
In: [http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/UmweltVerkehr/Landesdaten/l1b00\\_THG.asp](http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/UmweltVerkehr/Landesdaten/l1b00_THG.asp), Abrufdatum: 15.5.2011.
- STALA - STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, 2011b: Struktur und Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in Baden-Württemberg.  
In: <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/UmweltVerkehr/Landesdaten/LRt1003.asp>. Abrufdatum: 15.5.2011.
- STALA - STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, 2011c: Methan (CH<sub>4</sub>)-Emissionen in Baden-Württemberg.  
In: <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/UmweltVerkehr/Landesdaten/l1b07.asp>, Abrufdatum: 25.5.2011.
- STATISTISCHES JAHRBUCH (2006): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- STEURER, B., 2010: Kalkulation naturschutzrelevanter Prämien im Agrarumweltprogramm, in agrarische rundschau, Heft 6 Dezember 2010, Ökosoziales Forum Österreich (Hrsg.).
- TEEB – THE ECONOMICS OF ECOSYSTEMS AND BIODIVERSITY, 2010a: Die ökonomische Bedeutung der Natur in Entscheidungsprozesse integrieren, Ansatz, Schlussfolgerungen und Empfehlungen von TEEB – Eine Synthese-, Landwirtschaftsverlag, Münster.
- TEEB – THE ECONOMICS OF ECOSYSTEMS AND BIODIVERSITY, 2010b: Die TEEB Berichte.  
In: [http://www.teebweb.org/Portals/25/TEEB%20Synthesis/TEEB\\_Insert\\_D\\_web.pdf](http://www.teebweb.org/Portals/25/TEEB%20Synthesis/TEEB_Insert_D_web.pdf). Abrufdatum: 8.12.2011.
- THEESFELD, I., SCHLEYER, C., HAGEDORN, K., CALLOIS, J.-M., AZNAR, O., ALKAN.OLSSON, J., (2010): The Institutional Dimension in Policy Assessment. In: BROUWER, F. M., VAN ITTERSUM, M. (EDS.) (2010): Environmental and Agricultural Modelling - Integrated Approaches for Policy Impact Assessment, Springer Science + Business Media B.V. 2010.
- TRIEBE, S., 2007: Reduktion von Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft, Dargestellt für die Bundesländer Brandenburg und Niedersachsen. EULVerlag, Reihe: Agrarökonomie Band 1, Lohmar-Köln.
- UBA – UMWELTBUNDESAMT, 2010a: Presseinformation Nr.13/2010.  
In: [http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2010/pd10-013\\_klimaschutz\\_treibhausgasemissionen\\_im\\_jahr\\_2009\\_um\\_8\\_4\\_prozent\\_gesunken.htm](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2010/pd10-013_klimaschutz_treibhausgasemissionen_im_jahr_2009_um_8_4_prozent_gesunken.htm). Abrufdatum: 16.3.2011.
- UBA – UMWELTBUNDESAMT, 2010b: Presseinformation Nr.13/2010.  
In: [http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2010/pdf/pd10-013\\_treibhausgasemissionen\\_grafiken.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2010/pdf/pd10-013_treibhausgasemissionen_grafiken.pdf). Abrufdatum: 16.3.2011.

- UM – UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (HRSG.), 2005: Klimaschutz 2010 Konzept für Baden-Württemberg.  
In: [http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/20968/Kurzfassung\\_Klimaschutz\\_2010.pdf?command=downloadContent&filename=Kurzfassung\\_Klimaschutz\\_2010.pdf](http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/20968/Kurzfassung_Klimaschutz_2010.pdf?command=downloadContent&filename=Kurzfassung_Klimaschutz_2010.pdf). Abrufdatum: 16.12.2010.
- UM – UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (HRSG.), 2009: Statusbericht Klimaschutzkonzept 2010.  
In: [http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/59271/\\_Statusbericht\\_Klimaschutzkonzept\\_2010.pdf?command=downloadContent&filename=\\_Stat usbericht\\_Klimaschutzkonzept\\_2010.pdf](http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/59271/_Statusbericht_Klimaschutzkonzept_2010.pdf?command=downloadContent&filename=_Stat usbericht_Klimaschutzkonzept_2010.pdf). Abrufdatum: 16.3.2011.
- UVM UND LUBW - MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG UND LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (HRSG.), 2010: Klimawandel in Baden-Württemberg, Fakten – Folgen – Perspektiven.  
In: [http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/72215/Klimawandel\\_in\\_Baden-Wuerttemberg.pdf?command=downloadContent&filename=Klimawandel\\_in\\_Baden-Wuerttemberg.pdf](http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/72215/Klimawandel_in_Baden-Wuerttemberg.pdf?command=downloadContent&filename=Klimawandel_in_Baden-Wuerttemberg.pdf). Abrufdatum: 8.2.2011.
- UVM UND WM – MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG UND WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (HRSG.), 2010: Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2009, Stuttgart.
- VAN ITTERSUM, M.K., EWERT, F., HECKELEI, T., WERY, J., ALKAN OLSSON, J., ANDERSEN, E., BEZLEPKINA, I., BROUWER, F., DONATELLI, M., FLICHTMAN, G., OLSSON, L., RIZZOLI, A., VAN DER WAL, T., WIEN, J.E., WOLF, J., (2008): Integrated assessment of agricultural systems – A component-based framework for the European Union (SEAMLESS). *Agricultural Systems*, 96 (2008), 150-165. Elsevier-Verlag.
- VAN TONGEREN, F., VAN MEIJL, H., SURRY, Y., (2001): Global models applied to agricultural and trade policies: a review and assessment. *Agricultural Economics* 26, 149–172.
- WBA – WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT AGRARPOLITIK BEIM BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2007): Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik -, verabschiedet im November 2007.
- WINTER, T. (2005): Ein Nichtlineares Prozessanalytisches Agrarsektormodell für das Einzugsgebiet der oberen Donau Ein Beitrag zum Decision-Support-System Glowa-Danubia.
- WM – Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.), 2010: Biomasseaktionsplan Baden-Württemberg, Erste Fortschreibung.  
In: [http://www.wm.baden-wuerttemberg.de/fm7/1106/Biomasse-Aktionsplan\\_Fortschreibung.pdf](http://www.wm.baden-wuerttemberg.de/fm7/1106/Biomasse-Aktionsplan_Fortschreibung.pdf). Abrufdatum: 16.12.2010.
- ZMP – ZENTRALE MARKT- UND PREISBERICHTSTELLE (2003): ZMP-Marktbilanz Vieh und Fleisch. Bonn.

- ZMP – ZENTRALE MARKT- UND PREISBERICHTSTELLE (2004a): ZMP-Marktbilanz Eier und Geflügel. Bonn.
- ZMP – ZENTRALE MARKT- UND PREISBERICHTSTELLE (2004b): ZMP-Marktbilanz Getreide, Ölsaaten, Futtermittel. Bonn.
- ZMP – ZENTRALE MARKT- UND PREISBERICHTSTELLE (2004c): ZMP-Marktbilanz Kartoffeln. Bonn.
- ZMP – ZENTRALE MARKT- UND PREISBERICHTSTELLE (2004d): ZMP-Marktbilanz Milch. Bonn.
- ZMP – ZENTRALE MARKT- UND PREISBERICHTSTELLE (2004e): ZMP-Marktbilanz Vieh und Fleisch. Bonn.
- ZMP – ZENTRALE MARKT- UND PREISBERICHTSTELLE (2005a): ZMP-Marktbilanz Eier und Geflügel. Bonn.
- ZMP – ZENTRALE MARKT- UND PREISBERICHTSTELLE (2005b): ZMP-Marktbilanz Getreide, Ölsaaten, Futtermittel. Bonn.
- ZMP – ZENTRALE MARKT- UND PREISBERICHTSTELLE (2005c): ZMP-Marktbilanz Vieh und Fleisch. Bonn.

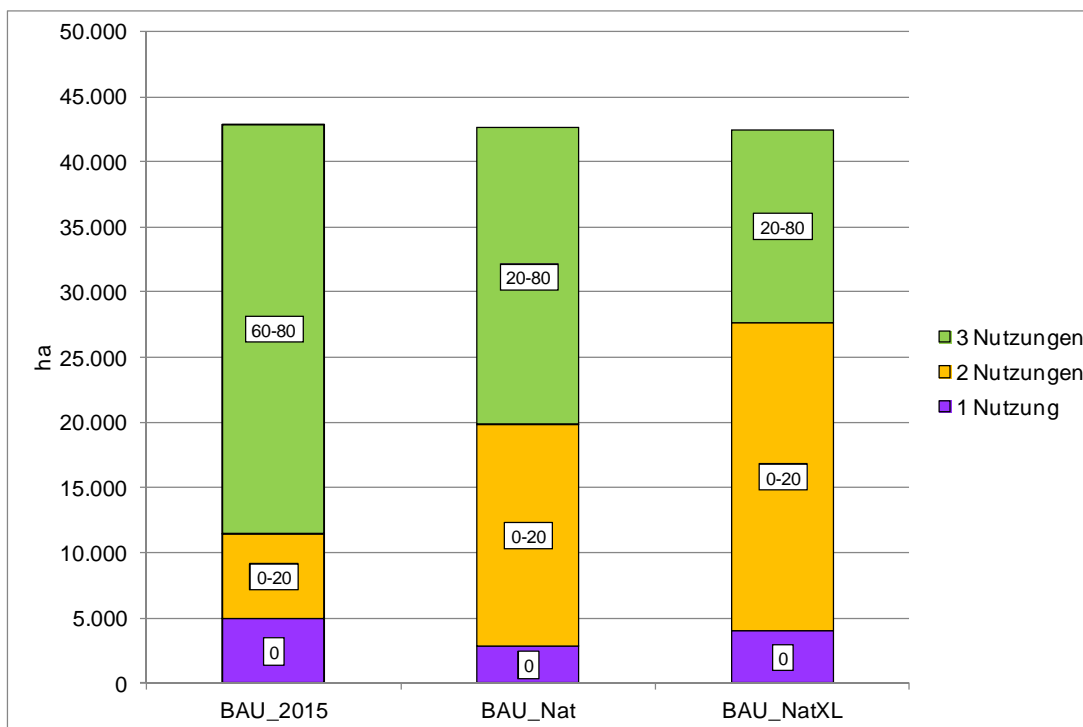
## Anhang

Anhang 1: Grünlandnutzung in den Szenarien BAU\_2015, BAU\_Nat und BAU\_NatXL in Baden-Württemberg



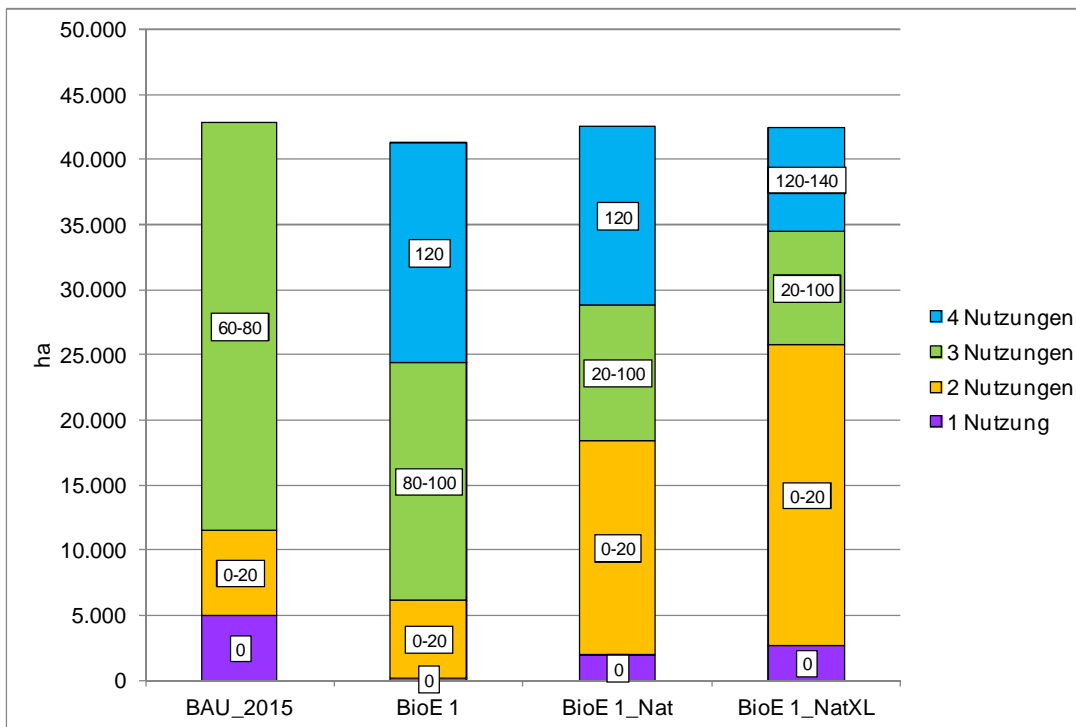
Quelle: eigene Berechnungen

Anhang 2: Grünlandnutzung in den Szenarien BAU\_2015, BAU\_Nat und BAU\_NatXL in VGG\_1



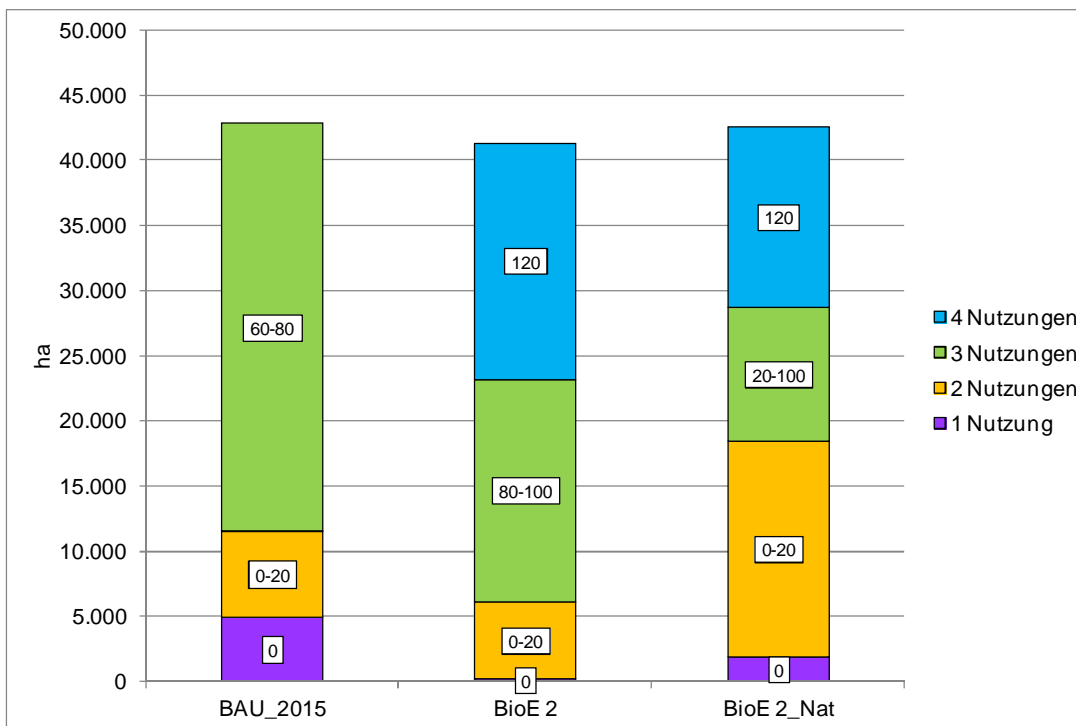
Quelle: eigene Berechnungen

**Anhang 3:** Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 1, BioE 1\_Nat und BioE 1 NatXL im Vergleich zum Szenario BAU\_2015 in VGG\_1



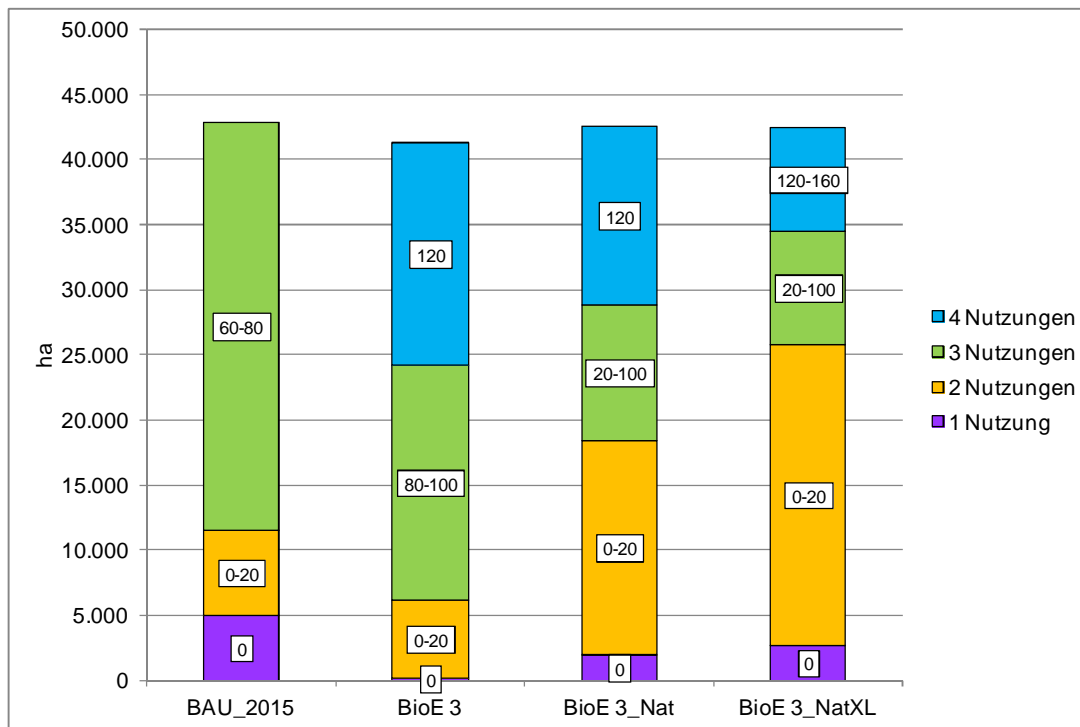
Quelle: eigene Berechnungen

**Anhang 4:** Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 2 und BioE 2\_Nat im Vergleich zum Szenario BAU\_2015 in VGG\_1



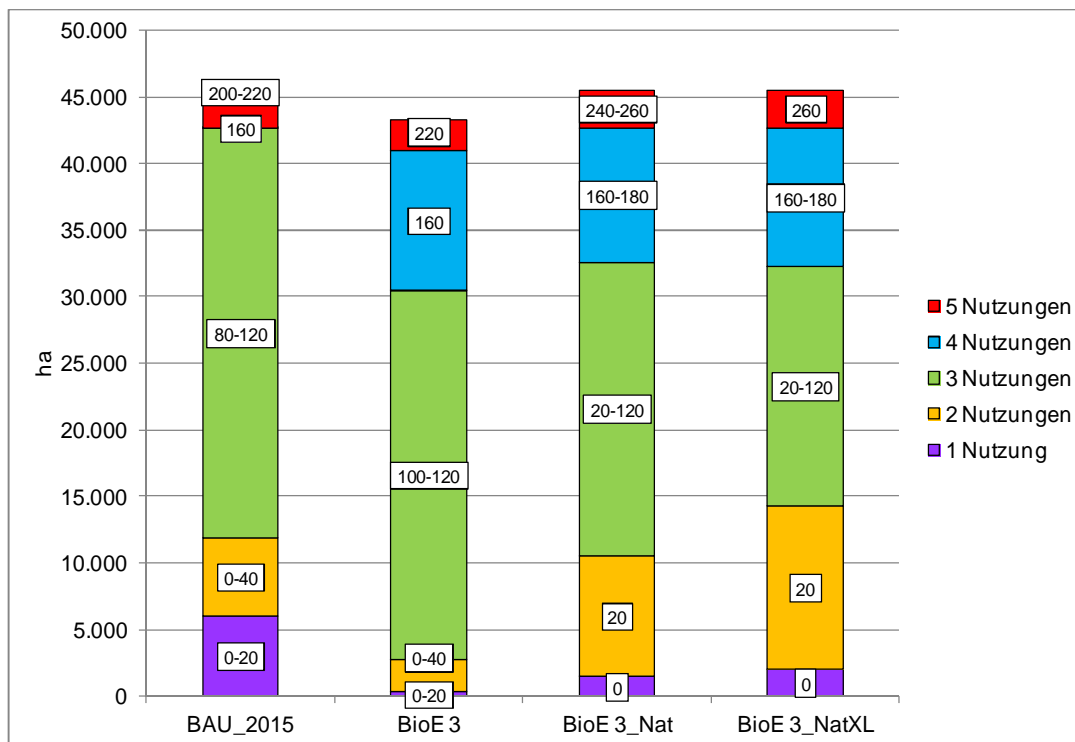
Quelle: eigene Berechnungen

**Anhang 5:** Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 3, BioE 3\_Nat und BioE 3 NatXL im Vergleich zum Szenario BAU\_2015 in VGG\_1



Quelle: eigene Berechnungen

**Anhang 6:** Grünlandnutzung in den Szenarien BioE 3, BioE 3\_Nat und BioE 3 NatXL im Vergleich zum Szenario BAU\_2015 in VGG\_5



Quelle: eigene Berechnungen

## Bisher erschienene Forschungsberichte:

- 1/2006 **Gamer, Wilhelm, Jürgen Zeddies:** Bilanzen von potenziell umweltbelastenden Nährstoffen (N, P, K und S) der Landwirtschaft in Baden-Württemberg
- 2/2006 **Pohl, Tobias, Oliver Henniges:** Ausdehnungspotenzial des Zuckerrohranbaus in Zentral-Süd-Brasilien unter Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte
- 3/2006 **Zeddies, Götz:** Gesamtwirtschaftliche Effekte der Förderung regenerativer Energien, insbesondere der Biomasse – Eine kritische Beurteilung vor dem Hintergrund modelltheoretischer Konzeptionen
- 4/2006 **Schüttel, Carsten, Oliver Henniges:** Positionen der deutschen Mineralöl- und Automobilunternehmen zu Biokraftstoffen unter spezieller Berücksichtigung einer Beimischung von Bioethanol zu Ottokraftstoffen
- 5/2006 **Zeddies, Jürgen, Manfred Köhne, Enno Bahrs, Christian Janze, Wilhelm Gamer und Beate Zimmermann:** Comparison of the accounting standards used in FADN with the International Accounting Standards (IAS)
- 6/2006 **Zeddies, Jürgen:** Rohstoffverfügbarkeit für die Produktion von Biokraftstoffen in Deutschland und in der EU-25 (deut. Version)  
The Availability of Raw Materials for the Production of Biofuels in Germany and in the EU-25 (engl. Version)
- 7/2006 **Zeddies, Jürgen, Ludwig Gekle:** Zur Weiterentwicklung der Beitragsbemessung in der Landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft Baden-Württemberg
- 8/2008 **Potchanasin, Chakrit:** Simulation of the Sustainability of Farming Systems in Northern Thailand
- 9/2008 **Barning, Roland:** Economic Evaluation of Nitrogen Application in the North China Plain
- 10/2009 **Schönleber, Nicole:** Entwicklung der Nahrungsmittelnachfrage und der Angebotspotenziale der Landwirtschaft in der Europäischen Union
- 11/2009 **Schweizer, Tobias:** Agricultural potential of bioenergy production in Peru - With special focus on the impact on smallholders using the example of *Jatropha curcas*
- 12/2011 **Blank, Daniel:** Agriculture as Emission Source and Carbon Sink: Economic-Ecological Modelling for the EU-15
- 13/2012 **Blanck, Niklas, Bahrs, Enno:** Die ertragsteuerliche Risikoausgleichsrücklage für Einkünfte aus Land- und Forstwirtschaft: Analyse und Bewertung
- 14/2012 **Bahrs, Enno:** Beitragsgestaltung in der Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau
- 15/2012 **Konold, Angelika:** Nachhaltiger Anbau von Bioenergie: eine ökonomisch-ökologische Analyse für die Landwirtschaft in Baden-Württemberg