

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

INSTITUT FÜR AGRARTECHNIK

Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme

Prof. Dr. T. Jungbluth

Universität Hohenheim (440b), 70593 Stuttgart



Dr. Eva Gallmann

Beurteilung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung

Habilitationsschrift

Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim

2011

URKUNDE



Frau Dr. sc. agr. Eva Gallmann

geboren am 9. September 1970 in Aachen

hat mit der Habilitationsschrift

„Beurteilung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung“

sowie den übrigen Habilitationsleistungen
der Fakultät Agrarwissenschaften die

Habilitation im Fach Verfahrenstechnik der Tierhaltung

am 18. Mai 2011 erfolgreich abgeschlossen.



Hohenheim, 18. Mai 2011

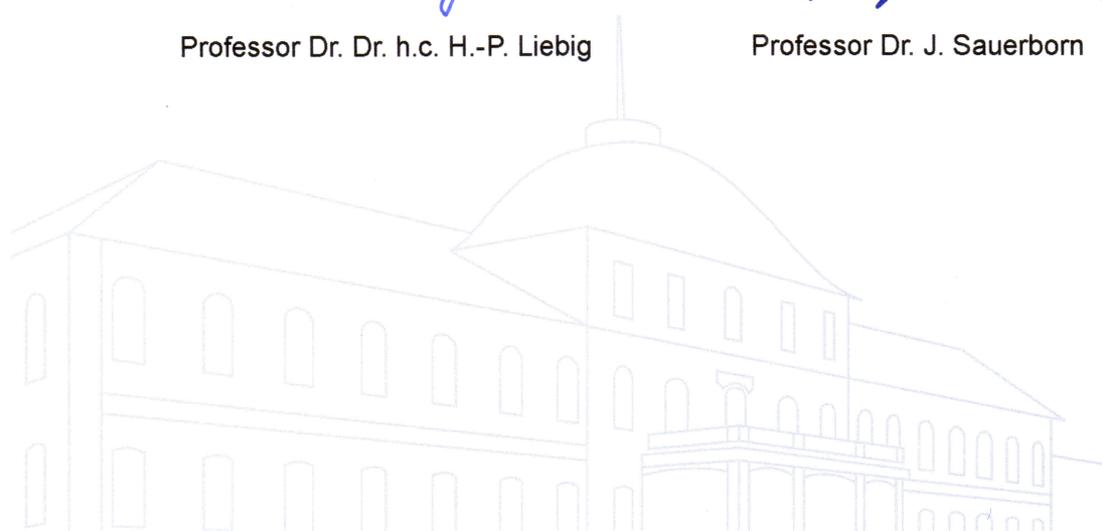
Der Rektor

Professor Dr. Dr. h.c. H.-P. Liebig

Der Dekan

Professor Dr. J. Sauerborn

UNIVERSITÄT HOHENHEIM



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung.....	3
2	Begriffsdefinitionen	4
2.1	Geruchsdefinitionen	4
2.2	Schwellendefinitionen	5
2.3	Quantitative Beschreibung.....	7
2.4	Qualitative Beschreibung	11
2.5	Umweltwirkung.....	13
2.6	Messverfahren	17
3	Geruchswahrnehmung und Belästigungsempfinden	23
3.1	Eigenschaften des Geruchssinnes	23
3.2	Geruchsbeschreibung.....	28
3.3	Belästigung	34
4	Gerüche aus der Tierhaltung	41
4.1	Geruchsstoffe.....	41
4.1.1	Eigenschaften	41
4.1.2	Geruchsstoffe aus der Tierhaltung.....	42
4.1.3	Leitkomponenten oder Geruchsindikatoren	45
4.1.4	Fazit	46
4.2	Geruchseintrag - Immission	47
4.2.1	Quelle und Ursache - Emission	47
4.2.1.1	Einflussfaktoren und Minderungsmaßnahmen.....	47
4.2.1.2	Geruchsemissionsfaktoren	49
4.2.1.3	Messunsicherheit der Olfaktometrie	53
4.2.2	Transport – Transmission	54
4.2.3	Ausbreitungsmodellierung - Prognose.....	55
4.2.3.1	Modellansätze – analytisch oder numerisch	56
4.2.3.2	Modellierung der Immission - Fluktuation	58
4.2.3.3	Modellanwendungen – national und international.....	60
4.2.3.4	Validierung und Qualitätssicherung	64
4.2.3.5	Sonderfälle und Screeningverfahren	69
4.2.4	Messungen im Umfeld von Tierhaltungsanlagen.....	73
4.2.4.1	Schweinehaltung.....	73
4.2.4.2	Rinderhaltung.....	77
4.2.4.3	Messunsicherheit von Begehungen.....	82

4.2.5	Immissionsminderungsmaßnahmen	85
4.2.6	Ergebnisse eigener Untersuchungen	91
4.2.6.1	Emissionsmessungen	93
4.2.6.2	Windmessungen.....	98
4.2.6.3	Rasterbegehungen.....	101
4.2.6.4	Vergleich mit Ausbreitungsrechnung.....	116
4.2.7	Fazit.....	124
4.3	Hedonische Geruchswirkung	126
4.3.1	Tierhaltungsgerüche im Vergleich.....	126
4.3.2	Ergebnisse eigener Untersuchungen	131
4.3.3	Fazit.....	135
4.4	Belästigungswirkung	136
4.4.1	Exposition und Wirkung.....	136
4.4.2	Ergebnisse eigener Untersuchungen	144
4.4.3	Fazit.....	150
5	Ansätze zur Beurteilung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung.....	151
5.1	Berücksichtigung von Tierartunterschieden in Beurteilungsverfahren	151
5.1.1	Faktorgewichtung der Tiermasse oder Tierzahl	152
5.1.2	Faktorgewichtung der Geruchsimmission	154
5.1.3	Fazit.....	157
5.2	Abstandsregelungen	158
5.2.1	Tierartspezifische Regelungen.....	158
5.2.2	Tierartübergreifende Regelungen	162
5.2.2.1	Gewichtung von Tiermasse oder Tierzahl und Bewertungsfaktoren.....	163
5.2.2.2	Empirische Abstandsmodelle	167
5.2.3	Fazit.....	171
5.3	Begrenzung von Geruchsimmissionen	172
5.3.1	Begrenzung der Geruchsstundenhäufigkeit.....	172
5.3.2	Begrenzung der Geruchsimmissionskonzentration.....	175
5.3.3	Fazit.....	178
6	Schlussfolgerungen.....	180
6.1	Wege zur Beurteilung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung	180
6.2	Forschungsbedarf und Ausblick.....	187
7	Zusammenfassung.....	189
8	Literatur	191
9	Anhang.....	209

Abkürzungen und Symbole

ADMS	Atmospheric Dispersion Modelling System
AODM	Austrian Odour Dispersion Modell
AUSTAL	Ausbreitungsrechnung nach TA Luft
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BW	Baden-Württemberg
bzw.	beziehungsweise
C oder c	Konzentration
$C_{98,0\ 1\ h}$	Expositionsgrenzwert – 98-Perzentile des Einstunden-Mittelwertes der zulässigen Geruchskonzentration
$C_{99,5\ 1\ h}$	Expositionsgrenzwert – 99,5-Perzentile des Einstunden-Mittelwertes der zulässigen Geruchskonzentration
C_0	Konzentration an der Wahrnehmungsschwelle
CAS-Nr.	Chemical Abstracts Service Nummer (internationaler Bezeichnungsstandard für chemische Stoffe)
CH_4	Methan
CO_2	Kohlendioxid
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EEG	Elektroenzephalogramm
EROM	Europäische Referenzgeruchsmasse
e.V.	eingetragener Verein
f_{eq}	Geruchsäquivalenzfaktor

Faktoren Gleichung 5

fM	Meteorologischer Faktor
fR	Raumordnungsfaktor
fT	Tierspezifischer Geruchsfaktor
fL	Lüftungstechnischer Faktor
fE	Entmistungstechnischer Faktor
fF	Fütterungstechnischer Faktor

Faktoren Gleichung 6

FG	Gebietscharakteristischer Faktor (Schutzanspruch)
FL	Lüftungstechnischer Faktor
FM	Meteorologischer Faktor Im Sinne der Windhäufigkeit in Richtung Immissionsort
FO	Orographischer Faktor (Standard 1,0; sonst Sonderbeurteilung)
feq	Geruchsäquivalenzfaktor
fh	Hedonischer Faktor
ftech	Technologischer Faktor

Faktoren Gleichung 7

fg	Geruchsbelastungsfaktor
fKG	Korrekturfaktor Geländeform
fKHö	Korrekturfaktor Höhenlage
fKAE	Korrekturfaktor Aufstallungs-Entmistungssystem
fKHo	Korrekturfaktor Hofdüngerproduktion
fKS	Korrekturfaktor Sauberkeit
fKF	Korrekturfaktor Fütterung
fKL	Korrekturfaktor Lüftung
fKGS	Korrekturfaktor Geruchsreduzierung der Stallabluft
fKGF	Korrekturfaktor Geruchsreduzierung bei der Flüssigmistlagerung

FIDOL Frequency, Intensity, Duration, Offensiveness, Location

g Gramm

G Geruch / Geruchsemission

GAK Geruchsausbreitung in Kaltluftabflüssen

GB Geruchsbelastung

GERDA Geruchsdatenbank

GE Geruchseinheit

GE_E Europäische Geruchseinheit

GE/m³ Geruchs(stoff)konzentration

GE_{im}/m³ Geruchs(stoff)konzentration immissionsseitig

ggf. gegebenenfalls

GIRL Geruchsimmissionsrichtlinie

GC Gaschromatograph

GV Großvieheinheit

GV_{GE} Geruchsbezogene Großvieheinheiten

h	Stunde
H ₂ S	Schwefelwasserstoff
i.d.R.	in der Regel
ISO	International Organisation for Standardization
K _s , K _{WF}	Koeffizienten der physiologischen Wahrnehmung
Kg	Kilogramm
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
LASAT	Lagrange-Simulation von Aerosol-Transport
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
M _T	Tierlebensmasse in Großvieheinheiten
MISKAM	Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell
μ	Mikro
min	Minute
mol	Mol
MS	Massenspektrometrie
N	Stickstoff
n	Stichprobenumfang
NRW	Nordrhein-Westfalen
NH ₃	Ammoniak
OU _e	European Odour Unit
o.g.	oben genannt
ppb	parts per billion
P	Wahrscheinlichkeit
PM	Particulate Matter (Staub)
PM-10	Particulate Matter kleiner gleich 10 μm (Thoraxgängig, Feinstaub)
PM-2,5	Particulate Matter kleiner gleich 2,5 μm (Alveolengängig, Feinstaub)
PM-1	Particulate Matter kleiner gleich 1,0 μm

R	Intensität der Geruchsempfindung
R	Mindestabstand / Normabstand [m]
R ²	Bestimmtheitsmaß
s	Sekunde
S	Schutzabstand [m]
SF ₆	Schwefelhexafluorid
s.o.	siehe oben
sog.	sogenannte
s.u.	siehe unten
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TSP	Total Suspended Particles (Schwebstaub)
u.a.	unter anderem
UM	Umweltministerium
USA	United States of America
u.U.	unter Umständen
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
vgl.	vergleiche
VOCs	Volatile Organic Compounds
WS	Windstatistik
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
Z ₅₀	Verdünnungszahl, bei der 50% der Darbietungen keinen Geruchseindruck ("ich rieche nicht") und 50% einen Geruchseindruck ("ich rieche etwas") auslösen
Z	Tierzahl
~	ungefähr
&	und

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Geruchsschwellen-Kennlinie nach VDI 3881-4E (1989) (in SCHÖN & HÜBNER, 1996)	6
Abbildung 2:	Zusammenhang zwischen Geruchsstoffkonzentration und Geruchsintensität an einem fiktiven Beispiel (SCHÖN & HÜBNER, 1996)	11
Abbildung 3:	Beispiel für ein Stallsystem mit Zwangslüftung (aktive Punktquelle) und Auslauf (passive/diffuse Flächenquelle) (KECK et al., 2004)	14
Abbildung 4:	Exemplarische Geruchsstoffverdünnung in einer Abluffahne mit Abluffahnenüberhöhung – Emission-Transmission-Immission. (SCHIRZ, 1989)	16
Abbildung 5:	Schema des olfaktometrischen Messverfahrens und der Berechnung für den Stufenfaktor 2 (BOEKER & HAAS, 2007). (GE = Geruchseinheit; GE/m^3 = Geruchsstoffkonzentration; Z_{ITE} = Verdünnungsfaktor der einzelnen Schwellenschätzung)	18
Abbildung 6:	Feldolfaktometer: Scentometer® (links), Nasal Ranger® (rechts) (MCGINLEY & MCGINLEY, 2003)	19
Abbildung 7:	Prinzip der technisch-sensorischen Geruchsmessung (ALTRASENS, 2010)	20
Abbildung 8:	Möglichkeit zur kontinuierlichen Darstellung des Verlaufs der Geruchsstoffkonzentration in der Abluft einer Anlage durch Kombination der Sensorsignale eines Sensor-Arrays mit olfaktometrischen Referenzdaten (ALTRASENS, 2010)	20
Abbildung 9:	Skizzierung der Lage und Aufbau der Riechschleimhaut und Reizweiterleitung zum Gehirn (SCHMIDT & THEWS, 1997)	23
Abbildung 10:	Änderung der Empfindungsintensität über die Zeit bei zwei unterschiedlichen Stoffkonzentrationen und Expositions-Szenarien. Links (erste 10 min): anhaltende konstante Exposition. Rechts (zweite 10 min) intermittierend mit Erholungspausen von 30s (in MUNACK, 1997 nach VDI 3881-1, 1986)	27
Abbildung 11:	Geruchsprisma nach Henning (1916)	29
Abbildung 12:	Modell des Geruchsbeschreibungsraumes in der Parfümerie (RANDEBROCK, 1965)	30
Abbildung 13:	Fragebogen zur Polaritätenprofilmethode (RANDEBROCK, 1965)	30
Abbildung 14:	Polaritätenprofile von sechs Anlagengerüchen und der Geruchskonzepte „Duft“ und „Gestank“ (SUCKER, 2008)	31
Abbildung 15:	Beispiel für ein Geruchsradd zur Beschreibung von Abwasser (übersetzt nach BURLINGAME et al., 2002)	32
Abbildung 16:	Moderatorvariablen beim Expositions-Wirkungszusammenhang zwischen Geruchsbelastung und Geruchsbelästigung	35
Abbildung 17:	Prozentuale Häufigkeit der Unzumutbarkeitsurteile in Abhängigkeit vom selbst eingeschätzten Belästigungsgrad (Thermometerskala) (SUCKER et al., 2006)	38
Abbildung 18:	Einflussfaktoren und Minderungsmaßnahmen der Geruchsemissionen aus der Tierhaltung	48
Abbildung 19:	Spannweite der Literaturangaben zu Geruchsemissionen aus der Tierhaltung. Zusammenfassende Darstellung der von den Autoren selber benannten Minima, Maxima und Mediane oder Mittelwerte. Messungen bei unterschiedlichsten und teilweise extremen Rahmenbedingungen. Im Vergleich VDI-Konventionswerte für mittlere Jahresemission. (Bei mit * gekennzeichneten Quellen wurden Werte von Autorin berechnet) <i>Milchvieh</i> : MARTINEC et al, 1998; KRAUSE et al., 2000*; HEIDENREICH et al., 2008; <i>Hähnchenmast</i> : MARTINEC et al, 1998; GÄRTNER et al., 2009; <i>Schwein</i> : MARTINEC et al, 1998; OGINK & GROOT KOERKAMP, 2001*; DEFOER & LANGENHOVE 2003*; BROSE et al., 2002; MAIER et al., 2001; RIIS, 2006)....	50
Abbildung 20:	Geruchskonzentration von Luftproben (Haubenmessung) über planbefestigten bzw. perforierten Auslaufflächen bei unterschiedlichem	

	Verschmutzungsgrad (Darstellung von Tabellenwerten in KECK et al.; 2005) 52	
Abbildung 21:	Systematik der Ausbreitungsrechnung (NIELINGER, 2008)	55
Abbildung 22:	Prinzip des Partikelmodells (Oben: in KTBL, 2006c, Ingenieurbüro Janicke; Unten: RICHTER & RÖCKLE, 2008).....	57
Abbildung 23:	Schematische Darstellung eines Geruchsimmissionskonzentrationsverlaufes mit Mittelwert, einzelnen Momenten der Geruchswahrnehmung und des Peak-To Mean-Verhältnisses (verändert nach SCHAUBERGER et al., 2007)	58
Abbildung 24:	Skizzierung der Ablufthöhe bei unterschiedlichen Ansätzen einer Abluffahnenüberhöhung (NIELINGER, 2008)	61
Abbildung 25:	Down-Wash-Effekt bei niedrigen Quellen in Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit (WALLENFANG et al., 2002).....	61
Abbildung 26:	Vergleich der gemessenen und modellierten mittleren SF6 Konzentration von zwei Traversen (rot/hellgrau bzw. blau/dunkelgrau) einer Berechnungsvariante (JANICKE & JANICKE, 2007).....	66
Abbildung 27:	Mittelwert und Standardabweichung der Geruchsschwellenabstände von Schweine- und Geflügelställen in der Wallonie, Belgien. Darstellung von Tabellewerten in NICOLAS et al. (2008).....	75
Abbildung 28:	Gemessene Geruchsschwellenabstände für kleine Außenklimaställe für Schweine in Bayern (SCHÖPF & GRONAUER, 2003)	76
Abbildung 29:	Abhängigkeit der immissionsseitigen Geruchsintensität (gewichteter Intensitätsindex) von der Entfernung, Windgeschwindigkeit und dem Schweinestallsystem, berechnet mit einem linearen Gemischte-Effekte- Modell (KECK et al., 2005) (Nm = Mehrflächensystem, freie Lüftung mit Auslauf; Dm = Mehrflächensystem, Zwangslüftung über Dach mit Auslauf, Do = Einflächensystem, Zwangslüftung über Dach ohne Auslauf).....	77
Abbildung 30:	Betriebstypische Schwellenabstände für unterschiedlich vorgegebene prozentuale Wahrnehmungshäufigkeiten und berechnete Mindestabstände für elf Betriebe in Baden-Württemberg (Darstellung von Tabellenwerten in JUNGBLUTH & HARTUNG, 1996)	79
Abbildung 31:	Näherungsfunktionen und Begehungsdaten für den Geruchsschwellenabstand Rinderhaltung bei 0% bzw. 10% Wahrnehmungshäufigkeit im Vergleich zur Abstandskurve für Schweine nach VDI 3471 (1986) (KRAUSE et al., 2000).....	81
Abbildung 32:	Maßnahmen zur Immissionsminderung in Abhängigkeit der Einflussfaktoren auf die Transmission und Immission	86
Abbildung 33:	Simulation (NaSt3D) der Ausbreitung bei einer Anströmgeschwindigkeit von 1 m/s für unterschiedliche Ablufthöhen und Abluftgeschwindigkeiten (BOEKER, 2003)	88
Abbildung 34:	Visualisierung der Abluftausbreitung bei Queranströmung oder firstparalleler Anströmung von rechts (Laser-Lichtschnitt Aufnahme, Modellversuche im Windkanal) (bearbeitete Ausschnitte aus BREHME & KRAUSE, 2005)	89
Abbildung 35:	Strömungssimulation mit der Software Fluent 5 der Abluftwolken aus vier normalen Abluftkaminen im Vergleich zum Abluftaustritt mit doppelter Geschwindigkeit aus einem doppelt so breiten und um 4 m erhöhten Abluftkamin. Die Abluftwolke zeigt das Volumen, bei dem die Abluftkonzentration weniger als 100-fach verdünnt ist. Windgeschwindigkeit 5 m/s in 10 m Höhe (BJERG et al., 2004).....	89
Abbildung 36:	Simulation (NaSt3D) des Ausbreitungsverhaltens eines frei angeströmten Offenstalles (WALLENFANG, 2002)	90
Abbildung 37:	Simulation (NaSt3D) des Ausbreitungsverhaltens mit einem Baum als durchlässiges Strömungshindernis (WALLENFANG, 2002)	90
Abbildung 38:	Vergleichsmessungen zur Volumenstrombestimmung. Referenz: Ventilatorprüfstand (saugseitiger Kammerprüfstand nach DIN 24163). Vergleich mit der Erfassung des Strömungsprofils mit dem Messgerät TSI	

	VelociCalc (Traversierung des Kanalquerschnittes an sechs Messpunkten nach der log-Tchebycheff-Methode)	94
Abbildung 39:	Vergleichsmessung des Luftgeschwindigkeitssensors TSI VelociCalc mit definierten Strömungsgeschwindigkeiten am Referenzprüfstand (TSI®-Model 8390-Bench-top Wind Tunnel)	95
Abbildung 40:	Geruchsemissionsfaktoren für die Sauenhaltung, Ferkelaufzucht und Mastschweinehaltung, die anhand der mehrmaligen Stichprobenmessungen an den vier ausgewählten Untersuchungsbetrieben mit verschiedenen Stallteilen ermittelt wurden. (Mittelwert: quadratisches Symbol).....	96
Abbildung 41:	Geruchskonzentration und Geruchsemission in Abhängigkeit vom Volumenstrom am Mastschweinestall mit vier Abluftöffnungen am Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis)	97
Abbildung 42:	Geruchskonzentration und Geruchsemission in Abhängigkeit vom Volumenstrom anhand aller Messungen an vier unterschiedlichen Betrieben mit Sauenhaltung, Ferkelaufzucht und Mastschweinehaltung	98
Abbildung 43:	Vergleich der gemessenen Windrichtungsverteilung mit synthetischen Windrosen (WS Expert) an den vier Projektstandorten 1 bis 4 (von oben nach unten)	100
Abbildung 44:	Anzahl der Einzelmessungen (10-minütige Messzeitintervalle) mit Geruch sowie Anzahl unplausibler Messungen an den vier Projektstandorten	105
Abbildung 45:	Verteilung der Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart "Schwein" bzw. „Pute“ auf den Beurteilungsflächen vor und nach der Plausibilitätskontrolle am Projektstandort Nr. 1 (Hohenlohe)	107
Abbildung 46:	Verteilung der Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart "Schwein" bzw. „Mist“ auf den Beurteilungsflächen vor und nach der Plausibilitätskontrolle am Projektstandort Nr. 2 (Hohenlohe)	109
Abbildung 47:	Verteilung der Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart "Schwein" bzw. „Rind“ auf den Beurteilungsflächen vor und nach der Plausibilitätskontrolle am Projektstandort Nr. 3 (Ostalb)	110
Abbildung 48:	Verteilung der Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart "Schwein" bzw. „Rind“ auf den Beurteilungsflächen vor und nach der Plausibilitätskontrolle am Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis)	112
Abbildung 49:	Summe der Geruchsstunden nach 106 Begehungen an den Messpunkten und Beurteilungsflächen für die Geruchsart „Schwein“ am Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis)	113
Abbildung 50:	Vergleich der Geruchsimmissionshäufigkeit mit dem Abstandskreis nach VDI 3471 (1986) und der sektoralen Abschätzung der Beaufschlagungshäufigkeit anhand der Windrichtungsverteilung.....	114
Abbildung 51:	Abhängigkeit der berechneten Geruchsimmissionshäufigkeit auf den Beurteilungsflächen von der Definition des Geruchsstundenkriteriums	115
Abbildung 52:	Vergleich der gemessenen und berechneten Geruchshäufigkeiten in einer ersten (oben) und optimierten (unten) Berechnungsvariante für Gerüche aus der Schweinehaltung am Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis) (BUCHLEITHER & AHRENS, 2005)	119
Abbildung 53:	Vergleich der gemessenen und berechneten Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart „Rind“ am Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis) (BUCHLEITHER & AHRENS, 2005)	120
Abbildung 54:	Wahrscheinlichkeit von Geruch infolge von Kaltluftabflüssen ausgehend vom Untersuchungsbetrieb (Schweinehaltung) am Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis) (1 km Raster, genordet)	120
Abbildung 55:	Wahrscheinlichkeit von Geruch infolge von Kaltluftabflüssen ausgehend vom Putenstall am Projektstandort Nr. 1 (Hohenlohe) (1 km Raster, genordet).....	121
Abbildung 56:	Vergleich der gemessenen und berechneten Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart „Pute“ am Projektstandort Nr. 1 (Hohenlohe) (BUCHLEITHER & AHRENS, 2005)	122

Abbildung 57:	Vergleich der gemessenen und berechneten Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart „Schwein“ am Projektstandort Nr. 1 (Hohenlohe) (BUCHLEITHER & AHRENS, 2005)	122
Abbildung 58:	Vergleich der gemessenen und berechneten Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart „Schwein“ am Projektstandort Nr. 2 (Hohenlohe) (BUCHLEITHER & AHRENS, 2005)	123
Abbildung 59:	Wahrscheinlichkeit von Geruch infolge von Kaltluftabflüssen ausgehend vom Untersuchungsbetrieb (Schweinehaltung) am Projektstandort Nr. 2 (Hohenlohe) (1 km Raster, genordet).....	123
Abbildung 60:	Geruchsintensität und hedonische Geruchswirkung verschiedener Stallsysteme und Tierarten (* Anzahl Messtermine 1 bis 3; je Säule ein Stall; Intensitätsskala von 0 bis 6; Hedonikskala von -4 bis +4) (MANNEBECK & HESSE, 1998).....	126
Abbildung 61:	Hedonik als Funktion der Geruchsstoffkonzentration mit Regressionslinie und -funktion, sowie 95%-Perzentile des Konfidenzintervalls (CI) und Vorhersageintervalls (PI). Luftproben aus der Schweinemast, Milchviehhaltung (Laufstall), Bodenhaltung von Legehennen sowie einem Schweineflüssigmistausslass. Hedonikskala von -4 (äußerst unangenehm) über 0 (neutral) zu +4 (äußerst angenehm) (NIMMERMARK, 2006)	127
Abbildung 62:	Hedonische Wirkung von Schweine- und Rindergülle bei verschiedenen Temperaturen. Hedonikskala von 0 (äußerst unangenehm) über 4 (neutral) zu 9 (äußerst angenehm) (HÜGLE & ANDREE, 2001)	128
Abbildung 63:	Zusammenhang zwischen Intensität und Hedonik für unterschiedliche Geruchsqualitäten (SUCKER et al., 2006). Die Stichprobenanzahl (n) bezeichnet hier die Messzeitintervalle von Rasterbegehungen mit nach Geruchsart differenzierten, erkennbaren Geruchswahrnehmungen, die von Probanden bewertet wurden.	129
Abbildung 64:	Polaritätenprofile für die Geruchsqualitäten „Geflügel“, „Schwein“, „Rind“ und „Silage“ im Vergleich zu den Konzepten „Duft“ und „Gestank“ (nach SUCKER et al., 2006). Anzahl Profile jeweils: Duft (54), Gestank (54), Rind (47), Silage (32), Schwein (55), Geflügel (31)	130
Abbildung 65:	Häufigkeitsverteilung des Geruchszeitanteils (Oben), der Intensitätsbewertung (Mitte) und Hedonikbewertung (Unten) von Messzeitintervallen mit der Geruchsart „Schwein“ am Standort Nr. 3 (Ostalb). Intensitätsskala von 1 (sehr schwach) über 3 (deutlich) zu 6 (extrem stark); Hedonikskala von -4 (äußerst unangenehm) über 0 (neutral) zu +4 (äußerst angenehm)	132
Abbildung 66:	Häufigkeitsverteilung des Geruchszeitanteil (Oben), der Intensitätsbewertung (Mitte) und Hedonikbewertung (Unten) von Messzeitintervallen mit der Geruchsart „Schwein“ am Standort Nr. 4 (Enzkreis). Intensitätsskala von 1 (sehr schwach) über 3 (deutlich) zu 6 (extrem stark); Hedonikskala von -4 (äußerst unangenehm) über 0 (neutral) zu +4 (äußerst angenehm)	133
Abbildung 67:	Zusammenhang zwischen Intensität und Hedonik für unterschiedliche Geruchsqualitäten (SUCKER & BOTH., 2005). Die Stichprobenanzahl (n) bezeichnet hier die als Geruchsstunde gewerteten Messzeitintervalle von Rasterbegehungen an vier Projektstandorten mit nach Geruchsart differenzierten, erkennbaren Geruchswahrnehmungen, die von Probanden bewertet wurden.	134
Abbildung 68:	Beziehung zwischen der logarithmierten Geruchshäufigkeit aus Rasterbegehung bzw. Ausbreitungsrechnung als unabhängige Variable und der Geruchsbelästigung als abhängige Variable. Mittelwerte und Standardfehler sowie Regressionsgleichung mit der erklärten Varianz (verändert STEINHEIDER et al., 1998).	138
Abbildung 69:	Expositions-Wirkungsbeziehung für den Datensatz des Verbundprojektes „Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft“ (SUCKER et al., 2006).	

	Darstellung des prozentualen Anteils an „sehr stark Belästigten“ in Abhängigkeit von der Geruchsbelastung (Geruchshäufigkeit) je Tierart nach Adjustierung für die Störgrößen „Alter“, „Geschlecht“, „Schulbildung“, „Gesundheitsunzufriedenheit“, „Sinusitis“, „schlechte Wohnqualität“, „Lärmbelästigung“ und „Engagement in der Nachbarschaft“. Modellschätzung (durchgezogene Linie) für Rind, Schwein und Geflügel mit jeweiligem 90%-Konfidenzintervall (gestrichelte Linien)	140
Abbildung 70:	Prozentsatz der sehr stark Belästigten als Funktion des Logarithmus des 98-Perzentiles der Geruchsimmissionskonzentrationen im Jahr, das den Befragungen vorangegangen war. Datenpunkte und gewichtete Regressionskurven zweier Modelle (übersetzt nach MIEDEMA et al., 2000) (basierend auf Niederländischen Geruchseinheiten)	142
Abbildung 71:	Prozentsatz der Belästigten plus sehr stark Belästigten als Funktion des Logarithmus des 98-Perzentiles der Geruchsimmissionskonzentration im Jahr. Geruchsquellen: Schweinehaltung (Tiel), Rapsölextraktion (Rotterdam), Kabelisolierung (Venlo) (bearbeitet nach MIEDEMA & HAM, 1985) (basierend auf Niederländischen Geruchseinheiten).....	142
Abbildung 72:	Expositions-Wirkungszusammenhänge zwischen dem 98-Perzentil der Geruchsimmissionskonzentration und dem Anteil Belästigter als Summe der manchmal oder häufig Belästigten im Umfeld von Schweinehaltungen (bearbeitet nach NORDEGRAAF & BONGERS 2007	144
Abbildung 73:	Darstellung des prozentualen Anteils an <i>sehr stark Belästigten</i> (<i>Thermometerwerte > 6</i>) in Abhängigkeit von der Geruchshäufigkeit von Gerüchen aus der Tierhaltung bzw. Schweinehaltung nach Adjustierung für die Störgrößen "Lärmbelästigung", "Wohndauer in der Stadt", "Dauer der täglichen Anwesenheit zu Hause", "Engagement", "Vereinsmitgliedschaft", "Gesundheitsunzufriedenheit", "Alter", "Geschlecht" und "Schulbildung" (verändert nach SUCKER & BOTH, 2005) Modellschätzung (durchgezogene Linie) für Rind, Schwein und Geflügel mit jeweiligem 90%-Konfidenzintervall (gestrichelte Linien).....	149
Abbildung 74:	Ergebnisse der Geruchsimmissionsprognose ohne (links) bzw. mit (rechts) Berücksichtigung eines Gewichtungsfaktors von 0,6 (Baden-Württembergische Regelung) für Schweinehaltung (sechs Quellen; AUSTAL2000G) (NIELINGER, 2008).....	156
Abbildung 75:	Vergleich der Abstandskurven der VDI 3471 (Schweine) in der Fassung von 1977 und 1986 (nach Mannebeck in SCHIRZ, 1989)	159
Abbildung 76:	Vergleich der prinzipiellen Ansätze der Abstandskurven in Österreich, Schweiz und VDI 3474-E (2001), alle bezogen auf geruchsäquivalente Tiermasse (verändert nach VDI 3474-E, 2001).....	163
Abbildung 77:	Verlauf des Richtlinienabstandes bei vereinfachter Annahme einer Windhäufigkeit von 50% und in Abhängigkeit der Geruchsstundenhäufigkeit bzw. der Quellstärke (VDI 3894-2VE, 2010)	169
Abbildung 78:	Richtlinienabstand für einen Boxenlaufstall für 120 Milchkühe und eine reale Windrichtungshäufigkeitsverteilung für einen Geruchsstundenhäufigkeitsgrenzwert von 20% (VDI 3894-2VE, 2010)....	170

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Visualisierung von Persistenzindikatoren (Dauerhaftigkeit) für Geruchsstoffgruppen (übersetzt nach HAMILTON, 2007)	33
Tabelle 2:	Beurteilung von Geruchsbelästigung nach HANGARTNER (2009)	38
Tabelle 3:	Einstufung der Umweltqualität in Abhängigkeit von der Geruchsbelästigung (INFOMIL, 2007)	39
Tabelle 4:	Unsicherheiten und Kriterien bei der Validierung von Ausbreitungsmodellen (nach WENSAUER et al., 2006):	64
Tabelle 5:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für Geruchsausbreitungsrechnungen nach AUSTAL2000G (WENSAUER et al., 2006)	67
Tabelle 6:	Mittelwert der Geruchsschwellenentfernungen für verschiedene Schweinebestandsgrößen aus den Felderhebungen Mitte der 70er Jahre (in SCHIRZ, 1989)	74
Tabelle 7:	Kurzbeschreibung der Gegebenheiten in den Ortschaften und an den ausgewählten Untersuchungsbetrieben der vier Projektstandorte im "GIRL-Projekt BW"	92
Tabelle 8:	Übersicht der Windmessstationen an den vier Projektstandorten	99
Tabelle 9:	Kurzübersicht der Rasterbegehungen an vier Standorten	101
Tabelle 10:	Zahl der auswertbaren Interviews pro Belastungszone in Baden-Württemberg, getrennt für die Untersuchungsgebiete und Gesamt	146
Tabelle 11:	Auswahl von Vorschlägen für tierartspezifische hedonische Faktoren bzw. Geruchsfaktoren	153
Tabelle 12:	Gewichtungsfaktoren für einzelne Tierarten nach GIRL (2008) und Handlungsempfehlung Baden-Württemberg (UM BW, 2007)	155
Tabelle 13:	Exemplarischer Vergleich der mit verschiedenen Ansätzen berechneten vollen Schutzabstände für einen Boxenlaufstall für 120 Milchkühe für günstige und ungünstige meteorologische bzw. geländeklimatologische Bedingungen	171
Tabelle 14:	Regelungen in der Geruchsimmissionsrichtlinie GIRL (2008) zur Begrenzung der Geruchsstundenhäufigkeit von landwirtschaftlichen Gerüchen (<i>von GIRL abweichende Darstellungsweise; Tierartgewichtung auf Grenzwerte übertragen, umgerechnet und abgerundet</i>)	174
Tabelle 15:	Geruchsexpositionsgrenzwerte ($C_{98, 1h} < X \text{ GE}_E/\text{m}^3$) in den Niederlanden mit dem damit verbundenen Anteil Belästigte (INFOMIL, 2007)	176
Tabelle 16:	Geruchsexpositionsgrenzwerte in England in Abhängigkeit der Geruchsqualität (offensiveness)	177
Tabelle 17:	Weitere Beispiele für Geruchsexpositionsgrenzwerte [GE_E/m^3] in verschiedenen Ländern nach Angaben in NICELL (2009) und VAN HARREVELD (2009)	178
Tabelle 18:	Einschätzung der Eignung von Parametern und Methoden zur Beurteilung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung	181
Tabelle 19:	Vergleich von Beurteilungsverfahren anhand von Kriterien im Hinblick auf eine einfache Anwendbarkeit	186

1 Einleitung

„Alles riecht irgendwie: Jedes Tier, jede Pflanze und auch die meisten unbelebten Gegenstände verströmen einen Eigengeruch: Völlig geruchlose Dinge sind in unserer Umwelt selten. Wir können diese Gerüche mögen, wie den Duft von Früchten oder Bienenwachs oder abstoßend finden, wie zum Beispiel den Geruch von Katzenurin. Ein bestimmter Geruch weckt Kindheitserinnerungen, ein anderer Geruch macht Appetit, wieder andere Gerüche rufen Ekelgefühle hervor.“ (KÖNIG et al., 2003).

Die individuelle Bewertung von Geruchseindrücken ist somit abhängig von der Anatomie und Physiologie der Geruchswahrnehmung und von psycho-emotionalen Aspekten bei der Geruchsinterpretation bzw. -empfindung, die wiederum von der eigenen Geruchsgeschichte und kulturellen Einflüssen geprägt ist.

Weiterhin ist im Einzelfall bei der Geruchsbewertung ein Gemenge aus z.B. optischen und akustischen Eindrücken, sozialen bzw. kulturellen Bewertungsschemata und erlebten Emotionen zu berücksichtigen, wie folgendes Zitat verdeutlicht: „Liebe Frau R. Der Besuch bei Ihnen war eine helle Freude! Diese gepflegten und zutraulichen Tiere in dem großen sauberen Stall. Da kann doch von Geruchs- und Lärmbeeinträchtigungen gar keine Rede sein. Wir bewundern Ihren Idealismus und Ihre Arbeit und möchten Ihnen von Herzen wünschen, dass Sie Ihre Tiere behalten dürfen und weiterhin mit der Ziegenmilch manchen kranken Kindern und auch Erwachsenen helfen können.“ (MOISES, A. 1994).

Geruch ist also eine Frage der Umweltästhetik oder Umwelthygiene. Geruch markiert Identität, Sicherheit, Territorium und Geruch kann soziale Konflikte, Stress bezogene Krankheiten und finanziellen Schaden (Besitzstandswerte) verursachen (VAN HARREVELD, 2009).

1.1 Problemstellung

Die Erzeugung und Verarbeitung von Produkten tierischer Herkunft geht mit Geruchsfreisetzung einher, die schon seit alters her zu Konflikten in der Nachbarschaft führen konnten. Nicht umsonst wurden bereits im Mittelalter besonders geruchsträchtige Prozesse (z.B. Gerbereien) an den Stadtrand verlagert.

Im englischen Gemeinrecht ist aus dem Jahre 1610 der Fall „Aldred’s Case“ dokumentiert, der als oft zitierter Präzedenzfall für Belästigungsfragen und einer Umweltgesetzgebung angesehen werden kann. William Aldred beschuldigte seinen Nachbarn, dass dieser einen Schweinestall zu nah an sein Haus gebaut habe, so dass dieses für ihn durch den Gestank nicht mehr bewohnbar sei. Der Tierhalter wiederum argumentierte, dass der Schweinestall notwendig sei für die Sicherung seines Lebensunterhaltes und man solle nicht eine so „delicate“ Nase haben, dass man den

Geruch von Schweinen nicht ertragen könne. Das Gericht entschied, dass der Geruch ausreiche, um William Aldred in der Nutzung seines Eigentums zu beeinträchtigen und somit seine Rechte verletze: "[...] no right to maintain a structure upon his own land, which, by reason of disgusting smells, loud or unusual noises, thick smoke, noxious vapors, the jarring of machinery, or the unwarrantable collection of flies, renders the occupancy of adjoining property dangerous, intolerable, or even uncomfortable to its tenants" (BUTTERWORTH & COOKE, 1826).

Der Eigentümer eines Grundstückes muss nach heutiger Gesetzgebung von anderen Grundstücken ausgehende Einwirkungen tolerieren, solange diese die Benutzung seines Grundstückes nur unwesentlich beeinträchtigen. Der Eigentümer hat unter Umständen (und ggf. mit Anspruch auf Entschädigung) auch eine wesentliche Beeinträchtigung durch eine ortsübliche Nutzung eines benachbarten Grundstückes zu dulden, wenn Maßnahmen zur Verhinderung der Einwirkungen nicht wirtschaftlich zumutbar sind (BGB, 2009).

Im Sinne der Umweltgesetzgebung ist aber auch Vorsorge und Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen (Immissionen) zu treffen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen (BImSchG, 2009).

Eine unwesentliche Beeinträchtigung liegt in der Regel vor, wenn die in Gesetzen oder Rechtsverordnungen festgelegten Grenz- oder Richtwerte von den nach diesen Vorschriften ermittelten und bewerteten Einwirkungen nicht überschritten werden. Gleiches gilt für Werte in allgemeinen Verwaltungsvorschriften, die nach § 48 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes erlassen worden sind und den Stand der Technik wiedergeben (BGB, 2009).

Die Aufgabe für Wissenschaft und Regulierungsbehörden besteht darin, einfach nachvollziehbare und breit akzeptierte Maßstäbe für die Bewertung von Geruchsmissionen bereitzustellen. Die Herausforderung besteht in der Objektivierung des Bewertungsgegenstandes Geruch für die Allgemeinheit, obwohl die Geruchsempfindung eine sehr individuelle, subjektive und emotionale Angelegenheit des Einzelnen ist.

Dies veranschaulicht ein Zeitungsbericht mit dem Titel „Das Problem könnte zum Himmel stinken“ rund um Proteste gegen eine Bauvoranfrage für einen Schweinemaststall: „Das Problem ist, dass eine allgemein gültig formulierte Norm nicht die tatsächlichen Gegebenheiten berücksichtigt. Es sei etwas anderes, ob man einen Schweinemastbetrieb auf der grünen Wiese auf dem Land baue oder in einem Ballungsraum wie Stuttgart.“ (STUTTGARTER ZEITUNG, 2002).

1.2 Zielsetzung

Die Arbeit leistet einen Beitrag zur Einordnung und Weiterentwicklung der Bewertungsverfahren für Immissionen von Gerüchen aus der Tierhaltung, zu dem Zweck, eine angemessene und konsensorientierte Balance zwischen den Interessen der Betreiber von Tierhaltungsanlagen und der Anwohnerschaft zu erlangen. Das übergeordnete Ziel wird über folgende Teilziele erlangt:

- Die verschiedenen Aspekte der Messung und Bewertung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung werden anhand einer Literaturlauswertung und eigener Untersuchungen erörtert und bewertet.
- Die verschiedenen Ansätze zur Bewertung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung werden erläutert und bewertet.
- Für die Forschung und Beurteilungspraxis werden Vorschläge für die Weiterentwicklung von Beurteilungsverfahren erarbeitet.

Die eigenen Untersuchungen wurden im Rahmen des zweijährigen Forschungsvorhabens „Wissenschaftliche Untersuchungen zur Anwendung der Geruchsimmissionsrichtlinie unter den speziellen Bedingungen der Baden-Württembergischen Schweineproduktion“ realisiert. Dies beinhaltete die Durchführung von eingehenden Geruchsimmissionsmessungen (Rasterbegehungen), die Koordination und Datenbereitstellung für Ausbreitungsrechnungen und Belästigungsbefragungen und schließlich die Ableitung von Empfehlungen zur Immissionsbeurteilung in der Landwirtschaft mit Bezug zur Geruchsimmissionsrichtlinie.

Die Habilitationsschrift ergänzt und objektiviert die Erkenntnisse durch eine vertiefte Literaturlauswertung. Die Betrachtungsebene wird zudem erweitert, indem verschiedene Ansätze für Immissionsschutzregelungen für Geruch diskutiert werden.

2 Begriffsdefinitionen

Die im Folgenden relevanten, immer wiederkehrenden Begrifflichkeiten werden in inhaltlicher Abfolge kurz erläutert und dienen dem besseren Verständnis der weiteren Ausführungen im Verlauf der Arbeit. Feinheiten und Divergenzen in der Abgrenzung, Zuordnung und Entwicklung der Begrifflichkeiten werden ggf. durch eigene Erläuterungen oder die wörtliche Wiedergabe mehrerer Definitionen und Synonyme aus verschiedenen Quellen herausgearbeitet. Für weiterführende detaillierte Informationen auch insbesondere zu den einzelnen Messverfahren wird auf die einschlägigen Richtlinien, Normen und Quellen verwiesen.

Um Verfälschungen zu vermeiden, werden in der Arbeit bei den Literaturziten in der Regel die Begrifflichkeiten so wiedergegeben, wie sie von den Autoren selber verwendet wurden. Es wurde bewusst vom Austausch von Synonymen abgesehen, mit dem Nachteil, dass keine Festlegung auf nur eine Begrifflichkeit erfolgen konnte.

2.1 Geruchsdefinitionen

Geruchsstoffe:

- Stoffe, die bei ausreichender Konzentration als Reiz auf den Geruchssinn einwirken und so die Empfindung Geruch verursachen (SCHOEDDER, 1977). Substanz, die den menschlichen Geruchssinn so stimuliert, dass ein Geruch wahrgenommen wird (in DIN EN 13725, 2003).

Geruch:

- Empfindung, die sich als Ergebnis eines Riechvorgangs einstellt (SCHOEDDER, 1977). Geruch wird meist durch mehrere Geruchsstoffe, einem Geruchsstoffgemisch verursacht. Geruch ist eine summarische Wirk- und keine Stoffgröße (SCHÖN & HÜBNER, 1996).
- Organoleptisches Attribut, das durch das Riechorgan beim Einatmen bestimmter flüchtiger Substanzen wahrnehmbar ist (DIN EN 13725, 2003).

Gerüche:

- Gemische von Geruchsstoffen (vgl. Kapitel 4).

Geruchswahrnehmung:

- Bewusstwerden einer Sinneswahrnehmung, die auf einen entsprechenden Reiz des Geruchssystems folgt (DIN EN 13725, 2003).

2.2 Schwellendefinitionen

Geruchsschwelle:

- Kleinste Konzentration des Geruchsstoffes in der Atemluft, die noch die Empfindung Geruch hervorruft (SCHOEDDER, 1977).
- Nach VDI 3940-3 (2010) ist die Geruchsschwelle der Wert einer Geruchstoffkonzentration an der Grenze der sensorischen Wahrnehmbarkeit oder Erkennbarkeit, der keine Aussage über die sensorische Wirkung eines Geruchsstoffes bei Konzentrationen über diesem Wert erlaubt. Der Schwellenwert eines Geruchsstoffes hängt vom Verdünnungsmedium, von der Prüfmethode und von der Prüfergruppe ab. Entsprechend gibt es in der Literatur stark divergierende Angaben für den sensorischen Schwellenwert.
- Oftmals synonyme Gebrauch für *Wahrnehmungsschwelle*.

Wahrnehmungsschwelle, Geruchsschwelle, Empfindungsschwelle:

- Konzentration des Geruchsstoffes in der Atemluft, bei der gerade die Empfindung Geruch auftritt, ohne dass jedoch die Art des Geruchs angegeben werden kann (SCHOEDDER, 1977).
- Gekennzeichnet durch das Erlebnis des Minimum perceptibile („ich beginne etwas zu riechen, wobei der Eindruck ganz diffus und undeutlich ist“) (HENNING, 1916).
- Die niedrigste Geruchsstoffkonzentration, die (nur) eine physiologische Geruchswahrnehmung auslöst. Die olfaktometrisch ermittelte Geruchsstoffkonzentration an der Wahrnehmungsschwelle beträgt 1 GE/m³ (**Abbildung 1**) und bildet den Skalenfixpunkt bzw. die Bezugsbasis für eine olfaktometrische Geruchsmessung (SCHÖN & HÜBNER, 1996; VDI 3788-1, 2000).
- Nach DIN EN 13725 (2003) ist dies für Referenzmaterial die Geruchsstoffkonzentration, bei der die Wahrscheinlichkeit einer Wahrnehmung unter Prüfbedingungen 0,5 beträgt. Für eine Emissionsprobe ist es der Verdünnungsfaktor, bei dem die Probe mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,5 unter Prüfbedingungen wahrgenommen wird.
- Die Wahrnehmungsschwelle bezogen auf eine Gruppe von Prüfern wird auch *Gruppenschwelle*, bezogen auf ein Panel *Kollektivschwelle* genannt, bezogen auf eine Einzelperson wird diese auch als *Individualschwelle* bezeichnet (DIN EN 13725, 2003).

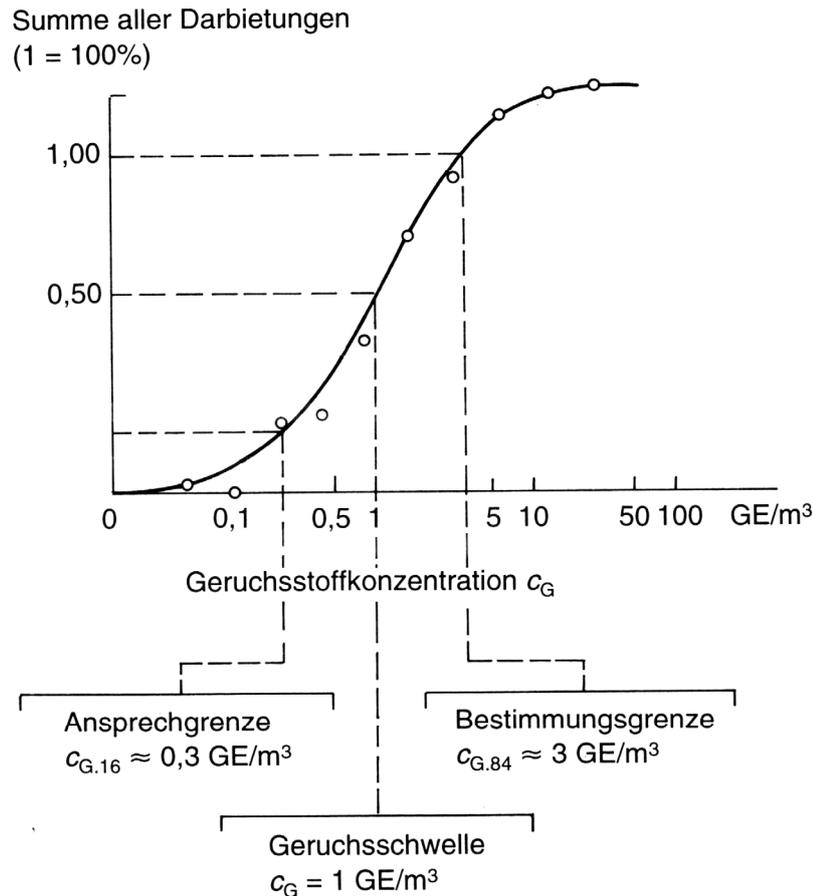


Abbildung 1: Geruchsschwellen-Kennlinie nach VDI 3881-4E (1989) (in SCHÖN & HÜBNER, 1996)

Erkennungsschwelle oder Identifikationsschwelle:

- Etwas höhere Konzentration des Geruchsstoffes in der Atemluft, bei der auch das Erkennen des Geruches möglich ist (SCHOEDDER, 1977).
- Deutliche Erfassung des charakteristischen Geruchs und Reproduktion des Namens (HENNING, 1916).
- Die niedrigste Konzentration, bei der ein Geruchsstoff erkannt wird und Aussagen zur Art des Geruches zulässt („es riecht nach“). Erfahrungsgemäß liegt eine Erkennbarkeit und Zuordnungsfähigkeit erst bei einer Geruchsstoffkonzentration von ca. 3 bis 5 GE/m^3 (Abbildung 1) vor (SCHÖN & HÜBNER, 1996).
- Geruchsstoffkonzentration, bei der die Art des Geruchs bei 50% der Darbietungen identifiziert werden kann; diese liegt etwa beim 3-fachen der Wahrnehmungsschwelle, wobei der Faktor von der Art des Geruchsstoffes abhängig ist. Geruchsbewertungen, die auf Überschreitungen der Erkennungsschwelle beruhen, führen daher zu geringeren Geruchshäufigkeiten als Bewertungen auf der Basis von Wahrnehmungsschwellen (VDI 3788-1, 2000).

Erkennungsschwelle im Feld:

- Im Sinne der VDI 3940-1 (2006) die Geruchsstoffkonzentration, bei der im Einwirkungsbereich einer Anlage erstmals ein wahrgenommener Geruch eindeutig einer Anlage zugeordnet werden kann. Sie beträgt per Konvention $1 \text{ GE}_{\text{im}}/\text{m}^3$. Beim Übergang von olfaktometrisch ermittelten Emissionsdaten in die Ausbreitungsrechnung wird eine Transformation der Wahrnehmungsschwelle in die Erkennungsschwelle vorgenommen.

Unterscheidungsschwelle:

- Das Maß, um wie viel ein zweiter Reiz gegenüber dem ersten verstärkt werden muss, damit beide getrennt empfunden werden (SCHÖN & HÜBNER, 1996).

Irritationsschwelle oder Ansprechgrenze:

- Die Geruchsstoffkonzentration an der Ansprechgrenze führt bei 16% der definierten Grundgesamtheit zu einer Geruchsempfindung (VDI 3881-1, 1986; Abbildung 1) und beträgt etwa $0,3 \text{ GE}/\text{m}^3$ (SCHÖN & HÜBNER, 1996).

Bestimmungsgrenze:

- Die Geruchsstoffkonzentration an der Bestimmungsgrenze führt per Konvention bei 84% (Abbildung 1) der definierten Grundgesamtheit zu einer Geruchsempfindung. Geruchsstoffkonzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze liegen statistisch gesichert über der Geruchsschwelle (VDI 3881-1, 1986).

2.3 Quantitative Beschreibung

Geruchseinheit (GE) – engl. Odour Unit (OU):

- Die Menge eines Geruchsstoffs oder einer Mischung von Geruchsstoffen, die in einem Kubikmeter geruchsbehaftetem Gas (unter Normbedingungen) an der Kollektivschwelle vorhanden ist (DIN EN 13725, 2003).
- Die Europäische Geruchseinheit (GE_E) – engl. OU_E ist die Menge Geruchsstoff, die beim Verdampfen in einem Kubikmeter Neutralluft unter Normbedingungen die gleiche physiologische Reaktion eines Panels hervorruft (Wahrnehmungsschwelle), wie die durch eine Europäische Referenzgeruchsmasse (EROM) hervorgerufene Reaktion nach Verdampfen in einen Kubikmeter Neutralluft unter Normbedingungen. Ein EROM entspricht $123 \mu\text{g}$ n-Butanol (CAS-Nr. 71-36-3). Verdampft in einem Kubikmeter Neutralluft entspricht dies $0,040 \mu\text{mol}/\text{mol}$ (DIN EN 13725, 2003).

- 1 GE ist diejenige Menge (Teilchenzahl) Geruchsträger, die – verteilt in 1 m³ Neutralluft – entsprechend der Definition der Geruchsschwelle gerade eine Geruchsempfindung auslöst. 1 GE/m³ ist zugleich der Skalenfixpunkt für die Geruchsstoffkonzentration (VDI 3881-1, 1986).
- Zu beachten ist, dass in älteren niederländischen Untersuchungen aus der Zeit vor der Festlegung der Europäischen Geruchseinheit die Niederländische Geruchseinheit verwendet wurde. Dabei entspricht eine Europäische Geruchseinheit zwei Niederländischen Geruchseinheiten (BONGERS et al., 2001; NORDEGRAAF & BONGERS, 2007).

Geruchsstoffkonzentration (GE/m³):

- Zahlenwert der Verdünnung einer Gasprobe (Luftprobe) mit Neutralluft an der Geruchsschwelle. Die Einheit ist Geruchseinheit (GE) durch Volumeneinheit (m³), also GE/m³ (VDI 3881-1, 1986).
- Somit wird die Geruchskonzentration einer Geruchsprobe als ein Vielfaches der Geruchseinheit angegeben. Es ist zu beachten, dass sich bei gleicher Geruchskonzentration in GE/m³ von Proben die reale Stoffkonzentration in diesen Proben voneinander unterscheiden kann, da die einzelnen Stoffe unterschiedliche Geruchsschwellen aufweisen können (SUCKER, 2008).

Geruchsstoffstrom, Geruchsemission (GE/s oder GE/h):

- Der Geruchsstoffstrom wird berechnet, indem die Geruchsstoffkonzentration der Luftprobe (GE/m³) mit dem Luftvolumenstrom pro Zeiteinheit (m³/s oder m³/h) multipliziert wird. Geruchsstoffströme von Tierhaltungsanlagen sind nur bei gleicher Tierart, Altersstufe der Tiere (Lebendmasse) und gleichem Haltungsverfahren miteinander vergleichbar (MARTINEC, 1998).

Geruchsemissionsfaktor, spezifischer Geruchsstoffstrom (GE/s GV¹ oder GE/s m²):

- Der Geruchsstoffstrom einer Anlage wird auf die Tierlebendmasse in Großvieheinheiten (GV; entspricht 500 kg Lebendmasse) bezogen. Somit ist eine vergleichende Aussage über die Geruchsemissionen möglich, da der Luftvolumenstrom und die Tierlebendmasse berücksichtigt werden. Geruchsemissionsfaktoren sind bei gleicher Tierart und Haltungsverfahren vergleichbar (MARTINEC, 1998).
- Der Emissionsfaktor für Flächenquellen (GE/s m²) ergibt sich durch Bezug des Geruchsstoffstromes (GE/s) auf die Quellfläche (m²).

Geruchsäquivalenzfaktor, hedonischer Faktor, tierartspezifischer Gewichtungsfaktor

- Berücksichtigung des tierartspezifischen Geruches und Belästigungspotentiales unterschiedlicher Tierarten durch Gewichtung der Beurteilungsgröße über entsprechende Äquivalenz- oder Korrekturfaktoren.
- Ausgangspunkt für tierartübergreifende Abstandsregelungen mit deren Hilfe der notwendige Abstand zur Vermeidung von erheblichen Belästigungen als Funktion der nach Geruchsäquivalenz bzw. Geruchsbelastung gewichteten Tiermasse im Stall berechnet wird (RICHNER & SCHMIDLIN, 1995; VDI 3474-E, 2001).
- Als *hedonischer* Faktor im engeren Sinne kann die Verhältniszahl angesehen werden, bei welchem Vielfachen der Geruchsstoffkonzentration die Lästigkeit eines Stallgeruches ebenso hoch ist wie die von Schweinestallgeruch (VDI 3474-E, 2001).
- Der *Geruchsäquivalenzfaktor* besagt, wie verschiedene Tierarten und Haltungsfornen im Vergleich zur Referenz immissionsseitig bewertet werden (VDI 3474-E, 2001). Er ist keine emissionsseitige Größe, sondern stellt das Ergebnis der immissionsseitigen Bewertung bei der Ermittlung der Abstände für die jeweilige Tierart im Verhältnis zur Abstandsbeziehung für Schweine dar (KRAUSE et al., 2000).
- Bei der immissionsseitigen Beurteilung von Tierhaltungsanlagen gemäß GIRL (2008) wird die ermittelte zeitliche Gesamtbelastung durch Geruchsimmissionen mit einem *tierartspezifischen Faktor* gewichtet. Die resultierende belästigungsrelevante Kenngröße wird zur Überprüfung herangezogen, inwieweit gebietsabhängige höchstzulässige Immissionshäufigkeitswerte über- oder unterschritten werden.

Geruchswahrnehmungshäufigkeit, Geruchszeitanteil (bei Begehungen):

- Anteil der Zeiten mit Geruchswahrnehmung an der Bezugszeit (VDI 3788-1, 2000).
- Anteil der Zeitabschnitte/Takte mit Geruchserkennung am gesamten Messzeitintervall (VDI 3940-1, 2006)

Geruchsstunde:

- Positiv bewertete Einzelmessung, d.h. der Messung der Geruchsstoffimmission an einem Messpunkt während eines definierten Messzeitintervalls (mindestens 10 min). Eine Einzelmessung wird positiv bewertet, wenn der Geruchszeitanteil mit eindeutig erkennbarem Geruch einen bestimmten, vorher festgelegten Prozentsatz erreicht oder überschreitet (VDI 3940-1, 2006).

- Werden während des Messzeitintervalls in mindestens 10 v. H. der Zeit (Geruchszeitanteil) deutlich wahrnehmbare und hinsichtlich der Geruchsart abgrenzbare Geruchsimmissionen erkannt, ist dieses Messzeitintervall als „Geruchsstunde“ zu zählen (GIRL, 2008).

Geruchs(stunden)häufigkeit, Geruchs(immissions)häufigkeit :

- Im Rahmen von Ausbreitungsrechnungen oder Begehungen ermittelter flächenbezogener prozentualer oder relativer Anteil der Jahresstunden mit erkennbarem Geruch.
- Im Sinne der GIRL (2008) Maß für die Geruchsbelastung, die sich ggf. aus einer Vor- und Zusatzbelastung zusammensetzt. Bei den *Immissionswerten* handelt es sich um gebietsabhängige höchstzulässige relative Häufigkeiten der Geruchsstunden.

Geruchsexpositions(grenz)wert

- Immissionskonzentration als Bewertungsmaßstab für die zumutbare Geruchsbelastung (Exposition) in den Niederlanden und weiteren Ländern. Die Immissionskonzentration wird dabei meist nicht direkt gemessen, sondern anhand von Emissionsmessungen bzw. Emissionsfaktoren und Ausbreitungsrechnungen ermittelt (VAN HARREVELD, 2009).
- Die Immission soll kleiner sein als der Einstunden-Mittelwert der zulässigen Geruchskonzentration – meist dargestellt als 98-Perzentile für ein durchschnittliches meteorologisches Jahr - (z.B. $C_{98, 1h} < 3 \text{ GE}_E/\text{m}^3$). Die Grenzwerte wurden aus Expositions-Wirkungsbeziehungen abgeleitet, mit dem Ansatz, den Anteil stark belästigter Personen zu begrenzen (HUTTER et al., 2007).
- Statistische Methode, um eine Geruchsemission einer Anlage mit der Auftretenswahrscheinlichkeit einer bestimmten bodennahen Geruchsbelastung (Konzentration) unter Berücksichtigung der Auftretenshäufigkeit zu verlinken. Geruchsexpositionswerte sind wahrscheinlichkeitsbasiert und deshalb keine absoluten Grenzwerte. Sie sind lediglich indikativ für eine durchschnittliche Immissionskonzentration (meist Einstunden-Mittelwert), deren Auftreten wahrscheinlich ist für einen spezifizierten Prozentsatz (z.B. 98%) der Jahresstunden. Für die restliche Zeit (hier 2% der Jahresstunden) werden die mittleren Immissionskonzentrationen höher oder gleich der Grenzwertkonzentration sein (ENVIRONMENT AGENCY, 2002).

2.4 Qualitative Beschreibung

Intensität, Empfindungsstärke:

- Beschreibt die Stärke der Geruchswahrnehmung auf einer Skala von der Geruchsschwelle (geruchlos) bis zu einem Höchstmaß „äußerst stark“. Ohne Hilfsmittel sind zwischen diesen Grenzen nur fünf bis sieben Stufen unterscheidbar. Bestimmende Eigenschaften des Geruchsstoffes sind Konzentration, Löslichkeit und Flüchtigkeit (SCHOEDDER, 1977).
- Die Beurteilung von Geruchsproben im überschwelligem Bereich erfolgt anhand einer sieben- bzw. sechsstufigen Skala von 0 (kein Geruch) bzw. 1 (sehr schwach) über 3 (deutlich) bis zu 6 (extrem stark). Da die Empfindungsstärke mit dem dekadischen Logarithmus der Geruchsstoffkonzentration zunimmt, wurden die verbal definierten Intensitätsstufen so gestaltet, dass das gesamte Intensitätsspektrum in möglichst gleichen Abständen (Intensitätsintervalle gleicher Breite) abgedeckt ist. Die Aussagen zur Intensität ergeben eine Gerade über der logarithmisch dargestellten Geruchsstoffkonzentration (**Abbildung 2**). Die Intensitätsbewertung von Luftproben betrifft immer nur Konzentrationsbereiche, nicht aber feste Einzelwerte (SCHÖN & HÜBNER, 1996; VDI 3788-1, 2000).

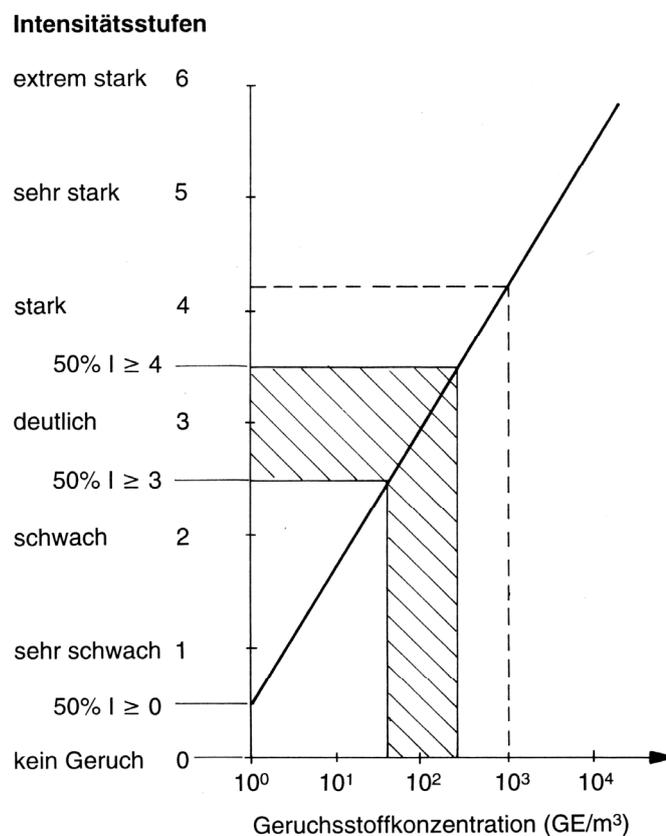


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen Geruchsstoffkonzentration und Geruchsintensität an einem fiktiven Beispiel (SCHÖN & HÜBNER, 1996)

- Die Geruchsintensität hat Einfluss auf das Belästigungspotential und somit auf die Bewertung von Gerüchen. Wie schnell die Intensität eines Geruches mit steigender Konzentration zunimmt bzw. wie wirksam die Intensität von emittierten Geruchsstoffen durch die atmosphärische Verdünnung vermindert wird, hängt von der Art des Geruchstoffes oder Gemisches bzw. des jeweiligen Weber-Fechner-Koeffizienten ab (VDI 3788-1, 2000).
- Die Empfindungsintensität hängt von der körperlichen und geistigen Frische, Aufmerksamkeit und dem Interesse ab (HENNING, 1916).

Hedonik, hedonische Geruchswirkung, Lästigkeit:

- Aussage über die Erträglichkeit einer Geruchsempfindung auf einer Skala mit Wertungen von angenehm bis unerträglich in Stufen, begrenzt durch das menschliche Unterscheidungsvermögen. Die Beurteilung ist stark subjektiv bestimmt, wird oft spontan gefällt, überdeckt die Urteile bezüglich der Intensität und Qualität, und sie ist von Alter, Geschlecht und sozialen Einflüssen abhängig. Es ist keine allgemeine Ableitung aus dem chemischen Aufbau der Geruchsstoffe möglich. Bestimmende Größen sind Intensität und Art des Geruchstoffes (SCHOEDDER, 1977).
- Neunstellige Bewertungsskala für Geruchsproben im überschwelligem Bereich von äußerst angenehm über neutral zu äußerst unangenehm für die gefühlsspezifische Wirkung eines Geruchereignisses. Das eindeutige Unterscheiden und Beschreiben von Geruchsqualitäten ist sehr vom Hintergrund des jeweiligen Probanden wie z.B. Erziehung, Geruchserfahrung, Kulturkreis und Lebensumfeld abhängig (SCHÖN & HÜBNER, 1996).
- Affektive Bewertung eines Geruchsreizes im Sinne einer Lust/Unlust-Empfindung. Inwieweit Präferenzen für und Aversionen gegen bestimmte Gerüche genetisch bestimmt und/oder durch assoziatives Lernen erworben werden, ist noch umstritten (SUCKER, 2008).
- Im Sinne der VDI 3940-1 (2006) Erfassung der Wirkung eines Geruchstoffes durch einordnende Bewertung des Reizes zwischen den Merkmalspolen „äußerst angenehm“ und „äußerst unangenehm“ bei der Bestimmung von Geruchstoffimmissionen durch Begehungen.
- Ein *hedonisch eindeutig angenehmer Geruch* nach Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL, 2008) liegt vor, wenn mithilfe der Methode der Polaritätenprofile gezeigt wird, dass der Anlagengeruch eindeutig dem Konzept „Duff“ zugeordnet werden kann (VDI 3940-3, 2010).

Polaritätenprofil (semantisches Differential; Eindrucksdifferential):

- Ein Verfahren zur quantitativen Analyse der subjektiven Bedeutung von Begriffen oder Vorstellungen, bei dem die gelenkte Assoziation zu einem Konzept (z.B. Duft, Gestank) oder zu einem Anlagengeruch (z.B. Bäckerei, Kläranlage) und die Bewertung kombiniert sind. Über Adjektivpaare (stark – schwach, kalt – warm, anregend – entspannend etc.) wird hierbei die Ähnlichkeit des Verhaltens gegenüber einem Objekt, nicht das Objekt selbst gemessen. Es wird als alternatives Verfahren zur Erfassung der hedonischen Geruchswirkung in der Außenluft angewendet (VDI 3940-4E, 2008).

Geruchsqualität, Geruchsnote, Geruchscharakteristik, Geruchsart:

- Spezifische Eigenart des Geruchs. Die Beschreibung erfolgt durch den Vergleich mit allgemein bekannten Gerüchen, die ihrerseits nach ihrer Herkunft bekannt sind (z.B. Rosenduft). Die Qualität ändert sich zum Teil in Abhängigkeit der Konzentration, wird aber im Wesentlichen vom Molekülaufbau bestimmt (SCHOEDDER, 1977).
- Sensorisch direkt durchgeführtes Messverfahren, bei dem der Proband verbal den empfundenen Geruch beschreibt („es riecht eklig, faulig, beißend, süßlich; es riecht nach...“). Das Verfahren kann zur Beurteilung von Emissionen und Immissionen verwendet werden (SCHÖN & HÜBNER, 1996).
- Vergleichende Beschreibung eines Geruchs mit Geruchserfahrungen. Im engeren Sinne bezeichnet *Geruchsart* den immissionsseitig wahrgenommenen Geruch, der erkennbar einer bekannten Anlage zugeordnet werden kann (VDI 3490-1, 2006).

2.5 Umweltwirkung***Freisetzung:***

- Übergang der Geruchsstoffe aus den Quellen an die vorbeiströmende Luft entsprechend den chemisch-physikalischen Grundlagen des Stoffübergangs in Abhängigkeit der Dampfdruckdifferenz zwischen Stoffquelle und der Luft (MARTINEC et al., 1998).
- Einflussfaktoren sind u.a. Temperatur und Wasserdampfgehalt der Quelle sowie Luft, Strömungsgeschwindigkeit über der Quelle, Größe der Austauschfläche, Stoffübergangskoeffizienten, Oberflächenspannung, Molekulargewicht (Verdampfungseigenschaften), pH-Wert (Löslichkeit der Gase in Flüssigkeiten) (MARTINEC et al., 1998; BOCKREIS & STEINBERG, 2004).

Emission:

- Übertritt luftverunreinigender Stoffe in die offene Atmosphäre (VDI 2450-1, 1977).
- Im Sinne des BImSchG (2009) die von einer Anlage ausgehenden Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Erscheinungen. Luftverunreinigungen sind Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe oder Geruchsstoffe.

Arten von Emissionsquellen:

- Die Quellen lassen sich nach der Art des Stoffübertritts an die offene Atmosphäre sowie in Anlehnung an geometrische Formen nach Art ihrer Ausdehnung bzw. Begrenzung differenzieren. Die Art der Quelle bestimmt maßgeblich die Auswahl eines geeigneten Verfahrens für die Entnahme von Luftproben (räumliche und zeitliche Probenahme), die Bestimmung von Stoffkonzentrationen und Volumenströmen sowie die Modellierung in Ausbreitungsrechnungen.
- *Aktive (geführte) Quellen* weisen einen definierten, messbaren Volumenstrom (durch z.B. Ventilatoren oder Gebläse erzeugt) auf, der punkt- und flächenförmig in die Atmosphäre gelangt (**Abbildung 3**). *Aktive Punktquellen* sind beispielsweise Abluftschächte. Die Luftaustrittsseite von durchströmten Medien, wie z.B. offene Biofilter, ist als *aktive Flächenquelle* anzusehen (SCHÖN & HÜBNER, 1996).

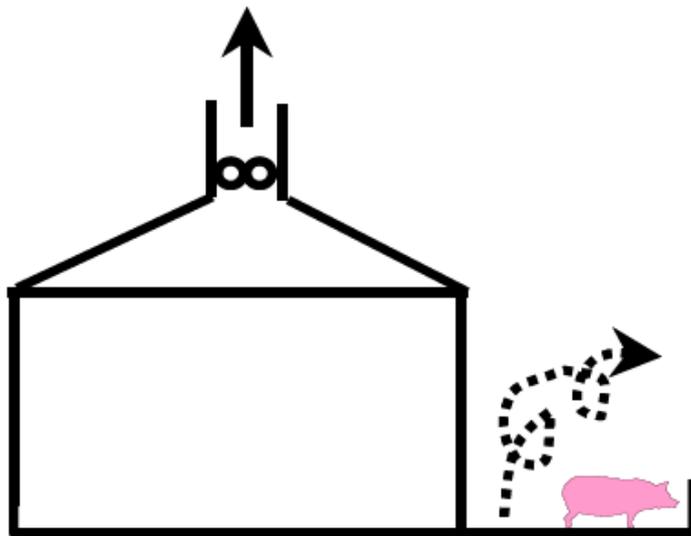


Abbildung 3: Beispiel für ein Stallsystem mit Zwangslüftung (aktive Punktquelle) und Auslauf (passive/diffuse Flächenquelle) (KECK et al., 2004)

- *Passive Quellen* verfügen über keinen definierten Abluftvolumenstrom, wie z.B. bei der offenen Lagerung von Flüssigmist- oder Festmist. Darunter fallen auch die sogenannten *diffusen Quellen* wie Türen, Fenster, Schlitze in Gebäudewänden oder passive Belüftungsöffnungen. Passive Quellen können ebenso in Flächen- oder Punktquellen unterschieden werden (VDI 3788-1, 2000; SCHÖN & HÜBNER, 1996). Der Begriff ‚Diffuse Quelle‘ wird im Kontext von Tierhaltungsanlagen für z.B. Ausläufe, Mistlager oder Silagelagerstätten oft synonym für ‚Passive Quelle‘ verwendet. Die Quellwirkung ist windabhängig (*windinduzierte Quelle*) (VDI 3894-1E, 2009) (Abbildung 3).
- Bei der Quellenmodellierung in der Ausbreitungsrechnung werden in Abhängigkeit der geometrischen Form der Luftaustritts(ober)flächen im Wesentlichen *Punkt-Volumen- und Linienquellen* voneinander unterschieden, also z.B. ein Abluftschacht, eine Festmistmiete oder die Trauföffnung in Längsachse eines Stallgebäudes.

Transmission:

- Alle Vorgänge, in deren Verlauf sich räumliche Lage und Verteilung der luftverunreinigenden Stoffe in der offenen Atmosphäre unter dem Einfluss von Bewegungsphänomenen oder infolge weiterer physikalischer sowie chemischer Effekte ändern (VDI 2450-1, 1977).
- Transport des an der Quelle in die Umgebungsluft übergetretenen Stoffes und Verteilung und Vermischung durch Advektion und Diffusion. Bei passiven Quellen ist der Transport im Prinzip trägheitsfrei, d.h. die Stoffe machen die Bewegung der Umgebungsluft mit. Die Strömung der Umgebungsluft wird durch die Quellen selber, andere Bauten oder Vegetation beeinflusst und es können Rezirkulationswirbel im Lee von Strömungshindernissen auftreten (VDI 3788-1, 2000).
- Bei aktiven Quellen kann die Abluft durch den Austrittsimpuls oder thermischen Auftrieb ein eigenes dynamisches Verhalten zeigen. Die Höhe über der Luftaustrittsmündung, welche die mittlere Abluffahne in einer bestimmten Quellenentfernung windabwärts als „maximale“ Höhe erreicht (d.h. Impuls und Auftrieb führen nicht mehr zu einem beobachtbaren Aufstieg), wird als *Abluffahnenüberhöhung* bezeichnet (VDI 3782-3, 1985) (**Abbildung 4**).

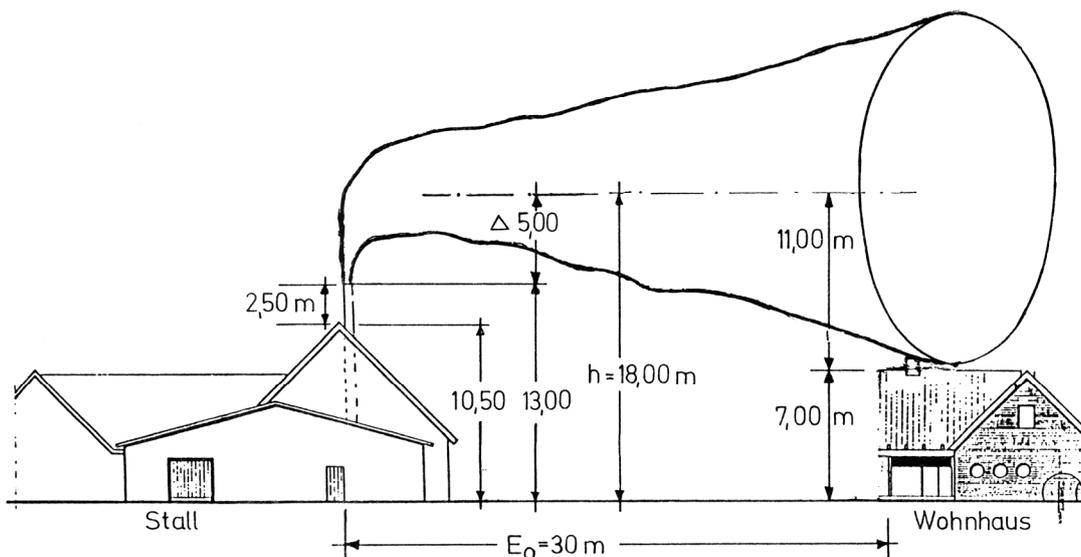


Abbildung 4: Exemplarische Geruchsstoffverdünnung in einer Ablufffahne mit Ablufffahnenüberhöhung – Emission-Transmission-Immission. (SCHIRZ, 1989)

Immission:

- Übertritt luftverunreinigender Stoffe von der offenen Atmosphäre in einen Akzeptor (VDI 2450-1, 1977).
- Der Akzeptor kann am Übertritt aktiv (z.B. durch Einatmen, Ansaugen) oder passiv (z.B. durch Adsorption) beteiligt sein. Im erweiterten Sinne wird der Begriff Immission häufig auch zur Bezeichnung der aus der Atmosphäre austretenden oder sogar in der Umgebung von Akzeptoren enthaltenen luftverunreinigenden Stoffe selbst verwendet (Bsp.: Belastung durch Geruchsimmissionen) (HARTUNG, 2010).
- Die *Geruchsstoffimmission* bezeichnet Einwirkungen von Geruchsstoffen auf den Menschen. Sie können beschrieben werden durch Häufigkeit, Dauer, Qualität, Intensität und hedonische Wirkung von Geruchsstoffkonzentrationen ab der Erkennungsschwelle im Feld (VDI 3940-1, 2006).
- Im Sinne des BImSchG (2009) auf Menschen sowie Tiere, Pflanzen oder andere Sachen einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen.

Belastung:

- Im Sinne dieser Arbeit: Die für einen Ort oder eine Fläche gegebene zahlenmäßige Immission, die zu Geruchsempfindungen führt (VDI 3883-2, 1993).

Exposition:

- Im Sinne dieser Arbeit eine erweiterte eher wirkungsbezogene Betrachtung der Geruchsbelastung. Sie beschreibt die Einwirkung von Geruch auf eine Person, die Geruchsimmissionen ausgesetzt (exponiert) ist.

Belästigung:

- Eine durch Wahrnehmungen von unerwünschten Umweltreizen verursachte Störung des Wohlbefindens. Bei mehr psychologischer Betrachtungsweise ist Belästigung ein subjektiver Zustand des Unbehagens, der durch Stoffe oder Umstände hervorgerufen wird, von denen nach Ansicht des Betroffenen negative Wirkungen ausgehen (VDI 3883-2, 1993).
- Im Fall der Geruchsbelästigung führt das Individuum die negativen Zustände wirkungsmäßig auf die Geruchsstoffimmission in der Außenluft zurück (Kausalattribution) (VDI 3883-1, 1997).

2.6 Messverfahren

Proband oder Prüfer:

- Personen, die den gemäß der jeweils gültigen Normen und Richtlinien definierten Eignungsvoraussetzungen für die sensorische Beurteilung von Geruchsproben (physiologische und psychologische Kriterien) genügen (VDI 3940-3, 2010; DIN EN 13725, 2003).

Olfaktometer, olfaktometrische Verfahren:

- Olfaktometer sind Apparaturen zur Geruchsstoffkonzentrationsbestimmung, in denen eine Gasprobe (Geruchsstoffprobe) mit Neutralluft definiert verdünnt und in mehreren Verdünnungsstufen den Probanden als Riechprobe angeboten wird (VDI 3881-1, 1986), **Abbildung 5**.
- Ein *statisches Olfaktometer* verdünnt eine Probe durch Vermischen zweier bekannter Gasvolumina, wovon eines geruchlos, das andere geruchsbehaftet ist. Die Verdünnungsrate wird aus den Volumina berechnet (DIN EN 13725, 2003).
- Ein *dynamisches Olfaktometer* fördert einen Volumenstrom von Mischungen aus Geruchs- und Neutralluft mit bekannten Verdünnungsfaktoren durch einen gemeinsamen Ausgang (DIN EN 13725, 2003).

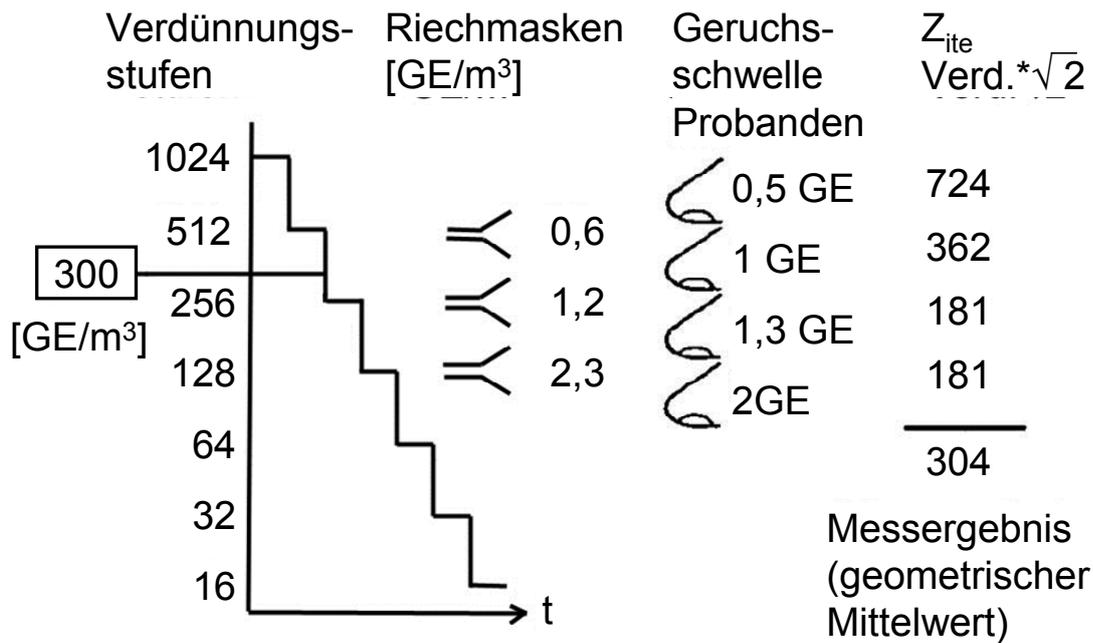


Abbildung 5: Schema des olfaktometrischen Messverfahrens und der Berechnung für den Stufenfaktor 2 (BOEKER & HAAS, 2007). (GE = Geruchseinheit; GE/m³ = Geruchsstoffkonzentration; Z_{ITE} = Verdünnungsfaktor der einzelnen Schwellenschätzung)

- Bei dem *Forced-Choice Verfahren* ist der Prüfer gezwungen eine Wahl aus zwei oder mehreren Luftströmen zu treffen, von denen einer die verdünnte Probe ist, selbst wenn kein Unterschied feststellbar ist (DIN EN 13725, 2003). Das Verfahren macht eine Ratekorrektur erforderlich (VDI 3881-1, 1986).
- Bei dem *Ja/Nein-Verfahren* werden die Prüfer gefragt, ob ein Geruch wahrgenommen wird oder nicht (DIN EN 13725, 2003).
- Bei dem *Limitverfahren* werden die Verdünnungsstufen - unterschwellig beginnend - in absteigender Folge angeboten. Die Abfrage ist nach zwei positiven Antworten (Ja/Nein-Verfahren) beendet (VDI 3881-1, 1986).
- Bei dem *Konstanzverfahren* wird der vorgegebene Satz der Verdünnungen in zufälliger Reihenfolge angeboten (VDI 3881-1, 1986).
- Bei der *direkten Olfaktometrie* oder *Online-Olfaktometrie* wird die Geruchsstoffkonzentration ohne Probenlagerung zwischen der praktischen Probenahme und der sensorischen Analyse gemessen (DIN EN 13725, 2003).

Feldolfaktometer (Scentometer®; Nasal Ranger®)

- Verbreitete Methode in den USA zur Messung und Quantifizierung von Geruch in der Außenluft. Ein Feldolfaktometer (**Abbildung 6**) verdünnt die Außenluft mit gefilterter (Aktivkohlefilter) Luft in vorgegebenen Verdünnungsstufen bis zur Wahrnehmungsschwelle. Die sechs Verdünnungsstufen werden vom Proband selber manuell gewählt (MCGINLEY & MCGINLEY, 2003).



Abbildung 6: Feldolfaktometer: Scentometer® (links), Nasal Ranger® (rechts) (MCGINLEY & MCGINLEY, 2003)

Elektronischer Geruchssensor, elektronische (künstliche) Nase, (Chemo)sensor-Array, technisch-sensorische Geruchsmessung:

- ‚Elektronische Nasen‘ sind Meßsysteme, die simultan mit mehreren verschiedenen Gassensoren (ein sogenanntes Sensor-Array) eine Charakterisierung der herrschenden Gasatmosphäre, dabei auch der geruchstragenden Gase, durchführen. Die Sensoren sind nichtspezifisch für ein bestimmtes Gas, sondern reagieren jeweils übergreifend auf chemische Eigenschaften der Gase. Je nach Gasmischung ergeben sich unterschiedliche Signale der Sensoren, die als Signalmuster mit speziellen Auswertungsverfahren verarbeitet werden. Als wichtigste Sensortypen in Systemen für die Geruchsmessung sind zu nennen: Metalloxidsensoren, Sensoren auf Basis leitfähiger Polymere und Polymerkomposite und massensensitive Schwingquarz- und Oberflächenwellen-Sensoren (BOEKER, 2003).
- Nach einer auf die Emissionsquelle abgestimmten Referenzierung der Sensorsignale (chemischen Daten) mit olfaktometrischen Daten ist die Darstellung von Geruchskonzentrationsverläufen möglich (BOEKER et al., 2009; ALTRASENS, 2010) (**Abbildung 7 und Abbildung 8**).

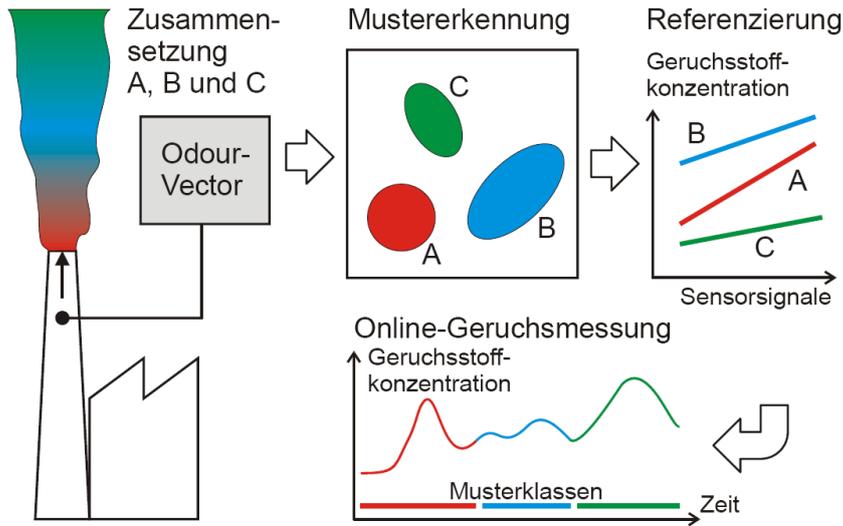


Abbildung 7: Prinzip der technisch-sensorischen Geruchsmessung (ALTRASENS, 2010)

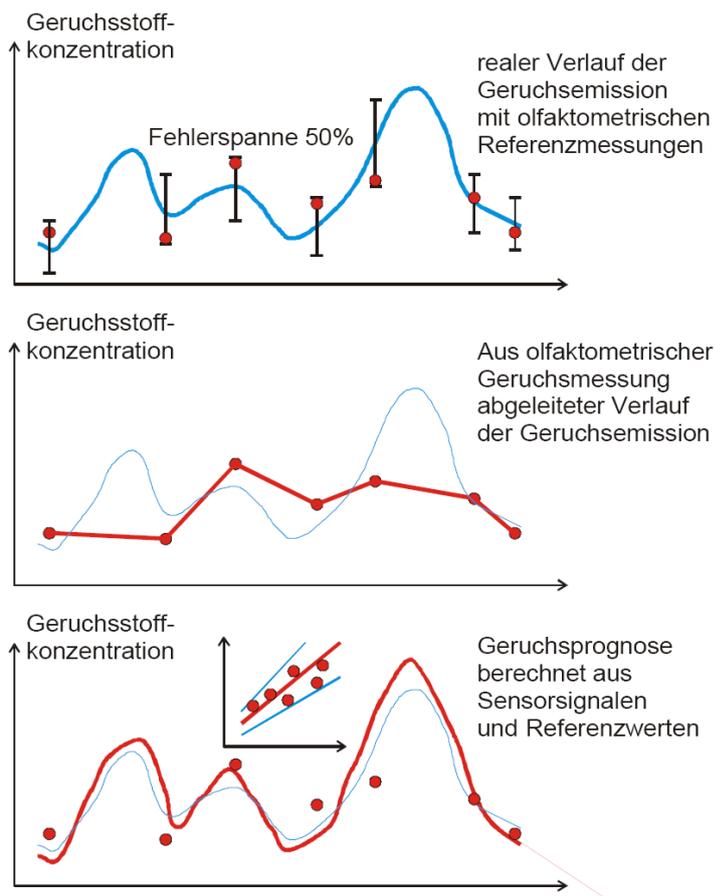


Abbildung 8: Möglichkeit zur kontinuierlichen Darstellung des Verlaufs der Geruchsstoffkonzentration in der Abluft einer Anlage durch Kombination der Sensorsignale eines Sensor-Arrays mit olfaktometrischen Referenzdaten (ALTRASENS, 2010)

Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC/MS)

- Nach Adsorption und Akkumulation der Inhaltsstoffe einer Luftprobe auf einem Sorptionsmedium (z.B. Platten mit Spezialbeschichtung, Baumwollappen) oder Sammlung einer Luftprobe in geeigneten Behältern (z.B. Vacutainer) weitergehende Spurenanalytik im Labor auf Masse und chemische Zusammensetzung der Geruchsstoffe.
- Mit Hilfe der Gaschromatographie als Trennverfahren werden die Komponenten eines Stoff- oder Gasgemisches zunächst vereinzelt. Die Massenspektrometrie dient der Strukturaufklärung und Massebestimmung (qualitativer und quantitativer Nachweis) der einzelnen Komponenten.

Begehung:

- Ermittlung der Geruchsbelastung (Geruchshäufigkeit) durch qualifizierte Prüfer, die an vorher definierten Standorten die Umgebungsluft innerhalb eines bestimmten Messzeitintervalls auf Geruch prüfen (VDI 3940-2, 2006).
- Die Prüfer beurteilen den Geruch für vorgegebene, zu erwartende Geruchsarten über der Erkennungsschwelle. Die Beurteilung der Riechproben erfolgt anhand bewusster Atemzüge („Schnüffeln“) in definierten Zeitabständen (i.d.R. alle 10 s) über die Dauer eines definierten Messzeitintervalls (i.d.R. 10 min) (VDI 3940-2, 2006). In der Vorgängerbegehungsrichtlinie (VDI 3940, 1993) erfolgte die Prüfung auf Geruch anhand jedes Atemzuges und mit einer Zeiterfassung wurde die Dauer der Geruchsepisoden dokumentiert. Zum Teil werden in wissenschaftlichen Untersuchungen Begehungen auch an der Wahrnehmungsschwelle und nicht an der Erkennungsschwelle durchgeführt (z.B. KRAUSE et al., 2000).
- Es besteht die Möglichkeit bei Begehungen ergänzende Beurteilungen zur Intensität und Hedonik der Geruchseindrücke abzufragen (VDI 3940-3, 2010).
- Fahnenbegehungen liefern Informationen zur Reichweite und Aufdehnung einer Geruchsstofffahne bei konkreten Wettersituationen. Mit geeigneten Ausbreitungsmodellen wird die Rückrechnung auf die Emission ermöglicht, wobei die Fahnenbegehung selber auch der Validierung von Ausbreitungsmodellen dienen kann (VDI 3940-2, 2006).
- Rastermessungen ermöglichen die Feststellung von Geruchsbelastungen für definierte Beurteilungsflächen in einem Beurteilungsgebiet, die von Quellen innerhalb und außerhalb des Gebietes ausgehen können. Die voneinander unabhängigen Begehungen der Rasterkreuzungspunkte erfolgen ungeachtet der aktuellen Wettersituation über einen längeren Zeitraum (mindestens 6 Monate) an unterschiedlichen Tageszeiten und Wochentagen (VDI 3940-1, 2006).

Befragung:

- Sammlung von aktuellen Informationen zur standortbedingten, ortsbezogenen bestehenden Belästigungssituation. Im Vordergrund steht das momentane Geruchsempfinden und die Belästigungsbewertung ortsansässiger Personen (SCHÖN & HÜBNER, 1996).
- Dient der Ermittlung von Parametern, mit deren Hilfe die Belästigung durch sensorisch vermittelte Umweltreize objektivierbar und quantifizierbar gemacht wird, z.B. über Klassierung der Belästigungssituation, Erstellung von Dosis-Wirkungsbeziehungen (VDI 3883-1, 1997).

Ausbreitungsrechnung

- Simulation der Transmission und Immission von luftgetragenen Stoffen. Grundlage für atmosphärische Ausbreitungsrechnungen sind die Gleichungen der Fluid-dynamik (WALLENFANG, 2002). Es werden unterschiedliche Modelltypen (Gaußmodell, numerische Modelle, Fluktuationsmodelle) herangezogen (BOEKER, 2003).
- Das Ausbreitungsverhalten (Transmission) hängt maßgeblich von den standort-spezifischen meteorologischen und geographischen Verhältnissen und der Quellenart ab (VDI 3788-1, 2000; SCHÖN & HÜBNER, 1996).

3 Geruchswahrnehmung und Belästigungsempfinden

Die Basis für die Geruchsmessung und Beurteilung ist die Kenntnis der anatomischen Grundlagen und physiologischen sowie psychologischen Vorgänge bei der Geruchswahrnehmung und der Belästigungsempfindung. Die Darstellung dieser sehr komplexen Zusammenhänge konzentriert sich auf die wesentlichen Aspekte, die für die Beurteilung von Gerüchen relevant sind.

3.1 Eigenschaften des Geruchssinnes

Der Geruchssinn gehört zu den phylogenetisch ältesten Sinnen. Die olfaktorischen Reize haben eine Signalfunktion, die Vermeidungs- oder Annäherungsverhalten auslösen können. Die Geruchsempfindlichkeit des Menschen ist im Vergleich zur Tierwelt aber gering (Mikrosomat) (HUTTER & WALLNER, 2010).

Der Hauptort der geruchlichen Sinneswahrnehmung ist die Nasenhöhle (**Abbildung 9**), wo sich der Riechvorgang (Reizung der Sinneszellen) an den chemosensorischen Riechhärchen der Riechepithelzellen der Riechschleimhaut in der Riechregion der Nasenmuschel abspielt. Die Riechregion (*regio olfactoria*) befindet sich in der oberen Region der Nasenmuschel, an die beim sogenannten „Schnüffeln“ die Luft bewusst hingezogen wird. Der untere Teil der Nasenmuschel dient als respiratorische Region zur Erwärmung, Befeuchtung und Filtration der Atemluft. Geruchsstoffe müssen sowohl wasser- als auch fettlöslich sein, um die wasserhaltige Riechschleimhaut und die Lipidmembran des Riechepithels durchdringen zu können (SCHÖN & HÜBNER, 1996).

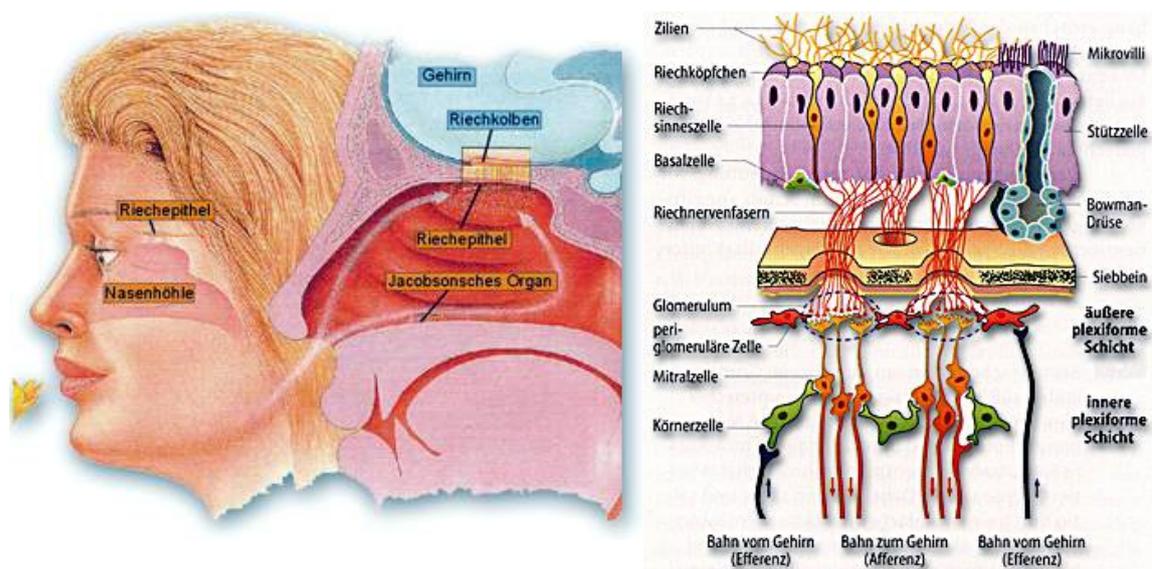


Abbildung 9: Skizzierung der Lage und Aufbau der Riechschleimhaut und Reizweiterleitung zum Gehirn (SCHMIDT & THEWS, 1997)

Über die Fläche der Riechschleimhaut sind schätzungsweise 30 Millionen Riechzellen mit unterschiedlicher Duftstoffselektivität bzw. als ca. 350 unterschiedliche Rezeptortypen verteilt, die alle 40 bis 60 Tage erneuert werden. Dabei kann ein Rezeptor auf mehrere Geruchsstoffe reagieren, hat aber eine hohe Spezifität für bestimmte Molekulareigenschaften. Ein einzelner Geruchsstoff kann durch unterschiedliche Rezeptoren registriert werden. Die Rezeptoren reagieren auf Molekülgestalt und chemische Eigenschaften der Geruchsmoleküle und können auch sehr ähnliche Molekülstrukturen geruchlich differenzieren. Wenn kein Rezeptor für eine bestimmte Molekülstruktur und -eigenschaft vorhanden ist, kann dieser Stoff geruchlich nicht wahrgenommen werden (VDI 3940-3, 2010).

Nach Reizung der Rezeptoren werden elektrische Impulse (chemoelektrische Transduktion) entlang der Nervenbahnen zur Reizverschaltung zunächst gebündelt an die Schaltzentren (*Glomeruli*) im Riechkolben (*Bulbus olfactoris*) im Gehirn geleitet. Im Riechkolben befinden sich etwa 30.000 Glomeruli; jeder einzelne bündelt etwa 1000 bis 2000 Riechzellen des gleichen Typs. Dass gleiche Stoffe von verschiedenen Menschen gleich wahrgenommen werden ist auf die gleiche und unveränderliche räumliche Anordnung der Glomeruli bei allen Menschen zurückzuführen (VDI 3940-3, 2010; HUTTER & WALLNER, 2010).

Nach der Projektion auf Mitralzellen und verschiedenen Prozessen der Signalbearbeitung gelangt die Information als räumlich-zeitliches neuronales Aktivierungsmuster in das limbische System zur Verarbeitung von Emotionen, Erinnerungen, Assoziationen, Motivationen oder Konditionierungen und letztlich ins Bewusstsein in der Großhirnrinde. Über den Hypothalamus und Verbindungen zum Hirnstamm wirken die Geruchssignale auch auf das endokrine System und können vegetative Stressreaktionen auslösen. Dazu zählen Pupillenerweiterung, EEG-Veränderungen, Änderung der Atmung, des Blutdruckes, der Pulsfrequenz, gastrointestinale Symptome oder auch Kopfschmerzen und Schlafstörungen (VDI 3940-3, 2010; HUTTER & WALLNER, 2010).

Das resultierende Geruchsbild wird mit geruchlichen Gedächtnisspuren und Erfahrungen in der individuellen Geruchswelt bzw. auch mit kulturkreisbezogener Geruchsästhetik verglichen. Andere Empfindungen wie Temperatur, Druck, Stichschmerz und Geschmack sind auch am Geruchserlebnis beteiligt, da periphere Enden des *Nervus Trigemini* ebenso in der *Regio olfactoria* und *Regio respiratoria* münden. „[...] solche nichtgeruchlichen Sinneseindrücke [...] durchflechten und durchweben die Geruchsqualitäten nicht immer bis zur ganz verquickten Einheitlichkeit und Einheit, sondern es bleibt oft ein (allgemein getrenntes) Nebeneinander, das die Aufmerksamkeit leicht feststellt.“ (HENNING, 1916).

„Die Gedächtnisspuren werden, sobald sie zur Erinnerung gebracht werden, Bedingungen des neu eintretenden, gegenwärtigen Bewusstseins, und sie harren demzufolge, so lange sie unerregt sind, als Bedingungen möglichen Bewusstseins.“ Sie können auch als funktionelle Nachwirkungen früherer Wahrnehmungen verstanden werden. In diesem Zusammenhang können verschiedene Qualitäten der Bekanntheit, Unbekanntheit und Fremdheit sowie mehrere Fälle des Wiedererkennens unterschieden werden (HENNING, 1916).

Die bewusste Geruchswahrnehmung ist abhängig von der weiteren aktuellen Befindlichkeit oder dem Wahrnehmungszusammenhang, der sich zum Beispiel in Hunger, Durst, guten oder schlechten Stimmungen äußern kann (VDI 3940-3, 2010).

Der Geruchssinn des Menschen erlaubt es unterschiedliche Geruchsqualitäten und Intensitäten zu beurteilen sowie die Richtung eines Geruchsstromes und die Zeitdauer eines Geruchsereignisses einzuschätzen (SCHÖN & HÜBNER, 1996).

Mit zunehmender Geruchs- bzw. Reizstärke nimmt an sich auch die Geruchsempfindung zu, jedoch ist dies kein linearer Zusammenhang. Bereits bei der Reizweiterleitung im Gehirn werden hohe Intensitätsunterschiede logarithmisch an höhere Gehirnzentren weitergegeben (VDI 3940-3, 2010). Die psychophysikalische Relation zwischen Reiz- bzw. Stoffkonzentration und Empfindungsintensität wird über eine Potenzfunktion oder logarithmische Funktion beschrieben. Die degressive Beziehung lässt sich sowohl mit der Stevens-Funktion als auch im Weber-Fechner-Gesetz abbilden (HUTTER et al., 2007; VDI 3940-3, 2010; SCHOEDDER, 1977):

$$\text{Stevens-Funktion} \quad I = K_S \cdot (c - c_0)^n \quad \text{oder} \quad \log I = \text{const} + n \log (c - c_0) \quad (1)$$

$$\text{Weber-Fechner-Gesetz} \quad I = K_{WF} \cdot \log_{10} c \quad (2)$$

mit

I	Intensität der Geruchsempfindung
K_S, K_{WF}	Konstanten/Koeffizienten der physiologischen Wahrnehmung
c	Konzentration des Geruches
c_0	Konzentration an der Wahrnehmungsschwelle
n	Duftspezifischer Exponent, im Allgemeinen gilt: $0,3 \leq n \leq 1$

Die Unterscheidungsfähigkeit für Geruchsintensitäten ist begrenzt; meist muss eine Geruchskonzentration um 30% verändert werden bis ein Unterschied in der Intensität benannt werden kann (in HUTTER et al., 2007). Wie schnell die Intensität eines Geruches mit steigender Konzentration zunimmt bzw. wie wirksam die Intensität von emittierten Geruchsstoffen durch die atmosphärische Verdünnung vermindert wird, hängt von der Art des Geruchsstoffes oder Gemisches bzw. dem jeweiligen Weber-Fechner-Koeffizienten ab (VDI 3788-1, 2000).

Bei Geruchsstoffen mit großem Weber-Fechner-Koeffizienten, bei denen die Intensität mit steigender Stoffkonzentration sehr schnell zunimmt, werden die Intensitäten wirksamer durch Minderungsmaßnahmen oder atmosphärische Verdünnung gemindert als im Fall von geringen Weber-Fechner-Koeffizienten. Dabei werden die hohen Intensitätsstufen erst bei deutlich höheren Konzentrationen erreicht (VDI 3788-1, 2000).

Eine Reduktion der Immissionskonzentration um jeweils gleichbleibende Werte führt nicht zu gleichbleibenden Abnahmen in der subjektiven Intensitätsbewertung. Immissionsverminderungen von hohen Geruchsbelastungen werden nur dann als solche in der Intensitätsbewertung wahrgenommen, wenn sie sehr deutlich ausfallen (HUTTER et al., 2007).

Unter dem Begriff der „Ermüdung“ des Geruchssinnes werden verschiedene Erscheinungen subsumiert. Im Blutkreislauf zirkulierende „Ermüdungsgifte“ können die Arbeit der Organe beeinträchtigen. Davon abzugrenzen ist die Herabsetzung der Erregbarkeit eines Sinnesorgans. Hier ist wiederum zu differenzieren, wie weit das zentrale System, der periphere sensorische Nerv, der Endapparat oder nur die sinnliche Aufmerksamkeit betroffen sind (HENNING, 1916).

Die Bindungsdauer der Geruchsstoffe an den Rezeptoren ist unterschiedlich, so dass eine Wahrnehmung die nachfolgende Wahrnehmung im Kontext des räumlich-zeitlichen Aktivierungsmusters beeinflusst und in Gewöhnungs- oder Sensibilisierungseffekten resultiert (VDI 3940-3, 2010). Die Desensibilisierung durch Adaption im Sinne einer reizseitig bestimmten Herabsetzung der Empfindlichkeit kann von der Habituation abgegrenzt werden. Letzteres beschreibt eher die erfahrungsbasierte Gewöhnung an einen Geruch (HUTTER et al., 2007). Die Geschwindigkeit der Anpassung, Gewöhnung oder Ermüdung des Geruchssinnes ist mit steigender Geruchsstoffkonzentration beschleunigt und kann zwischen 20 Sekunden und mehreren Minuten liegen (SCHÖN & HÜBNER, 1996). Riechstörungen mit Krankheitswert (z.B. Anosmie, Parosmie) werden hier nicht weiter betrachtet.

Abbildung 10 zeigt exemplarisch das unterschiedliche Zeitverhalten des Riecheindrucks für zwei Stoffkonzentrationen (Reizstärken), je nachdem ob der Probandengruppe der Geruch anhaltend oder intermittierend (abwechselnd mit 30 s Erholungspausen) angeboten wurde. Die Empfindungsintensität nimmt bei anhaltender Exposition (erste 10 min) deutlich ab. Kann der Geruchssinn sich bei intermittierender Darbietung in den Pausen ausreichend erholen, sind die Werte stabiler. Bei der höheren Konzentration ist sogar bei wiederholter Darbietung zeitweise eine Zunahme der Empfindungsintensität zu verzeichnen.

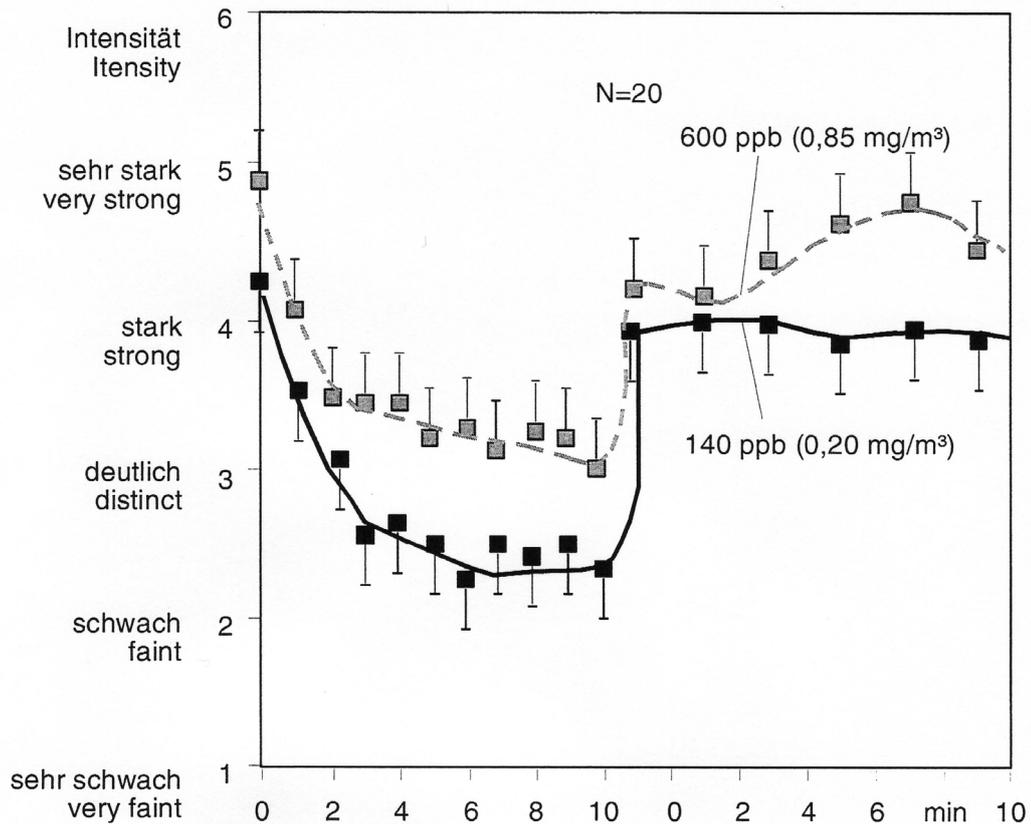


Abbildung 10: Änderung der Empfindungsintensität über die Zeit bei zwei unterschiedlichen Stoffkonzentrationen und Expositions-Szenarien. Links (erste 10 min): anhaltende konstante Exposition. Rechts (zweite 10 min) intermittierend mit Erholungspausen von 30 s (in MUNACK, 1997 nach VDI 3881-1, 1986)

Eigentlich wird die Intensität zunächst unabhängig von der Qualität wahrgenommen. Die Charakteristik eines Aktivierungsmusters mit Auswirkung auf die Qualität der Geruchswahrnehmung kann sich mit zunehmender Intensität aber verändern, indem zusätzliche Riechzellen aktiviert werden, deren Rezeptoren bei geringeren Intensitäten noch keine Affinität aufwiesen (VDI 3940-3, 2010).

Die je nach Geruchsstoff sehr unterschiedlichen Geruchsschwellenwerte könne auch als Ausdruck der Anpassung verstanden werden. Wenn eine wichtige Information für den Organismus von einer schwer flüchtigen, gering konzentrierten Substanz übermittelt wird, muss der Geruchssinn dafür ausreichend sensibel werden, um dieses Signal detektieren zu können (BOEKER, 2003). Im weiteren Zusammenhang kann auch die Unterscheidung in „gute“ und „schlechte“ Gerüche gesehen werden. Schlechte Gerüche als Indikator für Gefahren verlangen im Gegensatz zu guten Gerüchen nach einer zügigen Verhaltensantwort. Der Geruchssinn ist entsprechend sensibler gegenüber Veränderungen von schlechten Gerüchen (in HUTTER et al., 2007).

Die Geruchswahrnehmung und Bewertung ist somit das Ergebnis des Zusammenwirkens von Reizcharakteristika (Reizqualität, Reizintensität), physiologischer Eigenschaften der Person sowie psychosozialer Aspekte. Die Geruchssensibilität eines großen Kollektivs von Menschen folgt der Normalverteilung. Mehrere Studien weisen daraufhin, dass mit zunehmendem Alter, Krankheit, Medikamenten- oder Drogengebrauch die individuelle Geruchsschwelle steigt. Auch über einen hormonellen bzw. geschlechtspezifischen Einfluss mit geringeren Geruchsschwellen für Frauen wird berichtet (HUTTER et al., 2007).

3.2 Geruchsbeschreibung

Die Beschreibung, Repräsentation oder Klassifizierung von Gerüchen erfolgt meist verbal über Begriffe aus allen Bereichen der Sinneswahrnehmung. Auch die Beschreibung von Ähnlichkeiten zu allgemein bekannten riechenden Dingen, über die zumindest die Angehörigen desselben Kultur- und Lebensraumes wohl die gleiche Vorstellung haben, ist verbreitet.

Einen der ersten Versuche Gerüche zu klassifizieren hat ZWAARDEMAKER im Jahr 1895 unternommen, indem er neun Hauptklassen mit Unterklassen definierte (VROON et al., 1996):

1. ätherisch (Aceton, Chloroform, Äther...)
2. aromatisch (Kampfer, Lavendel, Menthol...)
3. balsamisch (Vanille, Lilie, Jasmin...)
4. amberartig (Moschus, Pheromone...)
5. alliziös (Amine, Thiolverbindungen...)
6. empyreumatisch (Kaffee, Tabakrauch...)
7. hirziös (Käse, Schweiß...)
8. repulsiv (Tollkirsche, Stechapfel...)
9. ekelerregend (verwesendes Fleisch, Leichenluft...)

Ähnlich erfolgt die Unterteilung in Primärgerüche nach AMOORE (in PLATTIG, 2002) mit ätherisch, kampferartig, moschusartig, blumig, minzig, stechend, faulig und schweißig.

Nach HENNING (1916) kann das Schema der Geruchsempfindungen nur die Oberfläche eines räumlichen Gebildes ausfüllen. Er bestimmt als endgültiges dreidimensionales Distanzmodell die Oberfläche des regelmäßigen Prismas. Die sechs Ecken der Grundempfindungen des Geruches drücken die Umkehrpunkte der Ähnlichkeitsrichtung aus (**Abbildung 11**).

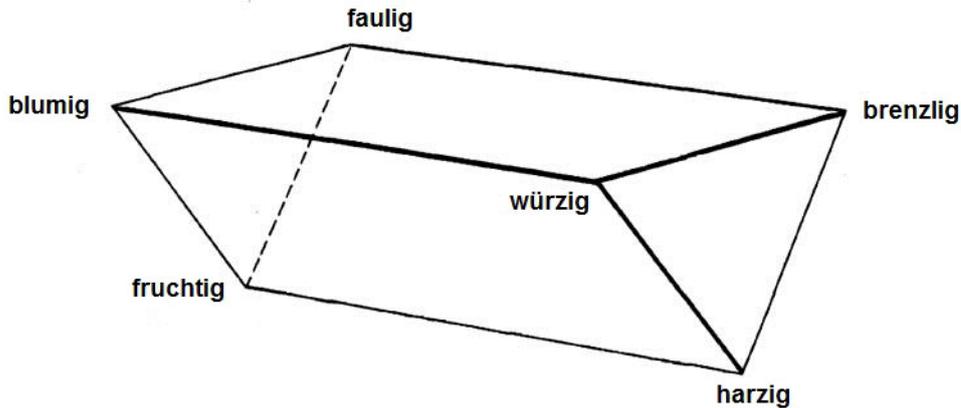


Abbildung 11: Geruchsprisma nach HENNING (1916)

Alle Gerüche der Prismenoberfläche wie der Kanten sind jedoch einfach mit scharf umrissener Individualität; keine Mischgerüche. Sie weisen nur unterschiedliche Ähnlichkeiten zu den benachbarten Kanten und Ecken auf (HENNING, 1916). RANDEBROCK (1965) konstatiert jedoch, dass sich bisher keine Ansatzpunkte gezeigt hätten, dass die von HENNING dargestellten Beziehungen der Gerüche zueinander den tatsächlichen Gegebenheiten entsprächen.

Basierend auf Vorarbeiten aus der Psychologie (Semantik) und Parfümerie (**Abbildung 12**) entwickelt RANDEBROCK (1965) das Polaritätenprofil als Mittel zur Geruchsbeurteilung. Über einen Fragebogen stuft die Versuchsperson die Geruchswahrnehmung entsprechend der Stärke der Assoziation in Gegensatzpaare von Eigenschaftsbezeichnungen ein (**Abbildung 13**).

Die Methode der Polaritätenprofile ist mittlerweile verbreitet und wird als alternatives Verfahren zur Erfassung der hedonischen Geruchswirkung in der Außenluft angewendet. Zunächst wird das Polaritätsprofil für die Konzepte „Duft“ und „Gestank“ erstellt. Dies erfolgt abstrakt und assoziativ ohne aktuellen Geruchsreiz. Anschließend wird für einen vorliegenden Anlagengeruch mehrfach das Profil erstellt und schließlich die Ähnlichkeit der Profile mit den Konzepten „Duft“ oder „Gestank“ geprüft. Es wird die Ähnlichkeit des Verhaltens gegenüber einem Objekt, nicht das Objekt selbst gemessen (VDI 3940-4E, 2008). **Abbildung 14** zeigt beispielhaft die Polaritätenprofile sechs unterschiedlicher Anlagengerüche.

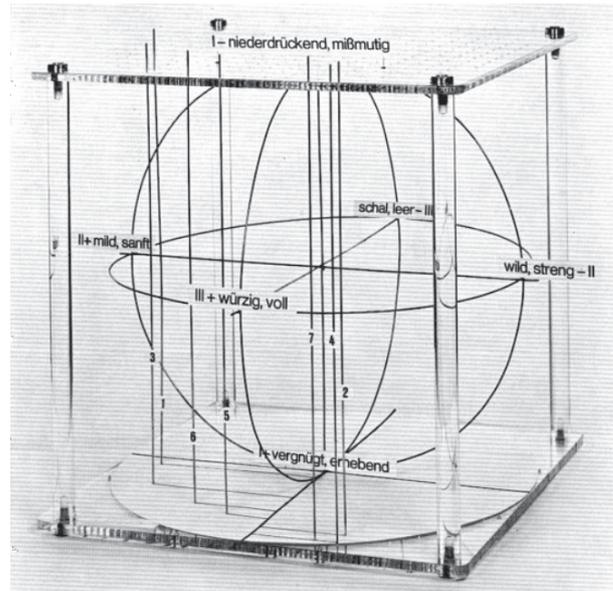


Abbildung 12: Modell des Geruchsbeschreibungsräume in der Parfümerie (RANDEBROCK, 1965)

Riechtest

Test-Nr.	Name: _____	Pers.Nr.	männlich = 1 weiblich = 2	Altersgruppe

	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○		
1	harmonisch	---	unharmonisch 1
2	aufregend	---	beruhigend 2
3	grob	---	fein 3
4	kalt	---	warm 4
5	weich	---	hart 5
6	stark	---	schwach 6
7	passiv	---	aktiv 7
8	verspielt	---	ernst 8
9	friedlich	---	agressiv 9
10	robust	---	zart 10
11	vergnügt	---	mißmutig 11
12	wild	---	sanft 12
13	leise	---	laut 13
14	frisch	---	abgestanden 14
15	leer	---	voll 15
16	seicht	---	tief 16
17	schön	---	häßlich 17
18	alt	---	jung 18
19	schwer	---	leicht 19
20	interessant	---	langweilig 20
21	angenehm	---	unangenehm 21
22	wach	---	müde 22
23	mild	---	streng 23
24	herb	---	süß 24
25	niederdrückend	---	erhebend 25
26	würzig	---	schal 26
27	rauh	---	glatt 27
28	dumpf	---	stechend 28
29	dunkel	---	hell 29

Empfindung kräftig ankreuzen!

Abbildung 13: Fragebogen zur Polaritätenprofilmethode (RANDEBROCK, 1965)

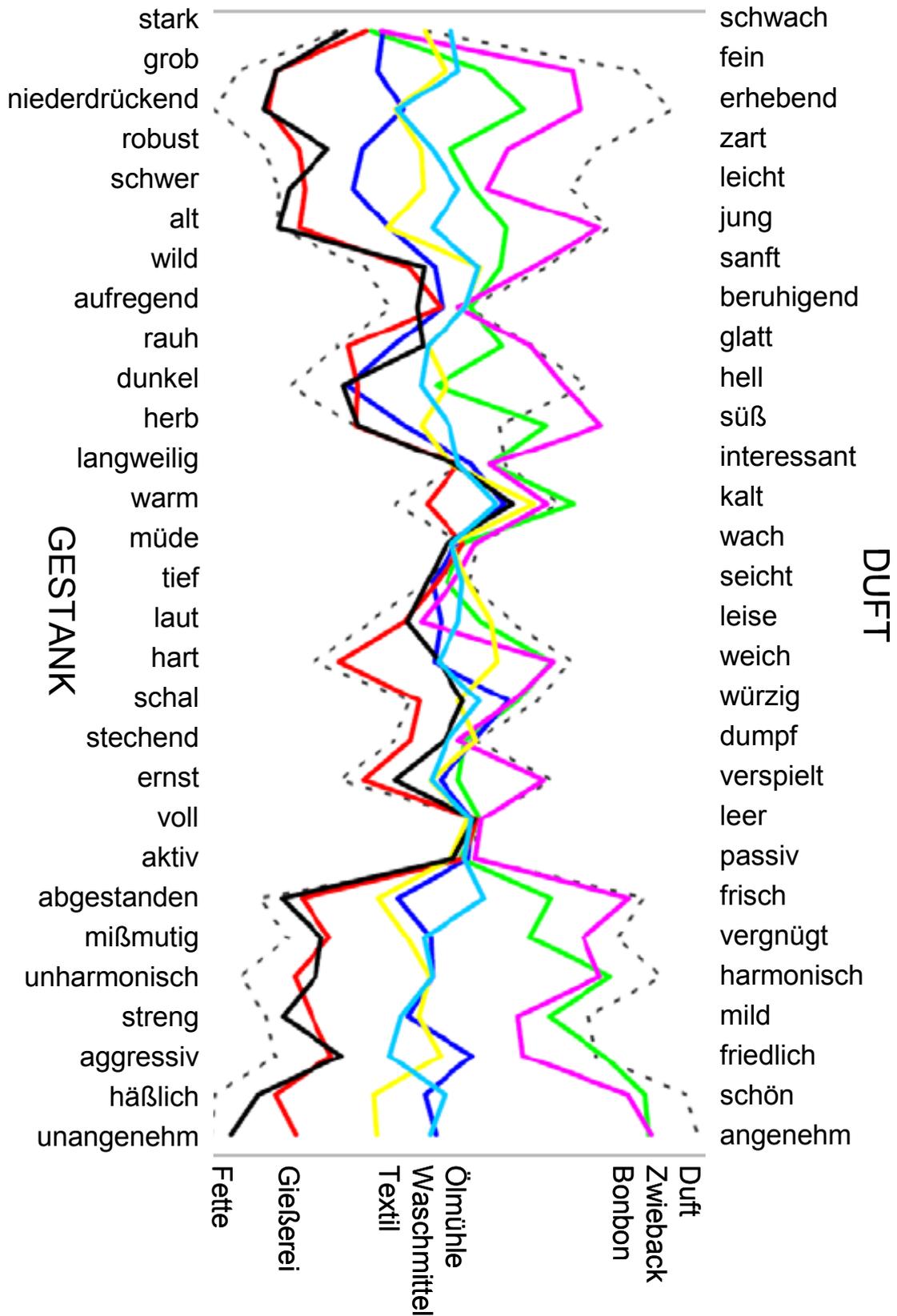


Abbildung 14: Polaritätenprofile von sechs Anlagengerüchen und der Geruchskonzepte „Duft“ und „Gestank“ (SUCKER, 2008)

Aromaräder helfen bei der Erstellung von Aromaprofilen beispielsweise bei der Verkostung von Wein. Eine Adaption stellen Geruchsräder (Odour Wheels) zur sensorischen Beurteilung und Überwachung in der Wasserwirtschaft oder von Kompostierungsprozessen dar (BURLINGAME et al., 2002). Dabei versucht man von Innen nach Außen über bestimmte Geruchskategorien und Assoziationen auf mögliche chemische Stoffe zu folgern (**Abbildung 15**). Für den einzelnen Anwendungszweck kann das Geruchsrad entsprechend angepasst werden, sofern genügend Erkenntnisse über die Zusammenhänge zwischen Geruchscharakteristik und Geruchsstoffzusammensetzung bei dem jeweiligen Prozess oder der jeweiligen Anlage vorliegen.

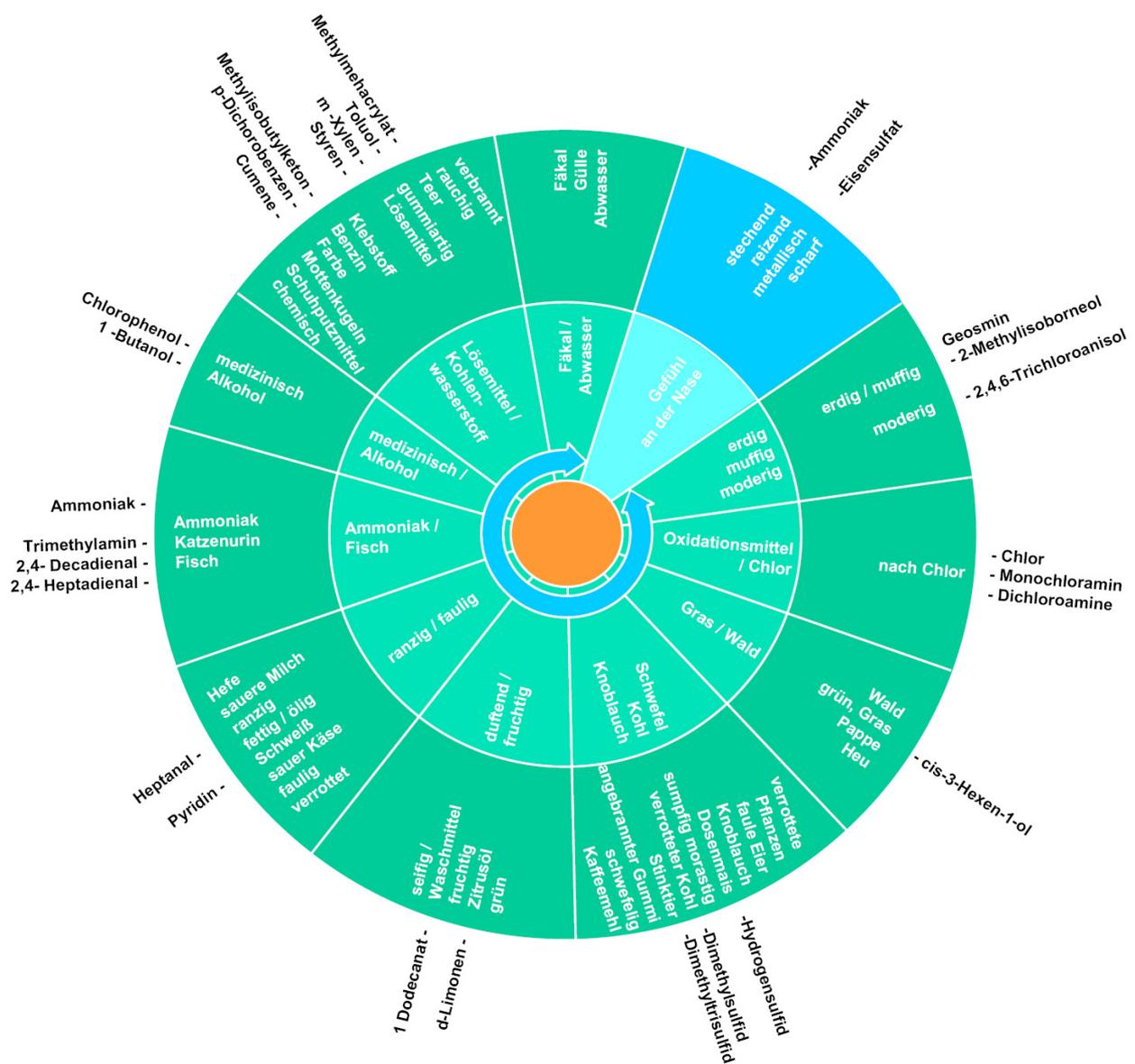
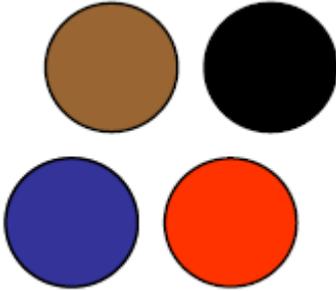
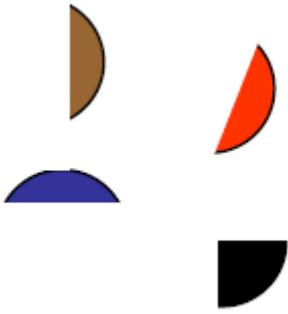
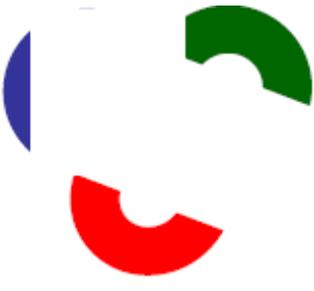
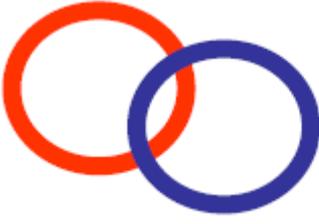


Abbildung 15: Beispiel für ein Geruchsrad zur Beschreibung von Abwasser (übersetzt nach BURLINGAME et al., 2002)

Einen ungewöhnlichen visuellen Ansatz zur Beschreibung von Gerüchen aus der Tierhaltung verfolgt HAMILTON (2007). Der Geruchscharakter der fünf wichtigsten Geruchsstoffgruppen wird über die Farbgebung unterschieden. Die Persistenz (Dauerhaftigkeit) wird über den Füllungsgrad von Kreisformen differenziert. Die Konzentrationsunterschiede (hier: Geruchsschwellen) werden durch einen Voll-, Halb- oder Viertelkreis dargestellt (**Tabelle 1**). HAMILTON sieht Vorteile in der Visualisierungsmethode, da es den Leuten schwerfalle die Gerüche passend mit Worten zu beschreiben und sich folglich die Diskussion schnell auf die Chemie der einzelnen Geruchsstoffe beschränke.

Tabelle 1: Visualisierung von Persistenzindikatoren (Dauerhaftigkeit) für Geruchsstoffgruppen (übersetzt nach HAMILTON, 2007)

		Formindikatoren für Konzentrationen oberhalb der Erkennungsschwelle	Formindikatoren für Konzentrationen zwischen Entdeckungs- und Erkennungsschwelle
Höchste Persistenz	Organische Säuren Phenole Indole Skatole Langkettige Sulfide		
Mittlere Persistenz	Methanol Formaldehyde Acetone Methyl Ethyl Ketone Kurzketten Sulfide Amide und Amine		
Geringste Persistenz	Ammoniak Hydrogensulfat		

3.3 Belästigung

Geruchsintensive Einwirkungen können sich störend auf das körperliche und seelische Wohlbefinden auswirken. Die subjektive Bewertung, ab wann eine Geruchsexposition bzw. -belastung Unbehagen auslöst und als Belästigung empfunden wird, hängt von vielen Faktoren ab. PLATTIG (2002) formuliert sinngemäß folgende Thesen:

- Die Empfindung bei einer Geruchsbelastung ist sehr subjektiv und hängt stark vom „sozialen“ Lernen ab.
- Die Sinnhaftigkeit oder Notwendigkeit einer Geruchsbelastung bzw. die Einstellung zu den Geruchsverursachern (Prozesse, Betreiber) ist relevant für die Motivation, sie als mehr oder weniger positiv zu empfinden.
- Geruch ist sehr erinnerungsintensiv und kann eine sehr komplexe Situation aus der Vergangenheit mit starken positiven oder negativen Assoziationen heraufbeschwören, die auf den aktuellen Geruchseindruck übertragen werden.
- Körperliche Symptome, über die bei Geruchsbelastung und –belästigung berichtet wird, enthalten psychosomatische Anteile, die sich mit dem Grad der empfundenen Handlungsunfähigkeit und des Ausgeliefertseins verstärken.

Die schiere Erkennbarkeit von unangenehmen Gerüchen kann bereits ausreichen, um eine Belästigungsreaktion hervorzurufen. Diese hängt nicht zwangsläufig von einer nennenswerten Geruchskonzentration oder Intensität ab (SUCKER, 2008).

VAN HARREVELD (2001) differenziert zwischen zwei Ausprägungen des Belästigungsempfindens – *Annoyance* und *Nuisance*. *Annoyance* im Sinne einer akuten Störung oder eines aktuellen Ärgernisses ist als komplexe menschliche Reaktion auf einen Stressor zu verstehen, der eine negative kognitive Einschätzung verursacht, die einer Bewältigung (*Coping*) bedarf. Das Störungspotential (*Annoyance potential*) wird somit als Attribut eines Geruches oder einer Geruchsart verstanden, entsprechende Reaktionen hervorzurufen. Die eigentliche Belästigung (*Nuisance*) resultiert aus den kumulierten Effekten auf den Menschen, welche über längere Zeit durch wiederkehrende und anhaltende Störungen und ärgerliche Ereignisse zur Anpassung oder Änderung des Verhaltens führen. Das Belästigungspotential (*Nuisance potential*) beschreibt in diesem Sinne die Charakteristik einer Expositionssituation für die Bevölkerung, die immer wieder und über längere Zeit die Lebensumwelt (negativ) prägt. Dabei wird die Situation als unausweichlich und fremdbestimmt erlebt und es werden negative Auswirkungen für das eigene Wohlbefinden befürchtet (VAN HARREVELD, 2001).

In verschiedenen Studien wird zwar über körperliche Symptome und gesundheitliche Probleme durch Geruchsexposition berichtet (in SUCKER, 2008). Bisher ist aber davon auszugehen, dass es sich zunächst um indirekte stressbedingte somatische Beschwerden infolge der Belästigungsreaktion handelt. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass sich diese langfristig gesehen auch organisch manifestieren können (in HUTTER et al., 2007). Versteht man den Begriff Gesundheit nicht nur als Freisein von Krankheit und Behinderung sondern viel mehr als Zustand des körperlichen, seelischen und sozialen Wohlbefindens und setzt intakte Regulationsmechanismen voraus (in HUTTER et al., 2007), kann die Belästigungsreaktion (nicht der Geruch selber) als gesundheitsbeeinträchtigend verstanden werden.

Zusammenfassend können die verschiedenen Einflussfaktoren als reizseitige, kontextbezogene und personenbezogene Moderatorvariablen, die über die Ausprägung des Belästigungsempfindens mitentscheiden, beschrieben werden. Das Belästigungsempfinden kann die Anwohner zur Beschwerde veranlassen. **Abbildung 16** beschreibt in Anlehnung an VAN HARREVELD (2001) das Geschehen zwischen Geruchsemission und Beschwerde als Abfolge von Ereignissen, die an den Übergängen von entsprechenden Moderatorvariablen begleitet werden.

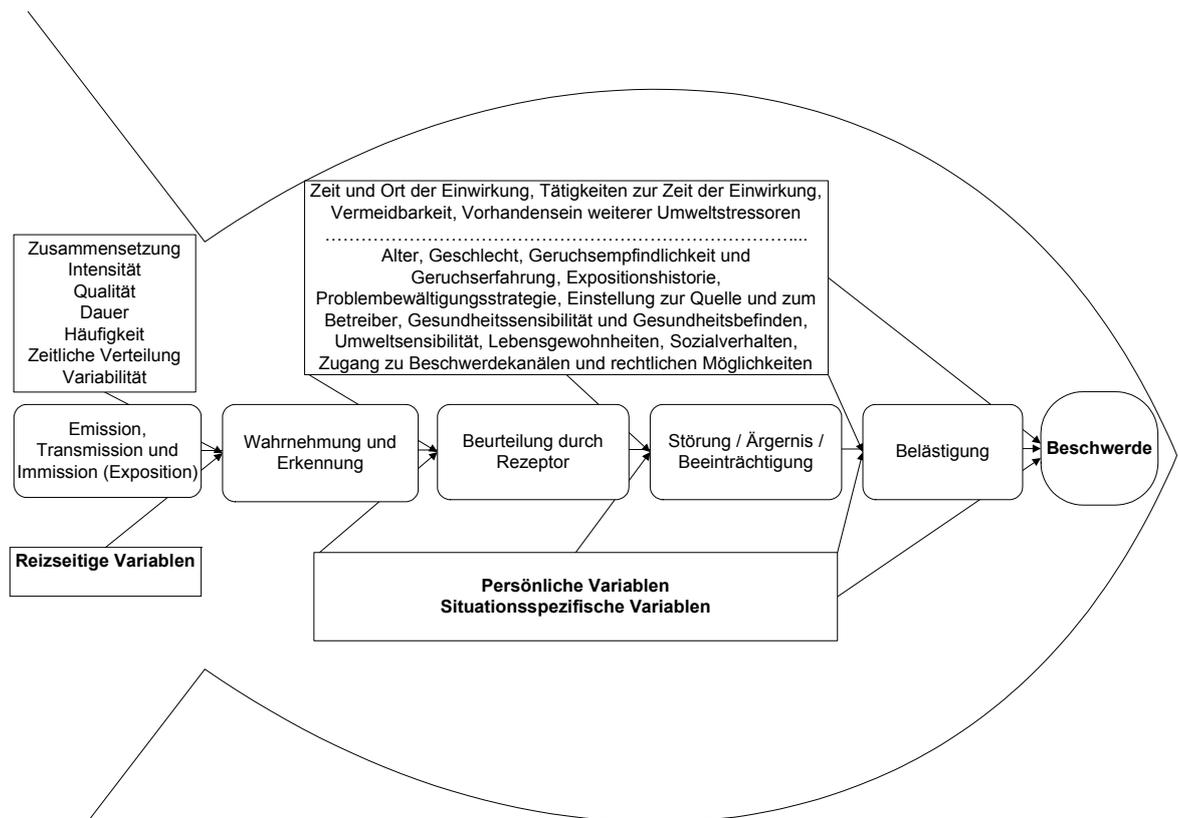


Abbildung 16: Moderatorvariablen beim Expositions-Wirkungszusammenhang zwischen Geruchsbelastung und Geruchsbelästigung

In vereinfachter Form dient in Australien und Neuseeland das FIDOL-Konzept (**F**requency, **I**ntensity, **D**uration, **O**ffensiveness, **L**ocation) zur Bestimmung des Belästigungspotentiales einer Geruchseinwirkung, indem die Häufigkeit, Dauer und Ort der Geruchsexposition sowie die Geruchsstärke und Lästigkeit bewertet werden. Unter Location (Ort) werden nicht nur die Gebietsnutzung sondern auch Eigenschaften des Rezeptors wie Toleranz, Sensibilität und sozio-ökonomische Aspekte verstanden. Dabei ist neben der Ausprägung der einzelnen FIDOL-Faktoren auch deren unterschiedliche Kombinationswirkung für die Beurteilung als akute oder chronische Belästigungswirkung relevant (PULLEN, 2007).

Die wirkseitige direkte Erfassung oder Beschreibung einer Geruchsbelästigung erfolgt über eine schriftliche oder persönliche psychometrische Befragung der betroffenen Personen. Eine systematische Einfachbefragung beinhaltet Fragen zu den oben genannten persönlichen und situationsspezifischen Moderatorvariablen (Abbildung 16), zur Qualifizierung und Quantifizierung der möglichen Belästigungsursachen wie Lärm und Geruch, zu gesundheitlichen Symptomen oder Beeinträchtigungen in den Lebensgewohnheiten. Zum anderen wird der individuelle Grad der Belästigung als Selbsteinschätzung über eine mehrstufige graphische Thermometerskala und eine Verbalskala sowie über eine „Ja/Nein“-Frage als Unzumutbarkeitsurteil erhoben. Für Details zur Stichprobenauswahl, Prüfung und Auswertung der Fragebogendaten, Darstellung in Expositions-Wirkungsbeziehungen und zu den zugrundeliegenden statistischen Modellen wird auf die Ausführungen in SUCKER (2008), SUCKER & BOTH (2005) und die VDI-Richtlinie (VDI-3883-1, 1997) verwiesen. Die Methode der wiederholten Kurzbefragung wird in der VDI-Richtlinie 3883-2 (1993) erläutert.

Daneben stellt sich die Frage nach praktikablen und objektiven Kriterien zur Erfassung der Belästigungswirkung. Von KEIDEL et al. (1980) wurden umfangreiche Untersuchungen zur physiologischen Objektivierung und zu psychologischen Aspekten der Geruchsbelästigung durchgeführt. Demnach zeigten die Reaktionsamplituden psychovegetativer Parameter keinen objektivierbaren Zusammenhang zur subjektiven Bewertung der Geruchsintensität. Die Enge des Zusammenhanges zwischen analytisch gemessenen Immissionskonzentrationen von Phenolen und Geruchswahrnehmungen war unbefriedigend, für Schwefelwasserstoff war kein Zusammenhang feststellbar. Die Erfassung der Belästigungsreaktion durch Fragebogenmethodik war hingegen zufriedenstellend, auch im Hinblick auf die Gütekriterien der Belästigungswerte, die Reproduzierbarkeit nach ein bis zwei Jahren und die Eignung für Gruppenvergleiche. Es fand sich eine deutliche Entfernungsabhängigkeit vom Emittenten.

KEIDEL et al. (1980) unterscheiden vier Stufen der Belästigung („keine“, „unbedeutend“, „kritisch“, „bedeutsam“) in Abhängigkeit der signifikanten Ausprägung der Belästigungskomponenten Geruchsmission, Zumutbarkeit und sozial-emotionales bzw. somatisches Befinden im Vergleich zu einer geeigneten Kontrollstichprobe.

Die Grenze zur erheblichen Belästigung im Sinne des Immissionsschutzes liegt nach KEIDEL et al. (1980) im Bereich der kritischen oder bedeutsamen Belästigung, da hier die Wahrnehmung störender Gerüche von Störungen des subjektiven Wohlbefindens und der mehrheitlichen Ablehnung des Belästigungssachverhaltes geprägt sei. Die immissionsschutzrechtliche Gesetzgebung beinhaltet die Vorstellung, dass eine Belästigung in gewissem Umfang zumutbar ist und von der Bevölkerung toleriert werden kann. Eine völlige Freiheit von Geruchsbelästigungserscheinungen ist nicht herstellbar. Es handelt sich eher um einen Prozess der Abwägung und Bewertung widerstreitender Interessen zwischen Anlagenbetreibern und Anwohnern, auch unter Berücksichtigung von Kriterien, die nicht ausdrücklich im Gesetz genannt werden (KEIDEL et al., 1980; MOHR, 2010).

Bei der Abschätzung der Grenze zur Erheblichkeit einer Belästigung im Rahmen von Befragungen werden die Häufigkeiten der Unzumutbarkeitsurteile als „Ja/Nein“-Abfrage in Bezug zu der Selbsteinschätzung des Belästigungsgrades auf der mehrstufigen Verbal- oder Thermometerskala gesetzt (KEIDEL et al., 1980; SUCKER, 2003; VDI 3883-1, 1997). Oft ist eine deutliche und sprunghafte Zunahme der Unzumutbarkeitsurteile auf über 65% der Befragten ab der Thermometerstufe sieben von zehn zu verzeichnen, wie **Abbildung 17** beispielhaft zeigt (SUCKER, 2008; SUCKER et al., 2006).

Als Konvention wird in umweltmedizinischen Regelungen meist ein Anteil von 10% bis 15% von „sehr stark Belästigten“ Personen als tolerierbar angesehen (HUTTER et al., 2007; ENVIRONMENTAL AGENCY, 2009), ein Kriterium, das bei der Interpretation von Expositions-Wirkungsbeziehungen für die Ermittlung einer erheblichen Geruchsbelastung herangezogen wird (SUCKER, 2008; SUCKER et al., 2006). Grundlage und Maßstab ist die normal empfindende Person bzw. der verständige Durchschnittsmensch (MOHR, 2010; HUTTER et al., 2007).

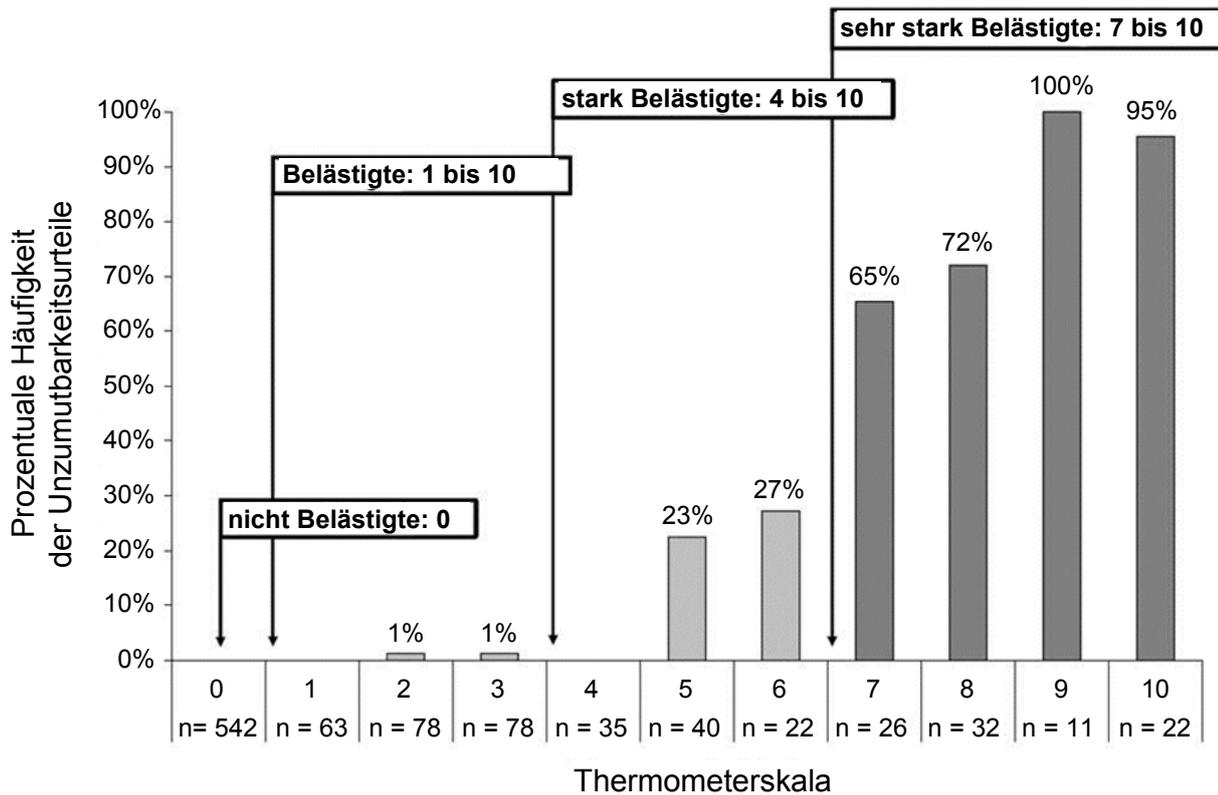


Abbildung 17: Prozentuale Häufigkeit der Unzumutbarkeitsurteile in Abhängigkeit vom selbst eingeschätzten Belästigungsgrad (Thermometerskala) (SUCKER et al., 2006)

Im Sinne der Schweizer Umweltgesetzgebung werden Geruchsimmissionen als übermäßig betrachtet, wenn auf Grund einer Erhebung feststeht, dass ein wesentlicher Teil der Bevölkerung (mehr als 25% eines Beurteilungsgebietes) erheblich gestört ist. Die Erheblichkeit wird hierbei an Einstufungen größer oder gleich acht auf einer zehnstufigen Geruchsskala festgemacht (RICHNER & SCHMIDLIN, 1995). HANGARTNER (2009) stellt ein Beurteilungsschema für den Grad der Geruchsbelästigung in **Tabelle 2** differenzierter dar.

Tabelle 2: Beurteilung von Geruchsbelästigung nach HANGARTNER (2009)

Belästigung	Mittelwert Selbsteinstufung auf 10-stufiger Thermometerskala	Prozentsatz erheblich belästigter Personen (Selbsteinstufung > 8 auf 10-stufiger Thermometerskala)	Maßnahmen
stark	> 5	> 25%	Sofortmaßnahmen
mittel	3 bis 5	25 bis 10%	langfristig
zumutbar	< 3	< 10%	Keine besonderen

HAIDER et al. (1994) formulierten im Nationalen Umweltplan für Österreich die Zielvorstellung, den Anteil geruchsbelästigter Wohnungen von damals 24,5% in den folgenden fünf bis zehn Jahren auf maximal 20% und im längeren Zeithorizont (10-15 Jahre) auf höchstens 15% zu begrenzen. Der Anteil sehr stark und stark belästigter Wohnungen sollte entsprechend von 12% auf zunächst 8% und dann 5% begrenzt werden; davon sollten nur 1% der Wohnungen dann sehr stark belästigt sein und es sollten zusätzlich Zeitregelungen eingesetzt werden.

In den Niederlanden werden acht abgestufte Umweltqualitätskriterien von sehr gut bis extrem schlecht in Abhängigkeit des Anteils geruchsbelästigter Personen angewendet (**Tabelle 3**). Als akzeptabel kann als Richtwert ein Anteil Belästigter von 12% angesehen werden mit einem oberen Wert von 20% und einem Zielwert von 3% (INFOMIL, 2007).

Tabelle 3: Einstufung der Umweltqualität in Abhängigkeit von der Geruchsbelästigung (INFOMIL, 2007)

Umweltqualität	Geruchsbelästigte
sehr gut	< 5%
gut	5 bis 10%
recht gut	10 bis 15%
moderat	15 bis 20%
ziemlich schlecht	20 bis 25%
schlecht	25 bis 30%
sehr schlecht	30 bis 35%
extrem schlecht	35 bis 40%

In England (PULLEN, 2007) wird darauf abgestellt, dass im Sinne der Richtlinie zur Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung auch eine Beeinträchtigung oder Belastung („offence“) der menschlichen Sinne und somit auch des Geruchssinnes als unerwünschte Umweltverschmutzung zu verstehen sei. Demnach wird der Punkt, ab dem ein angemessener Grund für Geruchsbelästigung („reasonable cause for annoyance“) besteht, als der Punkt angesehen, ab dem der Geruchssinn nachteilig betroffen ist. Das resultierende Benchmark-Kriterium „no reasonable cause for annoyance“ impliziere aber nicht, dass keine Beschwerden auftreten können. Es ist definiert als ein Maß an Geruchsexposition, das ein hoher Anteil der exponierten Bevölkerung mit normalen Geruchsempfinden in der Langzeitbeurteilung als akzeptabel bewertet. Umgekehrt sei aber bei keinen Beschwerden auch nicht immer davon auszugehen, dass gar kein Geruchsproblem existiere, da

bereits ein unterschwelliger Belästigungsgrad vorliegen könne, bevor es zur Beschwerde komme (PULLEN, 2007).

Die Umsetzung erfolgt in den verschiedenen Immissionsregelungen zum Schutz vor erheblichen Belästigungen über Abstandsregelungen, die Begrenzung des zeitlichen Anteils von Gerüchen (Geruchsimmissionshäufigkeit) oder der Expositionshäufigkeit durch Immissionskonzentrationen (Geruchsexpositionsgrenzwert), wie detaillierter in Kapitel 5 dargestellt wird.

Inwieweit sich die Parameter Häufigkeit, Intensität und Hedonik einer Exposition mit Gerüchen aus der Tierhaltung als wirkungs- bzw. belästigungsrelevant erwiesen haben, wird in den folgenden Kapiteln 4.4 und 4.5 anhand konkreter Untersuchungsergebnisse dargelegt.

Für weiterführende Informationen zur Interpretation und zu Auslegungsfragen von Erheblichkeits- und Zumutbarkeitskriterien im juristischen Sinne sei auf die dezidierten Ausführungen zur Bewertung von Geruch im Immissionsschutzrecht von MOHR (2010) verwiesen.

4 Gerüche aus der Tierhaltung

Der Kenntnisstand und die Ergebnisse eigener Untersuchungen zu den verschiedenen Aspekten des Themenkomplexes 'Gerüche aus der Tierhaltung' werden dargelegt und jeweils in einem Fazit zusammengefasst. Dies ist die Wissensgrundlage, die für die Bewertung von Gerüchen aus der Tierhaltung und die Umsetzung in entsprechenden Bewertungsverfahren heranzuziehen ist. Die Ausführungen beginnen auf der Geruchsstoffebene und führen über die Immission (Belastung) mit Methoden, Einflussfaktoren und Minderungsmaßnahmen schließlich zu Fragen der Wirkung (Hedonik und Belästigung) und Bewertung von Tierartunterschieden.

4.1 Geruchsstoffe

4.1.1 Eigenschaften

Gerüche sind Gemische von Geruchsstoffen und entstehen bei vielen biochemischen und technischen Stoffumwandlungsprozessen, unabhängig davon, ob es sich um eine synthetisierende oder eine abbauende Reaktion handelt, wie beispielsweise der aerobe Abbau (Gärung), der anaerobe Abbau (Fäulnis) von organischen Substanzen oder die thermische Zersetzung von anorganischen und organischen Substanzen. Der Verlauf und die Intensität der Stoffumwandlung und der resultierenden Geruchstoffbildung hängt von der Art der Reaktionspartner und der vorherrschenden Milieubedingungen ab und kann in den verschiedenen Stadien einer Stoffumwandlungsreaktion variierende typische Geruchsnoten ergeben (SCHÖN & HÜBNER, 1996; BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2008).

Geruchsstoffe sind mehrere tausend chemische Verbindungen, die den Geruchssinn ansprechen und Geruchsempfindungen auslösen können. Um in die Nase zu gelangen und um die Nasenschleimhaut bzw. Riechzellen zu durchdringen, müssen sie über ein geringes Molekulargewicht, eine leichte Flüchtigkeit sowie eine gute Wasser- und Fettlöslichkeit verfügen. Weiterhin typisch für Geruchsstoffe ist das Vorhandensein einer funktionellen Gruppe wie z.B. aliphatische, aromatische oder halogenierte Kohlenwasserstoffe, die die qualitative Geruchswirkung maßgeblich prägen (SCHÖN & HÜBNER, 1996; BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2008).

Die Molekülgröße und -struktur wirken sich auf den Transport, die Wirkung und Intensität der Geruchsstoffe aus. Dabei kann eine zunehmende Intensität eine abnehmende Flüchtigkeit hinsichtlich der Geruchswirkung mehr als kompensieren, wie z.B. im Fall der ätherischen Öle. Auch bei flüchtigen Fettsäuren nimmt mit zunehmender Kettenlänge (Molekülgröße) zwar die Flüchtigkeit ab, trotzdem verringert sich auch die Geruchsschwellenkonzentration. Meist weisen Geruchsstoffe eine nachweisliche Basizität oder Azidität auf. Die Geruchswirkung kann durch eine Neutralisierung (z.B.

durch Salzbildung) oftmals minimiert werden (SCHÖN & HÜBNER, 1996; BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2008).

Die Bewertung der Geruchswirkung von Einzelstoffen allein anhand chemisch-analytischer Verfahren ist sehr schwierig, da es an einheitlichen Strukturmerkmalen fehlt, welche letztlich die geruchstragenden Eigenschaften bedingen. Eine sehr ähnliche Geruchswirkung können sehr unterschiedliche Verbindungen aufweisen bzw. strukturell sehr ähnliche (isomere) Stoffe können geruchlich aber unterschiedlich wirken. Die Geruchswirkung von Einzelstoffen kann in Folge struktureller oder stofflicher Veränderungen sowie im Gemisch durch gegenseitige Überlagerung oder Beeinflussung der Komponenten unter Umständen aufgehoben oder verstärkt werden. Der jeweils vorherrschende Charakter der Wechselwirkungen zwischen den Komponenten eines Geruchsstoffgemisches kann Unabhängigkeit, Addition, Kompensation oder Synergismus sein. Die Einwirkung von z.B. Licht oder Sauerstoff kann eine chemische Umwandlung der Geruchsstoffe verursachen und wiederum die Geruchswirkung der Einzelstoffe bzw. des Stoffgemisches verändern (SCHÖN & HÜBNER, 1996; BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2008).

4.1.2 Geruchsstoffe aus der Tierhaltung

Geruchsstoffe aus der Tierhaltung werden im Wesentlichen bei der Umwandlung und Zersetzung von Kot und Harn sowie Futtermittelresten gebildet. Weitere Geruchsquellen sind der Eigengeruch des Futters und der Tiere. Der Anteil der Tierausdünstungen selber beträgt aber weniger als 10% (in MARTINEC et al., 1998). Nach einer Literaturlauswertung (PHUNG et al., 2004) und eigenen Fütterungsversuchen bei Schweinen schlussfolgern AARNINK et al. (2007), dass die Geruchsbildung aus den Exkrementen reduziert werden kann, wenn die Verdauungsvorgänge über eine entsprechende Ausbalancierung der Gehalte und Zusammensetzung von Proteinen und fermentierbaren Kohlenhydraten in der Futtermittellration optimiert werden. Die am meisten belästigend wirkenden Geruchsstoffe lassen sich in vier Hauptgruppen klassifizieren: Schwefelhaltige Verbindungen, Indole und Phenole, flüchtige Fettsäuren, Ammoniak und flüchtige Amine (LE et al., 2004), wobei die schwefelhaltigen Verbindungen die wichtigste Rolle zu spielen scheinen (AARNINK et al., 2007).

O'NEILL & PHILLIPS (1992) beschreiben in einer Literaturlauswertung von 40 Veröffentlichungen 168 Stoffe, die im Flüssigmist, Festmist oder in der Luft bestimmt und wie folgt eingruppiert wurden: 23 Karbonsäuren, 23 Alkohole, 12 Phenole, 32 Aldehyde, 9 Ester, 8 heterozyklische Stickstoffverbindungen, 7 Amine, 15 Sulfide, 9 Mercaptane (Thiole), 30 Unklassifizierte. In der letzten Gruppe sind die einschlägigen Gase aus der Tierhaltung wie Ammoniak (NH_3), Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Schwefelwasserstoff (H_2S), flüchtige Fettsäuren, höherwertige Kohlenwasserstoff- und weitere Chlor- und Schwefelverbindungen enthalten.

Als Schlussfolgerungen der umfassenden Literaturlauswertung formulieren O'NEILL & PHILLIPS (1992):

- Von den 168 beschriebenen Stoffen wiesen 30 eine Geruchsschwelle kleiner als $0,001 \text{ mg m}^{-3}$ auf, wovon wiederum die sechs der zehn Stoffe mit der geringsten Geruchsschwelle Schwefel enthielten. Für die Aufklärung von Geruchsbelästigungen könnte deshalb die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung der Geruchsstoffe hilfreich sein.
- Genaue Angaben zu Ort und Art der Probenahme der Geruchsstoffproben sind relevant für die Zuordnung und Interpretation. Viele Darstellungen in den Veröffentlichungen waren jedoch unklar oder verwirrend.
- Der „Lebenszyklus“ und das Ausmaß der natürlichen Umwandlungen der Geruchsstoffe sollte beschrieben werden durch entsprechende Probenahmen von der Quelle über die Stallluft, von der Emission zur Immission.
- Die Geruchsschwellen für viele Stoffe aus der Tierhaltung sind noch nicht bestimmt. Dies ist aber nötig, um die Bedeutung der einzelnen Geruchsstoffe abschätzen zu können.
- Es werden noch viel mehr Informationen zum Belästigungspotential der Geruchsstoffe und insbesondere der Geruchsstoffmischungen benötigt.
- Die Zusammenhänge zwischen Staub und Geruch sowie die Rolle des Staubes bei der Geruchswahrnehmung bzw. als Geruchsträger müssen eingehender untersucht werden.

SCHIFFMAN et al. (2001) beschreiben 411 Stoffe im Zusammenhang mit Schweinehaltungen, wobei in eigenen Untersuchungen mittels Gaschromatographie und Massenspektrometrie (GC/MS) an Schweineställen in North-Carolina 331 unterschiedliche Stoffe identifiziert wurden. Davon wurden 203 Stoffe in Luftproben gefunden, die auf dem Polymer Tenax® als Sorptionsmedium angereichert wurden, 112 Stoffe in Luftproben auf Baumwolllappen als Sorptionsmedium angereichert und 167 Stoffe in Luftproben bestimmt, die über Flüssigmistlagunen entnommen worden waren. Die bestimmbareren Stoffe waren mannigfaltig: Viele Säuren, Alkohole, Aldehyde, Amide, Amine, Aromen, Ester, Ether, fixierte Gase, (halogenierte) Kohlenwasserstoffe, Ketone, Nitrile, andere Stickstoffverbindungen, Phenole, schwefelhaltige Verbindungen und Steroide. Der Großteil der Stoffe wies analytische Konzentrationen unterhalb veröffentlichter Geruchs- oder Irritationsschwellen auf. Messungen nach der amerikanischen Scentometer-Methode (Feldolfaktometer) ergaben aber starke Geruchsimmissionen. Die Autoren verweisen auf die sich aggregierenden und synergistischen Effekte von Hunderten von Geruchsstoffen, die zwar im Einzelnen unterhalb

oder oberhalb der Geruchsschwelle vorliegen können, die aber als komplexe Stoffgemische eine nennenswerte Geruchswirkung aufweisen können.

Mit Hilfe einer Aromaextrakt-Verdünnungsanalyse als Kombination von Kapillargaschromatographie und Olfaktometrie wurden von CZERNY et al. (2001) neun Geruchsstoffe in der Luftprobe eines Schweinestalles oberhalb der Geruchsschwelle detektiert und deren relativer Beitrag zum Gesamtgeruch abgeschätzt. Es dominierten 4-Methylphenol und 3-Methylindol mit fäkalischer Geruchsqualität neben kurzkettigen Karbonsäuren (nach Essig und schweißig riechend) sowie Dimethyltrisulfid (nach Knoblauch riechend). Die Autoren folgern, dass mit der angewandten Methode Gerüche aus landwirtschaftlichen Quellen auf einige Indikatorgeruchsstoffe reduziert werden könnten, die für eine Geruchsbelästigung hauptverantwortlich seien.

Denselben Ansatz verfolgten BULLINER et al. (2006) mit der qualitativen Analyse von Schweinegerüchen, um die für Schweinegeruch charakteristischen Hauptkomponenten zu identifizieren. Für die Geruchsproben wurden für etwa eine Woche saubere Stahlplatten innerhalb und außerhalb des Stalles exponiert. Die Auswertung erfolgte nach Festphasenmikroextraktion kombiniert analytisch und sensorisch mit Hilfe eines multidimensionalen Gaschromatographie-Massenspektrometrie-Olfaktometrie-Systems. Die wichtigste Rolle für die Lästigkeit des Schweinegeruches spielten Buttersäure, Isovaleriansäure (3-Methylbuttersäure), p-Cresol, Skatol und Dimethyltrisulfid. Die Auswertung der Geruchsproben ergab Unterschiede, je nachdem ob der auf den Platten abgelagerte Staub ab gespült wurde oder nicht. Mit dem Abspülen wurden wasserlösliche Stoffe und an den Staub gebundene Stoffe entfernt oder reduziert, was auf die vorgenannten Stoffe außer Dimethyltrisulfid zutrifft.

In weiteren Untersuchungen nach der o.g. in BULLINER et al. (2006) beschriebenen Methodik und mit ergänzender Staubanalytik in vier Größenklassen (TSP, PM-10, PM-2,5, PM-1) konnte der Zusammenhang zwischen Staub und Geruch präzisiert werden (CAI et al, 2006). Es wurden 50 Stoffe im Schweinestall identifiziert, die sich neun chemischen Klassen zuordnen ließen, mit einer breiten Palette an physiochemischen Eigenschaften einschließlich Kettenlängen, Polaritäten und Molekülmassen: Alkane (4), Alkohole (4), Aldehyde (8), Ketone (7), Säuren (8), Amine und heterozyklische Stickstoffverbindungen (8), Sulfide und Thiole (3), Aromate (7) und Furane (1). Fünf dieser Stoffe wurden gemäß amerikanischer Leitlinien als gefährliche Luftschadstoffe klassifiziert (Styren, *N,N*-Dimethyl-Formamid, Acetamid, Phenol und 4-Methyl-Phenol). In Verbindung mit dem Schweinestallstaub wurde den Stoffen Methylmerkaptan, Isovaleronsäure, 4-Methyl-Phenol, Indol und Skatol eine geruchliche Schlüsselfunktion zugeordnet. Anhand von 24 Geruchsstoffen wurde weiterhin die Adsorptionskapazität von größeren (TSP) oder kleineren Partikeln (PM-10/2,5/1,0) miteinander verglichen. Wenn man die absolute adsorbierte Stoffmenge auf die Partikelmasse und Partikeloberfläche normalisiert, wiesen die kleinsten Partikel (PM-1)

eine auffallend größere Adsorptionskapazität für Geruchsstoffe und flüchtige organische Verbindungen auf, als die größeren Partikel (PM-10 bzw. TSP).

4.1.3 Leitkomponenten oder Geruchsindikatoren

Eine weitere Zielsetzung wird mit dem wiederholten Versuch verfolgt, anhand der Konzentrationen von Geruchsindikatoren/Leitkomponenten (einzelne, leicht und kostengünstig zu messende Gase wie z.B. NH_3 oder H_2S) die zu erwartende Geruchsintensität oder Geruchskonzentration bzw. -emission modellieren zu können. Die Korrelation der Konzentrationen von Geruch und H_2S in 84 Luftproben, die über 69 verschiedenen Flüssigmistlagern in Minnesota entnommen wurden, war jedoch nicht zufriedenstellend (JACOBSEN et al., 1997). Ebenso konnten HEBER et al (1998) keine Korrelation der Geruchskonzentration mit der NH_3 - oder H_2S -Konzentration in der Abluft von vier 1000er Mastschweineställen mit Unterflurflüssigmistlagerung nachweisen.

Die Weiterentwicklung der Stoffanalytik und Auswertungsalgorithmen (Hauptkomponentenanalyse, multiple Regression) erlauben BLANES-VIDAL et al. (2009) für 48 Luftproben aus gelagertem Schweineflüssigmist Zusammenhänge zwischen analysierten Geruchsstoffgruppen und der olfaktometrischen Geruchskonzentration herzustellen. Die höchsten Korrelationen wiesen die schwefelhaltigen Verbindungen auf. Die durch H_2S erklärbare Varianz der Geruchskonzentration hing vom H_2S -Konzentrationsbereich und dem Beitrag weiterer Geruchsstoffe ab. Eine Signifikanz von NH_3 als erklärende Variable lag wiederum nur bei Abwesenheit von H_2S vor.

Der Vergleich auf Betrachtungsebene der Emissionen von Geruch und NH_3 von OLDENBURG (1989) aus 204 Stallanlagen (Rinder, Schweine, Geflügel) ergab keine belastbaren Zusammenhänge. Dies wird auf die verschiedenen chemisch-physikalischen Eigenschaften der Einzelsubstanz NH_3 im Vergleich zum komplexen Geruchsstoffgemisch zurückgeführt. Zudem war der Temperatur-Wirkungszusammenhang bei Gerüchen nicht so deutlich wie bei Ammoniak (OLDENBURG, 1989). Ebenso konnten AARNINK et al. (2007) im Rahmen von Fütterungsversuchen bei Schweinen keinen Zusammenhang zwischen der NH_3 -Emission und Geruchsemission aus der Unterflurflüssigmistlagerung nachweisen.

Immissionsseitig wurden bereits von KOWALEWSKY (1981) umfangreiche Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Geruchsintensität und der Konzentration von NH_3 , H_2S , Essig-, Propion- und Buttersäure, Phenol und p-Kresol sowie brennbaren Gasen in der Umgebung von Flüssigmistlagern, begüllten Feldern oder Ställen durchgeführt. Der Grad und Kurvenverlauf der Übereinstimmung zwischen sensorischer und chemisch-analytischer Geruchsbewertung variierte in Abhängigkeit von der Geruchsquelle, der resultierenden stofflichen Zusammensetzung der Geruchs-

fahne und deren Ausdehnung und Reichweite, der Anzahl der berücksichtigten Stoffe bzw. Geruchsintensitätsklassen, den chemisch-analytischen Messverfahren sowie der Spannweite und Streuung der Stoffkonzentrationen in den Intensitätsklassen. Zusammenfassend wird seitens des Autors gleichwohl von einer Eignung von chemisch-analytischen Messverfahren zur Bewertung von Geruchsimmissionen ausgegangen. Es war in dieser Untersuchung aber nicht möglich, von der Emissionskonzentration der oben genannten untersuchten Stoffe auf deren Immissionskonzentration zu schließen.

JANES et al. (2004) sehen für die bessere Vorhersage von Geruchsstoffkonzentrationen anhand von NH_3 und H_2S -Konzentrationen im Hinblick auf die mathematische Vorgehensweise Vorteile von neuronalen Netzwerkmodellen gegenüber nicht linearen statistischen Modellen. Die Modellierungsergebnisse konnten verbessert werden, wenn weitere Informationen zur Art der Geruchsquelle einbezogen wurden. Die Fortsetzung der Arbeiten mit der Methode des strukturierten Lernens mit Vergessen (Backpropagation) bezogen zudem die Einflussfaktoren Temperatur, Tageszeit und Monat mit ein und werden von den Autoren als effektive Methode zur Identifizierung relevanter Geruchskomponenten und Einflussfaktoren gewertet (PAN et al., 2006).

4.1.4 Fazit

Zusammenfassend lassen sich aus dem Kenntnisstand zur Geruchsstoffanalytik folgende Erkenntnisse für die Bewertung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung ableiten:

- Die Geruchstoffe, Stoffklassen und relevanten Einflussfaktoren sind im Allgemeinen gut beschrieben. Auf dem Gebiet der Tierhaltung überwiegen jedoch bisher Untersuchungen in der Schweinehaltung und an Flüssigmist.
- Die Entwicklung sowohl bei der Analytik, Sensorik als auch bei den mathematischen Verfahren zeigt zunehmende Potentiale zur Erfassung und Beschreibung von Geruch auf.
- Die Möglichkeiten mit Hilfe von Einzelstoffanalytik die Geruchskonzentration (oder gar Geruchswirkung) vorherzusagen sind immer noch sehr begrenzt und meist auf den untersuchten Einzelfall beschränkt. Die Abbildung der Vielfalt der Quellen und freigesetzten Geruchsstoffmischungen in der Tierhaltung, die weiterhin zeitlichen und transportbedingten Änderungen sowie Wechselwirkungen unterliegen, erfordert komplexe, dynamische Modelle und die Berücksichtigung einer Vielzahl von Einflussfaktoren. Die Anpassung auf den Anwendungsfall, wie z.B. Beschreibung des aktuellen Freisetzungsgeschehens, Beurteilung der Raumluftqualität, Erfassung der Emission oder Immission, ist notwendig.

4.2 Geruchseintrag - Immission

Voraussetzung für die Beurteilung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung ist die Kenntnis der wichtigsten Einflussfaktoren auf das Immissionsgeschehen und das Verständnis für die Möglichkeiten und Grenzen der Messverfahren und Modellierung zur Quantifizierung der Geruchsimmission.

4.2.1 Quelle und Ursache - Emission

Die Geruchsstoffe aus der Tierhaltung werden in den Stallungen, bei der Mistlagerung und –ausbringung sowie Silagelagerung bzw. -fütterung gebildet und freigesetzt (vgl. Kapitel 4.1.2). Der Übertritt in die Atmosphäre und somit Emission erfolgt entsprechend aktiv oder passiv aus Punkt- oder Flächenquellen in Abhängigkeit von der Art der Durchströmung (Umströmung) und der Geometrie der Kontaktfläche bzw. des Luftaustrittes zur Atmosphäre (vgl. Kapitel 2.5). Von der Quellenart hängt es z.B. ab, in welcher Verdünnung, in welcher Höhe bzw. Bodennähe, mit welcher Geschwindigkeit (Austrittsimpuls), mit welcher Temperatur, in welcher Richtung, unter wie viel Windeinfluss, in welcher zeitlichen Variabilität die Gerüche emittiert werden (VDI 3788-1 (2000)).

Die Messung und Bewertung von Geruchsemissionen aus der Tierhaltung war und ist Gegenstand vieler Forschungsvorhaben. Die Erfassung der Emissionshöhe und von Einflussfaktoren sowie die Beurteilung von Minderungsmaßnahmen als auch die Suche nach dem „wahren“ Emissionsfaktor für eine Tierart oder Haltungsform stehen dabei im Fokus.

4.2.1.1 Einflussfaktoren und Minderungsmaßnahmen

In **Abbildung 18** werden schematisch die wichtigsten Einflussfaktoren und Minderungsmaßnahmen für Geruchsemission aus der Tierhaltung veranschaulicht, wovon nach derzeitigem Kenntnisstand in den Expertengruppen weitgehend Einigkeit besteht (VDI 3894-1E, 2009, KTBL, 2006a). Maßnahmen an der Ablufführung verändern die Immissionscharakteristik und werden im Kapitel 4.2.5 behandelt. Dabei darf bei der vereinfachten eindimensionalen Betrachtung jedoch nicht übersehen werden, dass die verschiedenen Faktoren auch Wechselwirkungen unterliegen können, was im Einzelfall zu unerwarteten Ergebnissen und Effekten führen kann. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Zusammenhänge oftmals aus Untersuchungen zu Ammoniakemissionen abgeleitet wurden und bisher selten im Detail systematisch für Geruch untersucht werden konnten. Die Ursache-Wirkungszusammenhänge sind bei dem Vielstoffgemisch Geruch auch nicht immer so eindeutig, wie es bei der Freisetzung von einzelnen Gasen der Fall ist.

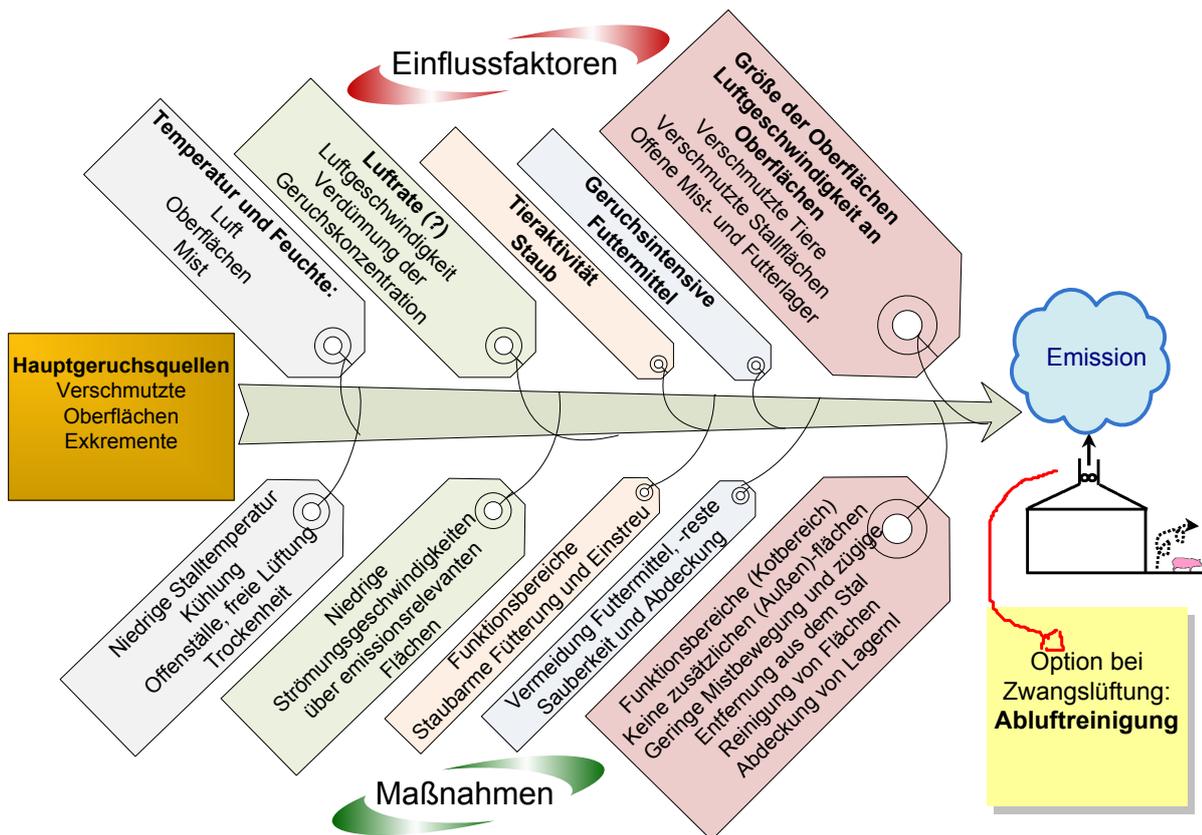


Abbildung 18: Einflussfaktoren und Minderungsmaßnahmen der Geruchsemissionen aus der Tierhaltung

SIEBER (2003) hat mit Hilfe eines kleinen Windtunnels die Geruchsfreisetzung von verschiedenen Bodenoberflächen in Schweineställen näher untersucht. Die Geruchskonzentration über dem Spaltenboden korrelierte positiv mit dem Flüssigmistpegel unter dem Spaltenboden und der Temperatur. Bei gewölbten Liegeflächen übte der Verschmutzungsgrad einen großen Einfluss auf die Geruchsfreisetzung aus. Zudem waren die Geruchskonzentrationen höher, wenn höhere Wassergehalte der Probenluft vorlagen. Die Verdunstung von Wasser aus stark verschmutzten Oberflächen war dabei zu berücksichtigen.

Für die prozessintegrierten Maßnahmen auf Haltungs- und Lüftungsebene werden keine verallgemeinerungsfähigen Reduktionspotentiale angegeben (VDI 3894-1E, 2009). Der Nachweis ist wegen der großen Variabilität und Messunsicherheit von Emissionsmessungen (s.u.) sehr schwierig. Die Abdeckung von Mistlagern bewirkt je nach Material und Dichtheit eine Emissionsminderung von 80% bis nahezu 100%. Der Minderungsgrad bei natürlichen Schwimmdecken liegt je nach Ausprägung und Häufigkeit der Gülleausbringung zwischen 20% bis 80%. Abluftreinigungsanlagen können bei ordnungsgemäßer Auslegung und Betrieb eine deutliche Minderung der

Geruchsemission zwangsbelüfteter Ställe bewirken, indem kein Stallgeruch mehr in der Reinluft wahrnehmbar ist und die Reingaskonzentration auf unter 300 GE/m³ gesenkt wird (KTBL 2006b). Zudem ist eine Verringerung der Intensität und eine Verbesserung der Hedonik der Reinluft im Vergleich zum Rohgas zu beobachten (HAHNE, 2006). Da die Abluft gebündelt und durch die Reinigungsanlage geführt werden muss, sind diese nicht für Ställe mit freier Lüftung geeignet. Daher sind Abluftreinigungsanlagen hauptsächlich in der Schweine- und Geflügelhaltung in der Anwendung, was jedoch auch mit relevanten Kosten verbunden ist (KTBL 2006b; CHEN & HOFF, 2009).

Schließlich werden immer wieder Versuche zur Wirkung von Futterzusätzen und Mistadditiven oder der Vernebelung von ätherischen Ölen zur Geruchsreduzierung oder –kaschierung durchgeführt. Für die Quantifizierung eines allgemeinen Reduktionspotentials oder die explizite Empfehlung als Minderungsmaßnahme sind die Ergebnisse jedoch nicht eindeutig genug oder haben noch Vorstudiencharakter (BROER et al., 2006; VAREL et al., 2003; MASSÉ et al., 2003; LYNGBYE et al., 2006; MCCRORY & HOBBS, 2001; ZENTNER, 2009). BERG UND KRAATZ (2009) konnten zwar eine substantielle Geruchskonzentrationsminderung nach Zugabe von Braunkohlepulver zu Flüssigmist nachweisen, diese beruhte aber im Wesentlichen auf der Ausbildung einer schwimmenden Deckschicht durch das Braunkohlepulver. In der VDI 3894-1E (2009) finden diese Methoden keine Erwähnung.

4.2.1.2 Geruchsemissionsfaktoren

Die vorhandenen Geruchsemissionsdaten weisen bereits innerhalb einzelner Studien und folglich auch beim Vergleich verschiedener Studien erhebliche Spannweiten auf, wie **Abbildung 19** für einige Tierkategorien zeigt. Beispielsweise untersuchten OGINK & GROOT KOERKAMP (2001) die Geruchsemission von 24 Schweine- und Geflügelställen. Die Variationskoeffizienten der Geruchsemission betragen bereits in dieser Studie innerhalb derselben Tierart- und Haltungssystemkategorie im Extremfall 140%; meist lagen sie zwischen 40% bis 60%, der geringste Wert belief sich auf 25%.

Der Grund liegt in der Variationsvielfalt der Haltungs-, Aufstallungs-, Lüftungs-, Fütterungs-, und Entmistungssysteme sowie der Managementeinflüsse, die das Geruchsemissionspotential unterschiedlich beeinflussen (Abbildung 18). Zudem bestimmen der Messzeitpunkt und die Messunsicherheit der Geruchsemissionsmessungen (s.u.) das Einzelergebnis in hohem Maße. Im Allgemeinen ist das Geruchsemissionspotential pro Großvieheinheit aber abhängig von der Tierart und dem Handlungsabschnitt; dem wird auch bei der Ableitung von Emissionsfaktoren entsprochen (VDI 3894-1E, 2009; Abbildung 19).

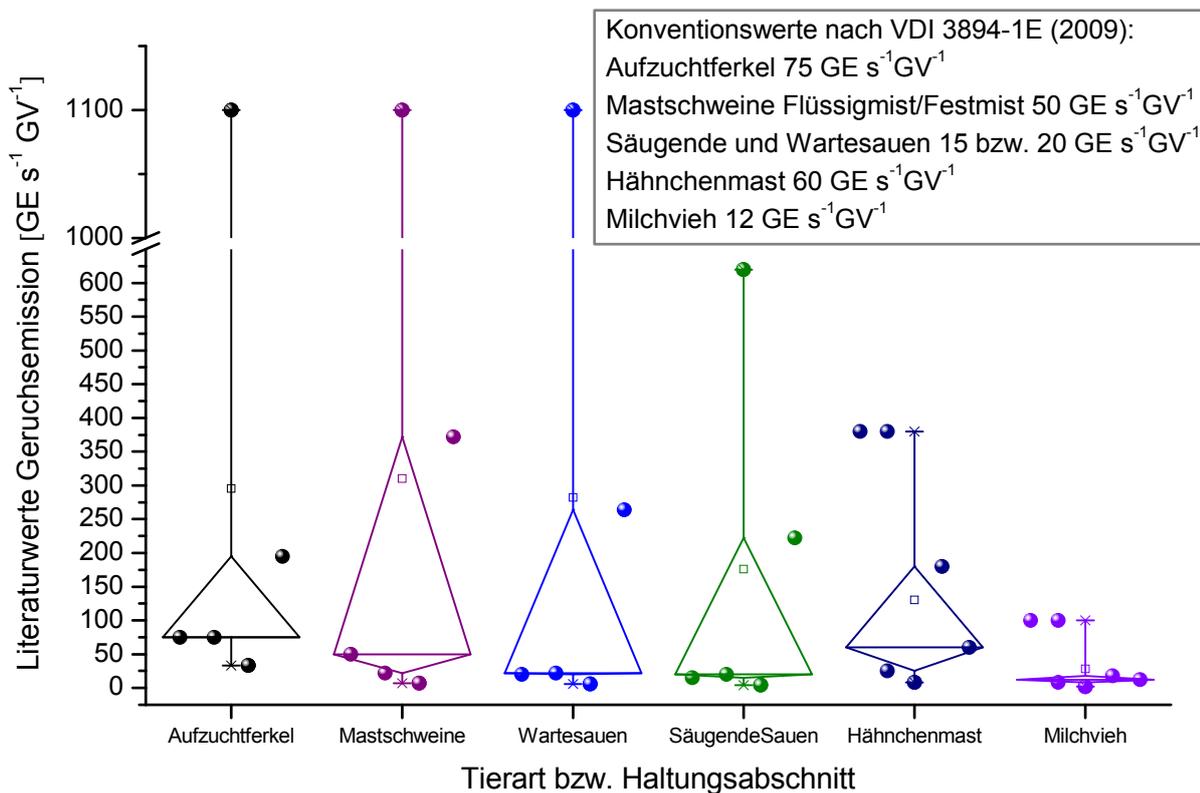


Abbildung 19: Spannweite der Literaturangaben zu Geruchsemissionen aus der Tierhaltung. Zusammenfassende Darstellung der von den Autoren selber benannten Minima, Maxima und Mediane oder Mittelwerte. Messungen bei unterschiedlichsten und teilweise extremen Rahmenbedingungen. Im Vergleich VDI-Konventionswerte für mittlere Jahresemission. (Bei mit * gekennzeichneten Quellen wurden Werte von Autorin berechnet) *Milchvieh*: MARTINEC et al, 1998; KRAUSE et al., 2000*; HEIDENREICH et al., 2008; *Hähnchenmast*: MARTINEC et al, 1998; GÄRTNER et al., 2009; *Schwein*: MARTINEC et al, 1998; OGINK & GROOT KOERKAMP, 2001*; DEFOER & LANGENHOVE 2003*; BROSE et al., 2002; MAIER et al., 2001; RIIS, 2006)

Geruchsemissionsfaktoren gehen als Eingangsgrößen in die Ausbreitungsrechnung und Modellierung (vgl. Kapitel 4.2.3) der erwarteten Immission ein. Sie werden in Expertengruppen aus den Literaturangaben, Erfahrungswerten und Vergleichsbetrachtungen als Jahresmittelwerte abgeleitet. Im Entwurf zur VDI 3894-1E (2009) „Emissionen und Immissionen aus der Tierhaltung“ wurden entsprechende Emissionskonventionswerte vorgeschlagen (Abbildung 19). Die Faktoren repräsentieren eine über das Jahr angenommene Emission unter Berücksichtigung der Standardservicezeiten für Ställe nach Stand der Haltungstechnik und einer Betriebsweise nach guter fachlicher Praxis.

Die Literaturwerte in Abbildung 19 hingegen beziehen sich nicht auf eine durchschnittliche Jahresemission, sondern zeigen die Ergebnisse aus einzelnen Messreihen bei unterschiedlichsten Bedingungen, die kurzfristig auch sehr hohe Emissionen verursachen können. Aus den Literaturangaben ist meist nicht zu rekonstruieren, wie häufig im Jahresverlauf die Emission im unteren, mittleren oder oberen Wertebereich aufgetreten wäre und inwieweit die untersuchten Ställe den Anforderungen an den

Stand der Technik und an die gute fachliche Praxis entsprachen. Aktuell interpretieren lediglich GÄRTNER et al. (2009) die wöchentlichen Messungen über vier sechswöchige Mastperioden von Mai bis November an (aber nur) einem Hähnchenmaststall in dieser Form. Demnach lagen nur 14 von 136 Einzelmessungen in der Geruchsemissionsfaktorklasse $< 60 \text{ GE s}^{-1}\text{GV}^{-1}$. Die Autoren befürchten eine Unterschätzung der tatsächlichen Immissionsbelastungen bei Verwendung der bisher üblichen Emissionsfaktoren in Genehmigungsverfahren.

Darüber hinaus gibt es immer wieder Bestrebungen, die Emissionsfaktoren weiter nach Fütterungs-, Haltungs- oder Entmistungsverfahren zu differenzieren und einzelne Managementmaßnahmen durch Zu- oder Abschläge zu berücksichtigen. Die Datenbasis sowie zu beachtenden Messunsicherheiten erlauben aber eine Verallgemeinerung von weiter differenzierten Emissionsfaktoren oder der Wirkung von einzelnen Managementmaßnahmen im Regelfall nicht (Abbildung 19, VDI 3894-1E (2009)). Hintergrund ist, dass man im Genehmigungsverfahren dem Einzelfall besser gerecht werden möchte, insbesondere bei Grenzfällen. ECKHOF & GRIMM (2000) beschreiben Vergleichsberechnungen mit unterschiedlichen Ausbreitungsmodellen und bei Variation der Emissionsfaktoren. Der gewählte Emissionsfaktor hatte maßgeblichen Einfluss auf den resultierenden Abstand; die Schwankungsbreite der Emissionswerte wurde auf der Immissionsseite noch verstärkt.

Die Datenbasis zu Emissionen von Pferdehaltung, Ställen mit freier Lüftung sowie von diffusen Quellen (Lager, Ausläufe) ist unzureichend. In der VDI 3894-1E (2009) werden entsprechend Hinweise für die Abschätzung gegeben. Demnach werden Pferde meist wie Milchvieh oder günstiger beurteilt. Hohe Einstreumengen wirken sich bei allen Systemen emissionsmindernd aus, wohingegen verschmutzte Ausläufe als emissionsrelevante Flächen anzusehen sind, ohne dass ein Emissionsfaktor angegeben werden kann. KECK et al., 2005 berichten über Geruchsproben, die mit einer Entnahmehaube von Auslaufflächen insbesondere für Schweine mit Unterschieden im Verschmutzungsgrad und in der Bodenausführung gezogen wurden. Die Geruchskonzentration über wenig oder stark verschmutzten Böden unterschied sich um das Fünf- bis annähernd Zehnfache, wie **Abbildung 20** zeigt.

Die Geruchsemissionsfaktoren für windinduzierte Flächenquellen wie Futter- und Mistlager werden mit 3 bis $6 \text{ GE s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ angegeben (VDI 3894-1E (2009)). Die Emissionsfaktoren für Rinder gelten auch für Ställe mit freier Lüftung. Für offene Schweine- und Geflügelställe wird angenommen, dass sie bei ausreichendem Abstand und freier Lage geringere Geruchsmissionen verursachen können als zwangsbelüftete Ställe. In Ermangelung von expliziten Emissionsfaktoren für frei gelüftete Schweine- und Geflügelställe könnten nach VDI 3894-1E (2009) im Zuge einer konservativen Beurteilung die Emissionsfaktoren für zwangsgelüftete Ställe verwendet werden.

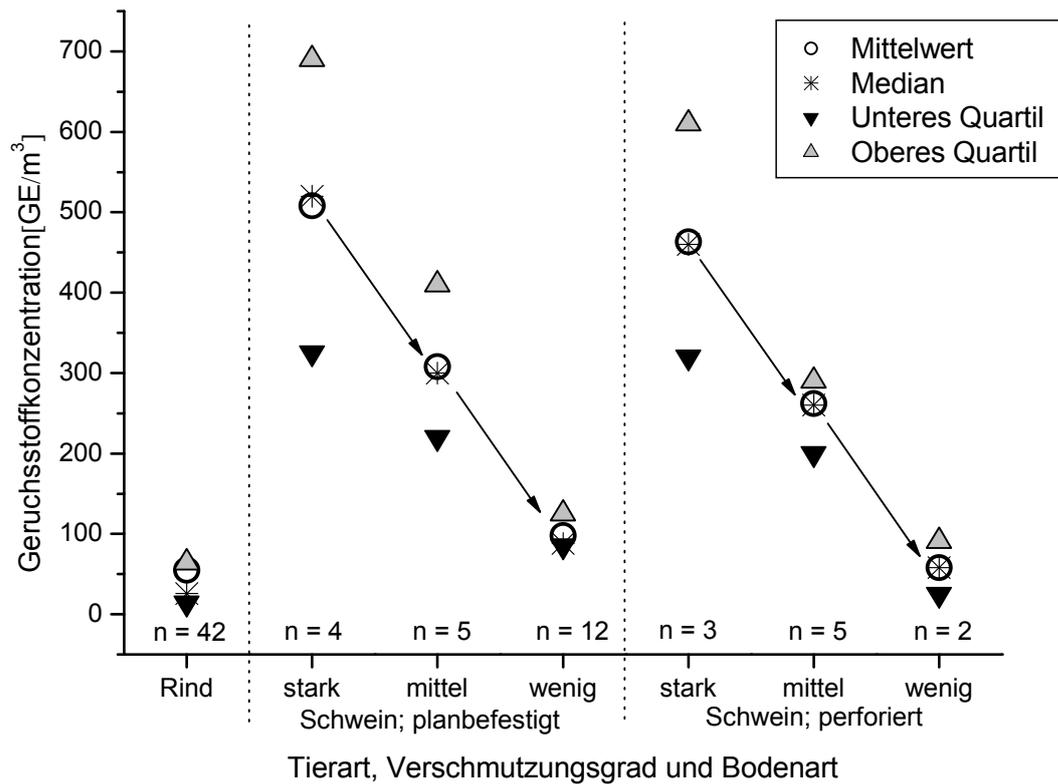


Abbildung 20: Geruchskonzentration von Luftproben (Haubenmessung) über planbefestigten bzw. perforierten Auslaufflächen bei unterschiedlichem Verschmutzungsgrad (Darstellung von Tabellenwerten in KECK et al.; 2005)

Das Emissionsgeschehen in der Tierhaltung unterliegt vielfältigen zeitlichen Einflüssen, wie folgende Beispiele verdeutlichen:

- **Tageszeit:** Aktivitätsrhythmus der Tiere, Fütterungsereignisse, tageszeitlicher Verlauf der Luftrate, der Temperatur, des Windes, Personen bzw. Arbeiten im Stall etc.
- **Produktionsrhythmus:** Haltungsabschnitt, Lebendmasseentwicklung bzw. Tiergröße, Flächenbedarf bzw. Bedeckungsgrad durch die Tiere, Futterzusammensetzung, Fütterungs- und Leistungsniveau, Anzahl und Dauer der Serviceperioden (Reinigung, Leerstand) etc.
- **Jahreszeit:** Temperatur, Wind, Extrema im Sommer oder Winter, Heizung oder Kühlung, ggf. Futtergrundlage (z.B. Rinderhaltung), Auslaufnutzung und –zustand, Weidegang etc.

Sachgerechter aber auch deutlich aufwändiger ist es, entsprechende Emissionszeitreihen statt konstanter Emissionsfaktoren auch in der Ausbreitungsrechnung und Immissionsbeurteilung zu berücksichtigen, insbesondere bei Tierarten mit kurzen Produktionsrhythmen wie z.B. der Geflügelmast.

SCHAUBERGER et al. (2006) schlagen vor, im Rahmen der Immissionsbeurteilung bestimmte Geruchsepisoden in Abhängigkeit von der Tageszeit und Jahreszeit hinsichtlich ihres Belästigungspotentiales auch unterschiedlich zu gewichten.

Weiterhin ist es für die Beurteilung und Modellierung der der Emission nachfolgenden Transmission und Immission auch relevant, aus welchem Volumenstrom und Geruchskonzentrationsverhältnis sich die Geruchsemission zusammensetzt, was bisher unzureichend in der Ausbreitungsrechnung abgebildet wird (KRAUSE & MUNACK, 2010).

4.2.1.3 Messunsicherheit der Olfaktometrie

Geruchsemissionsmessungen sind sehr aufwändig und als punktuelle Messungen anzusehen, da die realisierbare Probenzahl durch die zeitnah notwendige sensorische Geruchskonzentrationsbestimmung am Olfaktometer mit Probanden auf erfahrungsgemäß höchstens etwa acht Proben pro Tag begrenzt ist. Eine Dauermessung ist mit elektronischen Geruchssensoren, die regelmäßig mit Olfaktometriedaten referenziert werden, möglich (Kapitel 2.6; BROSE et al., 2002; MAIER et al., 2001; BOEKER et al., 2009). Generell bestehen jedoch Messunsicherheiten bei der Probenahme, Volumenstrombestimmung und insbesondere der Olfaktometrie. Dieser Problematik wurde in den vergangenen Jahren vermehrt Rechnung getragen, indem entsprechende Richtlinien, Normen und Standards überarbeitet und verschärft wurden (z.B. VDI 4200 (2000); DIN EN 13725 (2003); VDI 4219 (2009)). Die Durchführung von Ringversuchen bei der Olfaktometrie kann ebenso zur Qualitätskontrolle und besseren Absicherung der Laborergebnisse beitragen (MAXEINER, 2009; WAGNER, 2009).

GÄRTNER et al. (2009) haben 24 Doppelbestimmungen der Geruchsstoffkonzentration am Olfaktometer durchgeführt. Die statistische Analyse nach VDI 4219 (2009) ergab, dass der Unsicherheitsbereich eines Messwertes zwischen 63% und 160% dieses Wertes lag. MÜLLER et al. (2009a) berichten, dass die Doppelbestimmung von 64 Geruchsproben aus zwei Schweineställen durch zwei Olfaktometrielabore eine Korrelation der Messwerte von $R^2 = 0,74$ (ältere Tiere) bzw. nur $R^2 = 0,39$ (jüngere Tiere) ergab. Die Standardmessunsicherheit der gemessenen Geruchskonzentration belief sich für die älteren Tiere auf 299 GE/m^3 (bei Messwerten zwischen 260 bis 2900 GE/m^3) bzw. für die jüngeren Tiere auf 424 GE/m^3 (bei Messwerten zwischen 580 bis 3600 GE/m^3). Die erweiterte 95%-Messunsicherheit betrug 625 GE/m^3 bzw. 884 GE/m^3 .

BOEKER & HAAS (2007) leiten aus der Reanalyse von Ringversuchen in der Olfaktometrie aus den Jahren 2000, 2003 und 2005 einen erweiterten Unsicherheitsbereich um einen Messwert zwischen 25 und 400% ab. Daraus ergibt sich auch ein Referenzierungsproblem von elektronischen Geruchssensoren mittels Olfaktometriedaten:

„Ein Messsystem, das Gase und Geruchsstoffe mit hoher Genauigkeit messen kann, muss mit einer Messmethode von viel geringerer Genauigkeit bezüglich des Wahrnehmungseindrucks Geruch kalibriert werden.“ (BOEKER & HAAS, 2007). Im Vergleich von vier Ringversuchen in den Jahren 2005 bis 2009 zur Bestimmung der laborspezifischen Verfahrensparameter Wiederholpräzision und Genauigkeit in Bezug auf 1-Butanol zeigte sich in 2009 eine erhebliche Verbesserung der Ergebnisqualität. Von den 37 Laboren aus 14 Ländern (9 Labore aus Deutschland) hatten 22 Labore beide Verfahrensparameter erfüllt (MAXEINER, 2009).

Vor diesem Hintergrund wird es verständlich, dass eine Feinabstufung von Emissionsfaktoren derzeit kaum zu rechtfertigen ist. Darüber hinaus muss auch die Bewertung der Effektivität von Minderungsmaßnahmen bzw. die Quantifizierung von Reduktionspotentialen mit entsprechender Sorgfalt erfolgen.

4.2.2 Transport – Transmission

Die Geruchsstoffe werden nach Übertritt von der Quelle in die Umgebungsluft mit dieser im Prinzip trägheitsfrei transportiert, das heißt die Bewegung der Geruchsstoffe entspricht der Bewegung der Umgebungsluft. Bei aktiven Quellen ist jedoch das eigene dynamische Verhalten der Abluft durch Austrittsimpuls oder thermischen Auftrieb zu berücksichtigen. Welchen Weg die Geruchsstoffe mit der Umgebungsluft nehmen, inwieweit die Geruchsstoffe verteilt werden bzw. sich die Geruchswolke in Breite, Richtung und Form verändert, wird im Wesentlichen von der atmosphärischen Turbulenz bestimmt (VDI 3788-1, 2000; KOUTNY, 2002). Die Verdünnung des Stoffes während der Ausbreitung bestimmt hauptsächlich die Konzentration am Immissionsort. Möglich sind aber auch chemische Prozesse des Stoffabbaus (SCHNEIDER et al., 2006).

Die Transmissionsbedingungen lassen sich durch die meteorologischen Randbedingungen sowie die topographischen und orographischen Gegebenheiten beschreiben (VDI 3788-1, 2000; KOUTNY, 2002):

- Meteorologie: Windrichtung, Mäandern der Windrichtung, Windgeschwindigkeit, vertikale Windscherung, atmosphärische Stabilität oder Labilität (vertikaler Temperaturgradient) der atmosphärischen Schichtung, Bedeckungsgrad, Wolkenart, Ausbreitungsklasse, Feuchtigkeit und Niederschläge, periodisch lokale Strömungen (z.B. Kaltluftabflüsse), lokale (thermisch bedingte) Windsysteme z.B. Berg-, Hang-, Tal-, Seewinde, periodisch regionale Strömungen.
- Topographie und Orographie (Geländegegebenheiten): Bodenrauigkeit, Landnutzung, Strömungshindernisse (Gebäude, Wälle, Vegetation), Geländere relief (Hangneigung, Hügel), Ausprägung der Geländegliederung, Strömungskanäle (z.B. Schneisen, Täler).

Insbesondere Kaltluftabflüsse in den Abend- oder Nachtstunden dürfen nicht unterschätzt werden, da die Geruchsstoffe bodennah und mit wenig Verdünnung über erhebliche Entfernungen unabhängig von der Hauptwindrichtung transportiert werden (KOUTNY, 2002; RÖCKLE & RICHTER, 1998).

Im weiteren Sinne lassen sich alle Faktoren auf die Standortbedingungen zurückführen. Die Standortwahl ist also entscheidend für die Transmission und letztlich Immission im Umfeld der Tierhaltungsanlage.

4.2.3 Ausbreitungsmodellierung - Prognose

Die Ausbreitungsmodellierung ist eine Anwendung der Strömungsmechanik und hilft bei der näherungsweise Berechnung von komplexen Strömungen. Vereinfacht gesagt, setzt sich das Ausbreitungsmodell aus einem Strömungsteil, dem eigentlichen Ausbreitungsteil, der die Stoffverteilung im Windfeld beschreibt, sowie einem Immissionsteil für die Prognose zusammen. Der eigentlichen Modellierung vorgeschaltet sind die Beschreibung und Abbildung der Quellen, des Geländes und der Windverhältnisse bzw. Ausbreitungsbedingungen. Die Ergebnisqualität hängt unmittelbar von der Qualität der Eingangsdaten und sachgerechten Justierung der Modellparameter ab. **Abbildung 21** skizziert das Vorgehen für Ausbreitungsrechnungen nach TA LUFT (2002).

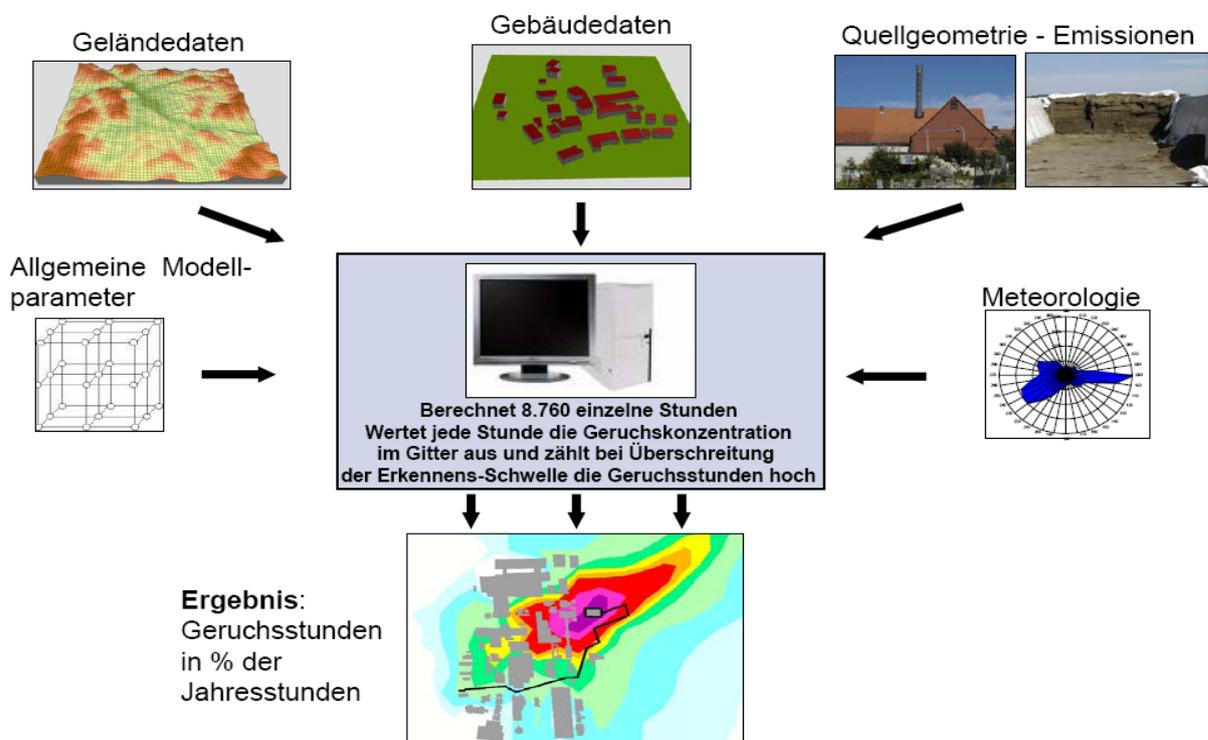


Abbildung 21: Systematik der Ausbreitungsrechnung (NIELINGER, 2008)

4.2.3.1 Modellansätze – analytisch oder numerisch

Die angemessene Abbildung der Transmission und des turbulenten Transportes ist die Hauptherausforderung bei der Ausbreitungsmodellierung (VDI 3788-1, 2000; KRAUSE, 1997) und kann je nach Gegebenheiten mit unterschiedlich komplexen Ansätzen berechnet werden. Grundlage für die Beschreibung der Strömung und Ausbreitung sind die Navier-Stokes-Gleichungen und Turbulenzmodelle. Die physikalischen und mathematischen Grundlagen werden beispielsweise von WALLENFANG (2002) beschrieben.

Ein einfaches analytisches Modell kann ausreichen, um den Geruchsstofftransport bei einfachen Geometrien, großen Abständen und/oder großen Quellhöhen zu beschreiben (WALLENFANG, 2002). Beim Gauß'schen Fahnenmodell wird die räumliche Konzentrationsverteilung als zweidimensionale Gaußverteilung angesetzt und die Transportgleichung analytisch gelöst. Die Ausbreitung wird durch den Transport im Windfeld (Advektion) und die Verteilung quer zur Windrichtung (turbulente Diffusion) erklärt (VDI 3782-1; 2009; BOEKER et al., 2000). Das Gauß'sche Fahnenmodell setzt ebenes Gelände, ungestörte Ausbreitung sowie Windgeschwindigkeiten größer 1 m s^{-1} voraus, ohne Gebäude und Geländeeinflüsse zu berücksichtigen (VDI 3782-1; 2009). Die Kalibrierung erfolgte an hohen Quellen, weshalb eine Übertragung auf niedrige Quellen im Nahbereich nicht möglich ist (BOEKER et al., 2000). In erster Linie werden Jahreszeiten- und Jahresmittelwerte der Immissionskonzentration berechnet. Die Simulation von Immissionszeitreihen ist nicht zulässig (VDI 3782-1; 2009). Die Voraussetzungen für die Anwendung von Gauß'schen Fahnenmodellen sind bei landwirtschaftlichen Quellen nicht erfüllt.

Numerische Ausbreitungsmodelle auf Basis von Gitternetzen sind hingegen notwendig für Berechnungen bei komplexen Geometrien im Nahbereich und bei geringen Emissionshöhen (WALLENFANG, 2002), benötigen aber auch hohe Rechnerleistungen und Speicherkapazitäten (BOEKER et al., 2000). Die Lösung von Bilanzgleichungen in einem ortsfesten Koordinatensystem ist die Berechnungsgrundlage bei einem Euler'schen Ausbreitungsmodell nach dem Advektions-Diffusions-Ansatz. In einem Lagrange'schen Partikelmodell wird der turbulente Transport in einem mit der mittleren Windgeschwindigkeit mitbewegten Koordinatensystem stochastisch beschrieben (VDI 3782-1; 2009). Durch Berechnung der Partikelflugbahnen wird die Strömung simuliert. Den Partikeln ist eine Masse zugeordnet, so dass das spezifische Ausbreitungsverhalten der vermutlich meist an Staub- oder Aerosolteilchen gebundenen Geruchsstoffe realitätsnäher abgebildet werden kann, als es bei einer klassischen Gasausbreitung der Fall wäre (BOEKER et al., 2000).

Für ein repräsentatives Ensemble der Spurenstoffpartikel wird der Transport mithilfe eines Zufallsprozesses auf dem Computer nachgebildet, wie **Abbildung 22** zeigt. Die

Dosis der Simulationspartikel in einer Gitterzelle ergibt sich aus der Aufsummierung der mit ihrer Aufenthaltsdauer multiplizierten Partikelmassen. Wird die Dosis durch das Volumen der Gitterzelle und den Mittelungszeitraum dividiert, ergibt sich die Konzentration. Die statistische Sicherheit des Konzentrationswertes steigt mit der Anzahl der Simulationspartikel, mit der Größe des Mittelungszeitraumes, mit der Größe des Zellenvolumens (Mittelungsvolumen) und mit der Nähe zum Zentrum der Konzentrationsfahne (VDI 3783-13, 2010). Nach TA LUFT (2002) soll die statistische Streuung des Jahres-Immissionskennwertes 3 vom Hundert des Jahres-Immissionswertes sowie beim Tages-Immissionskennwert 30 vom Hundert des Tages-Immissionswertes nicht überschreiten. Gegebenenfalls ist die statistische Unsicherheit durch eine Erhöhung der Partikelanzahl zu reduzieren (KTBL, 2006c).

Ausbreitungsrechnungen in komplexen Strukturen (Gebäudeeinflüsse, Geländeunebenheiten) sind sehr aufwändig, erfordern entsprechenden Sachverstand und bergen in sich mehr Fehlermöglichkeiten als Berechnung für homogenes Gelände. Von der Komplexität des Geländes hängt u.a. ab, welches Windfeldmodell sachgerecht ist. Bei starken Geländesteigungen ist ein diagnostisches Windfeldmodell nicht mehr geeignet; es wird ein prognostisches Windfeldmodell notwendig (VDI 3783-13, 2010; HASEL et al., 2009).

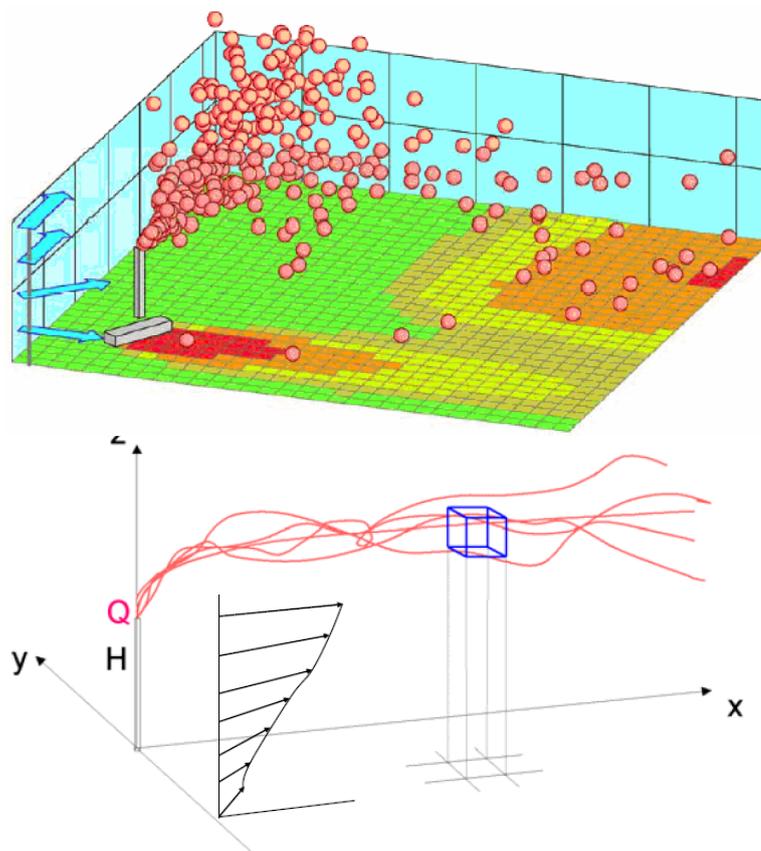


Abbildung 22: Prinzip des Partikelmodells (Oben: in KTBL, 2006c, Ingenieurbüro Janicke; Unten: RICHTER & RÖCKLE, 2008)

4.2.3.2 Modellierung der Immission - Fluktuation

In der allgemeinen Schadstoffprognose wird meist nur auf die zu erwartende mittlere jährliche Immission abgezielt; es erfolgt also eine Mittelung über längere Zeiträume auf Basis von Stundenmittelwerten (BOEKER, 2003; VDI 3788-1, 2000), wofür einfache, statische Modelle ausreichen können (WALLENFANG, 2002).

Den atmosphärischen Ausbreitungsvorgängen liegen aber fluktuierende Strömungs- und Ausbreitungsgrößen zu Grunde. Charakteristisch für Geruchsstoffe ist der Wechsel zwischen Zeitintervallen mit unterschiedlich hohen Konzentrationen und Zeitintervallen mit nicht wahrnehmbaren Konzentrationen, was in entsprechenden Fluktuationsmodellen abgebildet werden kann. Diese Zeitreihe zeigt, welche Konzentrationswerte auftreten, wie häufig ihr Auftreten ist und wie lange die Überschreitung eines bestimmten Wertes typischerweise andauert, wie **Abbildung 23** exemplarisch zeigt.

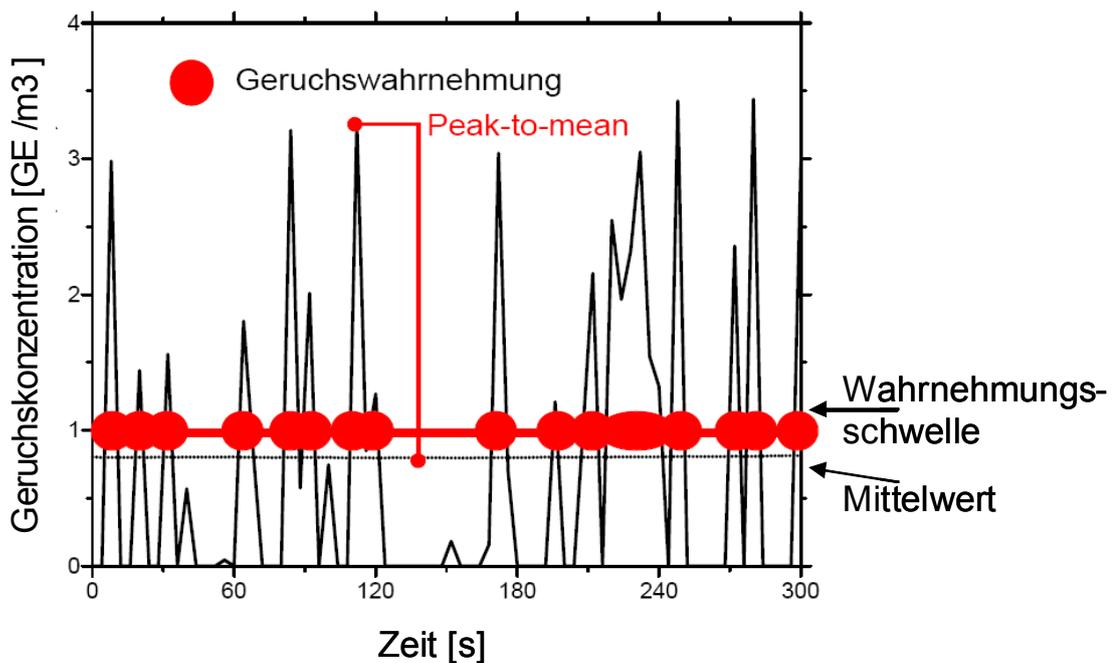


Abbildung 23: Schematische Darstellung eines Geruchsimmissionskonzentrationsverlaufes mit Mittelwert, einzelnen Momenten der Geruchswahrnehmung und des Peak-To Mean-Verhältnisses (verändert nach SCHAUBERGER et al., 2007)

In der mathematischen Umsetzung der Fluktuation als Dichtefunktion der Konzentration beschreibt die Verteilungsdichte die Häufigkeit des Auftretens der einzelnen momentanen Werte im Bezugszeitraum von meist einer Stunde. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Wertes und die Wahrscheinlichkeit der Wahrnehmung

dieses Wertes ist zudem relevant. Bei der Betrachtung eines längeren Zeitraumes wie dem eines Jahres sind folglich verschiedene Einzelsituationen mit unterschiedlichen Häufigkeiten vertreten (VDI 3788-1, 2000).

Es gibt beispielsweise folgende Möglichkeiten für die Beurteilung der Geruchssituation als Aussage über den gesamten Zeitraum (VDI 3788-1, 2000):

- Wie wahrscheinlich ist es im Langzeitmittel, im Fall einer Geruchswahrnehmung einen Geruch mit bestimmter Intensität wahrzunehmen? Die entsprechenden Einzelsituationen werden zu einer kumulierten Dauer addiert.
- Wie wahrscheinlich ist es, dass die Geruchswahrnehmung eine bestimmte Grenze überschreitet? Jede Einzelsituation wird für sich geprüft, ob ein definiertes Überschreitungskriterium erfüllt ist oder nicht. Beurteilungsmaßstab ist dann die Häufigkeit, mit der das gewählte Kriterium erfüllt war. Das Ergebnis liefert z.B. den Anteil der Geruchsstunden im Jahr.
- Erwartungswert der Geruchsstoffkonzentration für die Einzelsituation oder im langfristigen Mittel.

Es wird nach TA LUFT (2002) das sogenannte Faktor-10-Modell verwendet, um von den berechneten Mittelwerten auf die Überschreitungswahrscheinlichkeit zu schließen. Als belastbarer Zeitraum wird eine zeitliche Überschreitung der Geruchsschwelle von 10% angesehen. Die Fluktuation führt dazu, dass auch bei Mittelwerten unter der Wahrnehmungsschwelle von 1 GE/m³ überschwellige Geruchsereignisse auftreten können. Im Faktor-10-Modell wird ein Zeitraum als Geruchsstunde bzw. als geruchsbelastet ausgewiesen, wenn der Stundenmittelwert der Geruchskonzentration größer oder gleich 0,1 GE/m³ ist. Es wird ein Verhältnis von 10 zwischen den Konzentrationsspitzen und dem Mittelwert („Peak-to-Mean“) angenommen. Es handelt sich im Sinne des Immissionschutzes um eine Art Sicherheitszuschlag bzw. eine gewollte Überschätzung, ohne dass dies einen weiteren physikalischen Hintergrund hätte (BOEKER et al., 2000; RICHTER et al., 2004).

SCHAUBERGER et al. (2007) beschreiben für das österreichische Ausbreitungsmodell, dass die Parametrierung des Peak-to-Mean Verhältnisses (Abbildung 23) in Abhängigkeit von den meteorologischen Bedingungen erfolgt, also nicht als konstanter Faktor wie im TA Luft Modell. Dadurch ergeben sich im Nahbereich der Anlagen die erwarteten hohen Momentankonzentrationen. Mit zunehmender Entfernung nehmen die Peak-to-Mean Verhältnisse infolge der turbulenten Durchmischung der Atmosphäre ab.

Vielfach werden von den Ingenieurbüros Ausbreitungsrechnungen mit Faktor-4-Modellen bevorzugt, wenn es der Anwendungszweck zulässt.

4.2.3.3 Modellanwendungen – national und international

Nationale Immissionsprognosen im Rahmen der TA LUFT (2002) basieren auf dem Lagrange'schen Partikelmodell. Die Umsetzung des Berechnungsverfahrens im Sinne der TA LUFT (2002) erfolgte in der Software AUSTAL2000 durch das Ingenieurbüro Janicke in Überlingen und steht unter www.austal2000.de den Anwendern im Batch-Datei Betrieb frei zur Verfügung (KTBL, 2006c). Die Homepage zu AUSTAL2000 umfasst u.a. auch Berichte über bestehende oder behobene Probleme und die Beantwortung eines ausführlichen Fragenkataloges sowie Ergebnisse zu Validierungsrechnungen. Die Prognose von Geruchsstundenhäufigkeiten gemäß Geruchsimmissionsrichtlinie wurde im Projekt AUSTAL2000G bearbeitet und nachträglich in das Programmpaket integriert, was zur Version 2.0 von AUSTAL2000 als Faktor-4-Modell führte (JANICKE & JANICKE, 2007).

Die Qualität der Immissionsprognose ist vor allem auf „TA Luft Quellen“ abgestimmt, d.h. freie Ableitung der Emissionen, gefasste Quellen in mindestens 10 m Höhe und 3 m über First sowie definierte Emissionsmassenströme. Die Anwendungsgrenzen von AUSTAL2000 und dem zugehörigen vereinfachten diagnostischen Strömungsmodell TALdia liegen bei bodennahen, diffusen und windinduzierten Quellen (KTBL, 2006c). Werden Vereinfachungen oder Anpassungen der Programmparameter auf Basis empirischer Befunde oder theoretischer Überlegungen vorgenommen, sind diese nachvollziehbar darzulegen (VDI 3788-1, 2000).

Als ein Beispiel für die besonderen Herausforderungen bei der Ausbreitungsrechnung für Tierhaltung beschreibt NIELINGER (2008) die Frage, inwieweit eine Abluffahnenüberhöhung angesetzt werden kann. Auch hier ist das Problem, dass die nach TA LUFT (2002) anzuwendenden Überhöhungsgleichungen an industriellen Kaminen unter recht konstanten Bedingungen mit sehr hohen Ablufttemperaturen und extrem hohen Volumenströmen ermittelt wurden. Wird die Überhöhung vernachlässigt (Annahme einer kalten Quelle), ignoriert man den Umstand, dass die Abluft eines Stalles diesen auch mit einem nach oben gerichteten Austrittsimpuls und je nach Jahreszeit auch mit einem Wärmeüberschuss verlassen kann. Dies kann zu einer Überschätzung der Immissionsbelastung führen (KTBL, 2006c).

Abbildung 24 zeigt stark vereinfacht die Unterschiede in der Ablufthöhe bei einer „kalten Quelle“ bzw. bei Impuls- und Wärmeüberhöhung. Eine sachgerechte Implementierung der Überhöhung in der Ausbreitungsrechnung für Tierhaltung erfordert aber nach NIELINGER (2008) die Berücksichtigung der großen Zeitabhängigkeit und Fluktuation von Volumenstrom und Ablufttemperatur. In KTBL (2006c) wird erläutert, dass ggf. auch auf einen geeigneten Jahresmittelwert für den Volumenstrom (etwa 47% der Sommerluftrate) bzw. die Abluftgeschwindigkeit zurückgegriffen werden

kann. Grundsätzlich erlaube die Modelltechnik eine Abbildung der Prozesse (NIELINGER (2008)).

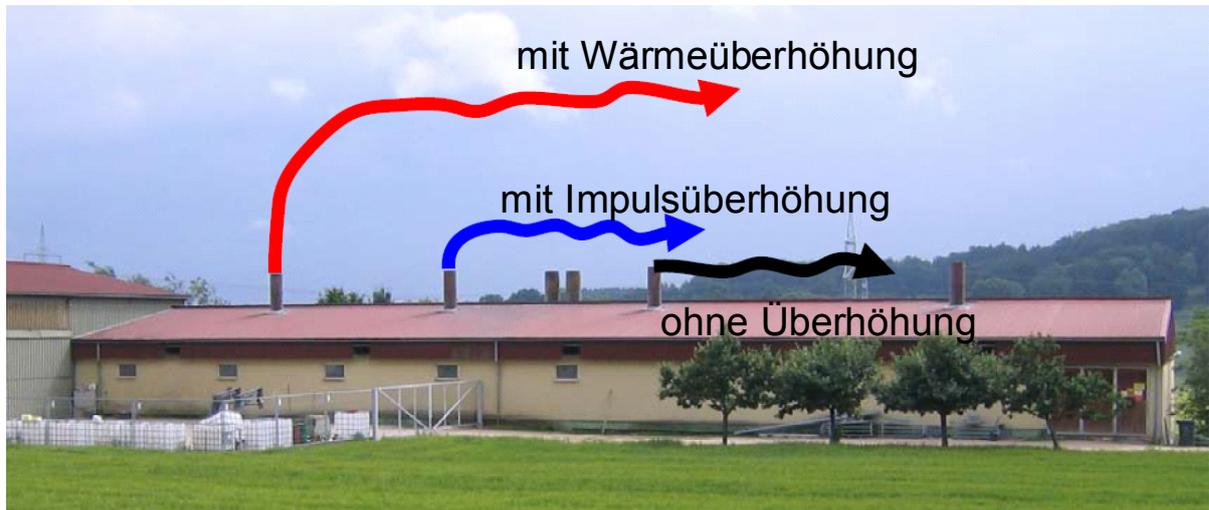


Abbildung 24: Skizzierung der Ablufthöhe bei unterschiedlichen Ansätzen einer Abluffahrenüberhöhung (NIELINGER, 2008)

WALLENFANG (2002) bzw. WALLENFANG et al. (2002) berichten über das an der Universität Bonn entwickelte numerische Modell NaSt3D, das die Ausbreitung zeitlich parallel zur Strömung berechnet und so die Zeitcharakteristik bei der Überschreitung der Geruchsschwellenkonzentration direkt simulieren kann. Die Simulationsergebnisse legen den Schluss nahe, dass bei niedrigen Quellen (Quelle dicht über dem First) jedoch erst bei sehr hohen Austrittsgeschwindigkeiten von einer tatsächlichen Abluffahrenüberhöhung ausgegangen werden kann. Meist wird die Abluftströmung hinter dem Gebäude heruntergewaschen („Down-Wash-Effekt“), wie in **Abbildung 25** durch das Simulationsergebnis visualisiert wird. Die effektive Quellhöhe wird nach unten verlagert und es kann sich sogar eine Sekundärquelle im Nachlaufbereich bilden. Generell wird mit zunehmender Windanströmung die Impulserhöhung überlagert bis hin zum Down-Wash-Effekt (KTBL, 2006c).



Abbildung 25: Down-Wash-Effekt bei niedrigen Quellen in Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit (NaSt3D Simulation) (WALLENFANG et al., 2002)

In Österreich hat die Arbeitsgruppe von Prof. Günther Schaubberger in vielen nationalen und internationalen Publikationen ihre Arbeiten zur Optimierung und Validierung eines Ausbreitungsmodells und an der Richtlinie für Nutztierhaltungen seit Ende der 90er Jahre dokumentiert. Das AODM (Austrian Odour Dispersion Modell), ein Gauß-Fahnenmodell, setzt sich aus drei Modulen zusammen (SCHAUBERGER et al., 2002; SCHAUBERGER et al., 2007):

- Emissionsmodul: Zeitreihe der Geruchsemission
- Ausbreitungsmodul: Berücksichtigung von Zeitreihen der Emission und Meteorologie
- Peak-to-Mean Modul: Berechnung von Momentankonzentrationen der Immission im Zeitbereich eines menschlichen Atemzuges in Abhängigkeit von meteorologischen Bedingungen.

Berechnet wird letztlich ein (wind)richtungsabhängiger Schutzabstand unter Berücksichtigung der Momentankonzentration.

In der Weiterentwicklung sollte dem unterschiedlichen Belästigungspotential der Gerüche abhängig vom Verhalten der Anwohner Rechnung getragen werden (SCHAUBERGER et al., 2006), indem die modellierten Immissionsgrenzwerte nach Tages- und Jahreszeit unterschiedlich gewichtet werden. Die Auswertung von Beschwerdestatistiken zeigte, dass Gerüche an warmen Tagen insbesondere dann als störend empfunden wurden, wenn sich die Anwohner draußen aufhalten.

Weiterhin wurde im Rahmen der Richtlinienarbeit in Österreich und zur VDI 3894 von SCHAUBERGER et al. (2007) untersucht, ob mit Hilfe eines einfachen Regressionsmodells der Schutzabstand durch wenige Prädikatoren bestimmt werden kann (empirisches Abstandsmodell). Die beiden veränderlichen Koeffizienten für das Regressionsmodell ergeben sich aus der Windrichtungshäufigkeit und der Überschreitungshäufigkeit der Geruchswahrnehmung an der Wahrnehmungsschwelle (1 GE/m^3). Als Datengrundlage dienten über 4000 Abstandsberechnungen für 1° -feine Windrichtungsklassen, drei Quellstärken und vier Überschreitungshäufigkeiten der Geruchswahrnehmung mit dem Modell AODM. Untersucht wurde, wie sich die Koeffizienten in Abhängigkeit von den Bedingungen und Quellenarten veränderten und mit welcher Auswirkung auf die Abstandsbestimmung. Die diskrete, klassenweise Anpassung der Koeffizienten wies eine gute Modellgüte auf, die nur geringfügig durch meteorologische Parameter beeinflusst wurde. Die Trefferquote innerhalb eines Fehlerintervalls der durch das empirische Modell berechneten Schutzabstände im Vergleich zur Ausbreitungsrechnung lag bei Punktquellen bei 65% und Flächenquellen bei 69%. Im Vergleich zur bisherigen Österreichischen Abstandskurve wurden mit dem empirischen Modell im Mittel um den Faktor 1,24 bis 2,42 höhere Schutzabstände berechnet.

PULLEN & VAWDA (2007) setzen sich in einem umfangreichen wissenschaftlichen Bericht intensiv mit den Möglichkeiten und Grenzen der Ausbreitungsmodellierung von Gerüchen auseinander. Im Auftrag der Englischen Umweltschutzbehörde galt es zu klären, inwieweit die Methoden für Immissionsschutzregelungen geeignet sind und die resultierenden Aussagen eine belastbare Quantifizierung von Geruchsbelästigungen erlauben. Ausführlich werden die (großen) Messunsicherheiten bei der Gewinnung der Eingabedaten und der Ausbreitungsrechnung aufgearbeitet. Um Fehlgebrauch zu vermeiden, sprechen PULLEN & VAWDA (2007) nur eingeschränkte Empfehlungen für die Verwendung von Ausbreitungsmodellierung als Beurteilungswerkzeug aus:

- Verwendung von Ausbreitungsmodellierung nur für neue Anlagen, an denen der vorherrschende Geruchseffekt auf normalen kontinuierlichen oder semi-kontinuierlichen Prozessbedingungen beruht und verlässliche Geruchsemissionsfaktoren verfügbar sind.
- Keine Verwendung von Ausbreitungsmodellierung, um die Abwesenheit eines widrigen Effektes zu beweisen, wenn Anwohnerangaben erhoben werden können oder vorliegen, um den gegenwärtigen Effekt aufzuzeigen.
- Keine Verwendung von olfaktometrischen Messungen und Ausbreitungsmodellierung, um potentielle akute Effekte von Geruchsemissionen zu untersuchen.
- Besondere Achtsamkeit bezüglich der Gültigkeit von Modellierungen an niedrigen Quellen und Flächenquellen in der Nähe von Gebäuden.
- Besondere Achtsamkeit bezüglich der Gültigkeit von Modellierungen von nicht vertikalen oder behinderten Geruchsfreisetzungen.
- Besondere Achtsamkeit bezüglich der Gültigkeit von Modellierungen in Hinblick auf die Geländestrukturen.

Guo et al. (2006) haben die internationale Literatur (vor allem angloamerikanischer Raum) zu Ausbreitungsmodellen für Tierhaltungsanlagen gesichtet. Demnach basierten zu dem Zeitpunkt immer noch viele Modelle auf dem Gauß-Fahnen oder Gauß-Wolkenmodellansatz mit den oben genannten Nachteilen und sind eher für industrielle Geruchsquellen ausgelegt. Die Historie und Modifikationen der verschiedenen Modellansätze in verschiedenen Ländern, Anpassungen an die Tierhaltung und Geruchsstoffausbreitung, die Ergebnisse von Vergleichsmessungen, die Bedeutung des Peak-to-Mean Verhältnisses sowie des Zusammenhangs von Geruchskonzentration und Intensität werden thematisiert.

Im Rahmen dieser Arbeit wird auf die international verwendeten Modelle im Einzelnen jedoch nicht weiter eingegangen.

4.2.3.4 Validierung und Qualitätssicherung

Unabhängig von Modell oder Anwendungsgebiet ist eine Validierung der Modelle mit neuen unabhängigen Daten notwendig. BOEKER (2003) unterscheidet in diesem Zusammenhang zwischen einer pragmatischen oder metaphysischen Möglichkeit, um die Qualität eines Modells zu prüfen:

- Pragmatische Qualitätsbestimmung: „Die Qualität eines Modells zeigt sich an der Übereinstimmung zwischen gemessenen Daten und vom Modell vorhergesagten Daten.“
- Metaphysische Qualitätsbestimmung: „Ein Modell muss die in der Realität stattfindenden Abläufe richtig und vollständig abbilden.“

Eine Validierung ist jedoch selber mit Unsicherheiten verbunden und es stellt sich die Frage nach geeigneten Kriterien für die Validierung (**Tabelle 4**).

Tabelle 4: Unsicherheiten und Kriterien bei der Validierung von Ausbreitungsmodellen (nach WENSAUER et al., 2006):

Unsicherheiten in:	Kriterien
...der Modellphysik	Vorhersagequalität der maximalen Konzentration
...im Vergleichsdatensatz	Vorhersagequalität der Überschreitungshäufigkeit von Grenz- und Schwellenwerten
...der Numerik und Statistik	Vorhersagequalität von Konzentrationsschwankungen in Zeit und Raum
	Vergleich von simulierten mit gemessenen Werten

In der Literatur sind zahlreiche (eher dem pragmatischen Ansatz folgende) Vergleichsmessungen national und international publiziert. Die Ergebnisse können aber nicht einfach übertragen werden, da die Modelle und Referenzmethoden einem stetigen Wandel mit dem Ziel der Verbesserung unterliegen. Weiterhin sind die Anwendungsfälle sehr unterschiedlich; sei es auf Grund der Tierhaltungsstrukturen (Halteverfahren, Bestandsgrößen), der klimatischen Bedingungen und Geländegegebenheiten oder der Entfernung der Prognosegebiete zur Quelle. In der Regel werden die Modellierungsergebnisse mit Geruchsbegehungen oder Tracergasmessungen verglichen.

Zur Veranschaulichung der Komplexität und Problematik wird deshalb nur auf einzelne Beispiele an Tierhaltungsanlagen eingegangen, ohne Anspruch auf Verallgemeinerungsfähigkeit der Ergebnisse.

BÄCHLIN et al. (2003) erstellten im Rahmen eines Verbundprojektes auch in Zusammenarbeit mit dem Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim einen Validierungsdatensatz für Geruchsausbreitungsmodelle. Als Quelle diente ein Schweinemaststall in weitestgehend ebenem Gelände mit konstantem Volumenstrom aus einem Abluftschacht während der Untersuchungen. Sowohl im Luv als auch Lee des Maststalles wurden meteorologische Messungen durchgeführt. Neben Geruchsemissionsmessungen wurde auch das Tracergas SF₆ in die Abluft eingeleitet und die SF₆ Emission bestimmt. Immissionsseitig wurden Fahnenbegehungen auf zwei Traversen an bis zu 12 Positionen durchgeführt. Zusätzlich zur Geruchsintensitätsbestimmung durch die Probanden erfolgte bei jedem Probanden eine Luftprobenahme über 10 Minuten zur SF₆ Konzentrationsbestimmung. Zusätzlich erfolgten bei zwei Probanden Kurzzeitmessungen der SF₆-Konzentration bei jedem bewerteten Atemzug der Probanden. 14 Experimente sind in den Datensatz eingeflossen, die jedoch eine unterschiedliche Güte bzw. Eignung als Validierungsdaten aufweisen. Vor allem die Kurzzeitkonzentrationsmessungen zeigten deutliche Korrelationen zwischen der SF₆-Konzentration und der Geruchsintensitätseinstufung durch die Probanden. Orientierende Vergleichsberechnungen mit einem Lagrange'schen Ausbreitungsmodell (LASAT, AUSTAL2000-Modus) für die SF₆ Ausbreitung zeigten nach BÄCHLIN et al. (2003) eine relativ gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung, vor allem in Hinblick auf die Größenordnung der Konzentrationen und der Ausdehnung der Fahnen. Ein Vergleich mit weiteren Ausbreitungsmodellen fand nicht statt.

JANICKE & JANICKE (2007) haben den Datensatz von BÄCHLIN et al. (2003) für Validierungs- und Vergleichsrechnungen im Zuge der Entwicklung und Dokumentation von AUSTAL2000G herangezogen, deutlich detaillierter ausgewertet und in zahlreichen Abbildungen dokumentiert. **Abbildung 26** zeigt den Vergleich der Mittelwerte der SF₆ Messungen mit einer Modellrechnung.

Es wurden drei unterschiedliche Modellierungsmethoden verwendet, in denen das verwendete Grenzschichtprofil und die Berücksichtigung von Gebäuden, Überhöhung und Zusatzturbulenz variiert wurde. Die Streuung der Daten war zu groß, als dass man einer Modellierungsmethode den Vorzug hätte geben können. Es traten keine systematischen Über- und Unterschätzungen der SF₆ Konzentrationswerte auf (JANICKE & JANICKE, 2007).

Weiterhin wurden Sensitivitätsanalysen und Kalibrierungen vorgenommen, indem z.B. Einzelsituationen, Jahreswerte und Windkanalmessungen analysiert wurden. Verschiedene Modellrechnungen galten einzelnen Modellkomponenten wie der Beurteilungsschwelle, dem Mäandern im Partikelmodell, dem Mittelwertmodell, dem Fluktuationsmodell, der Geruchswahrnehmung, etc..

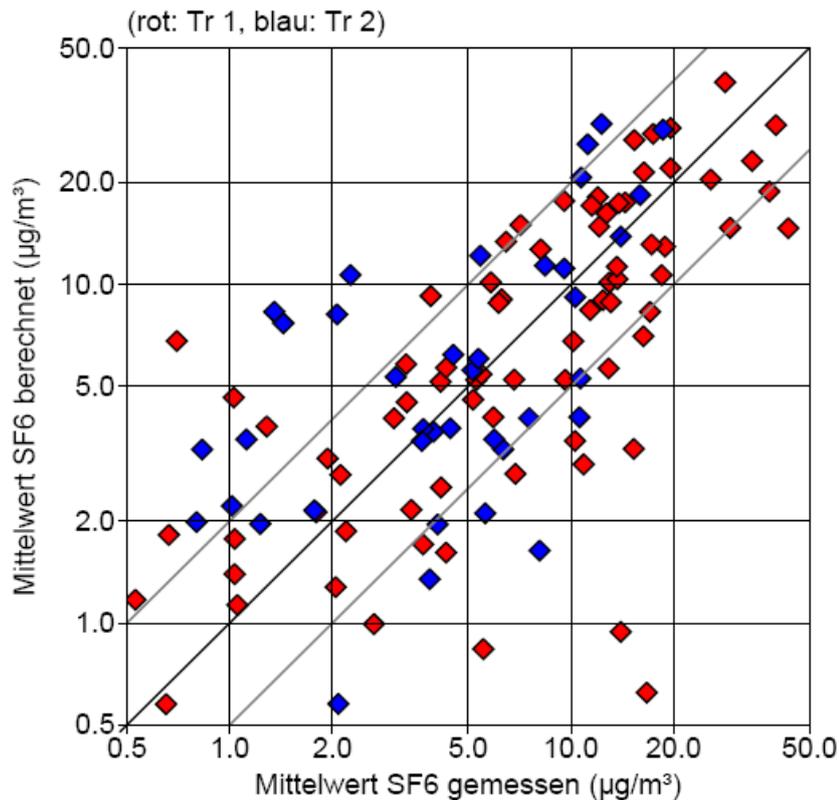


Abbildung 26: Vergleich der gemessenen und modellierten mittleren SF6 Konzentration von zwei Traversen (rot bzw. blau) einer Berechnungsvariante (JANICKE & JANICKE, 2007)

Im Ergebnis haben sich Länder- und Gremienvertreter für die Implementierung der Geruchsstundenhäufigkeiten in AUSTAL2000 darauf geeinigt, dass es ausreicht eine Beurteilungsschwelle für die Definition der Geruchsstunde festzulegen. Eine Geruchsstunde liegt demnach vor, wenn der berechnete Stundenmittelwert der Konzentration größer ist als die Beurteilungsschwellenkonzentration von $0,25 \text{ GE}/\text{m}^3$ (JANICKE & JANICKE, 2007).

WENSAUER et al. (2006) haben die Anwendung von AUSTAL2000G (Version 2.2.1) zur Beurteilung von landwirtschaftlichen Geruchsimmissionen evaluiert. Dazu wurden eine Sensitivitätsanalyse und eine Vorhersage-Validierung durchgeführt. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse werden in **Tabelle 5** wiedergegeben. Häufig beeinflussten die vorherrschende Windrichtung und der Abstand zur Quelle die Sensitivitätsergebnisse. Jedoch nahmen mit steigender Entfernung die Schwankungsbreiten der Ergebnisse ab. Je nach Modellparametrisierung können Summationseffekte der Abweichungen entstehen. Für die Vorhersage-Validierung wurden berechnete Daten mit Messdaten aus einer Rasterbegehung verglichen. Die Validität galt als erreicht, wenn die Abweichung zwischen den simulierten und gemessenen Daten nicht mehr als $\pm 5\%$ bis $\pm 15\%$ betrug. Die Rasterbegehung wurde an einem Bullenmaststall

(Außenklimastall) in Bayern durchgeführt. Es wurden olfaktometrisch Konzentrationsmessungen von Geruchsproben aus den Stallungen vorgenommen und während der Begehungstermine kontinuierlich Wetterdaten aufgezeichnet. Diese wurden auch für die meteorologische Zeitreihe bei der Ausbreitungsmodellierung herangezogen. Zunächst war die Übereinstimmung zwischen Ausbreitungsrechnung und Begehung unbefriedigend. Nur auf zwei von 18 Beurteilungsflächen war das Validitätskriterium erfüllt. Mit einer Erhöhung des Geruchsstundenkriteriums von 10% auf 15% Zeitanteil und des Geruchsemissionsfaktors von 12 auf 20 GE s⁻¹ GV⁻¹ erzielten WENSAUER et al. (2006) eine bessere Übereinstimmung zwischen Messung und Modellierung. Generell wurde eher (zum Teil auch erheblich) überschätzt als unterschätzt, was von den Autoren bei einer konservativen Betrachtung im Sinne des Immissionsschutzes als vertretbar angesehen wird.

Tabelle 5: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für Geruchsausbreitungsrechnungen nach AUSTAL2000G (WENSAUER et al., 2006)

Parameter	Schwankungsbreite [%]	Bemerkung
Anemometerposition	10 bis 80	Große räumliche Unterschiede
Fahnenüberhöhung	10 bis 40	Abhängig von Windrichtung und Entfernung
Modellparametrisierung (Simulationseffekt – Gutachter)	10 bis 20	Abhängig von Windrichtung und Entfernung
Gebäudeeinfluss	5 bis 10 0 bis 5	Im Nahbereich/Hauptwindrichtung Nebenwindrichtung
Zeitanteil der Überhöhung	0 bis 5	Meist nur im Nahbereich
Geländeeinfluss	0 bis 10	Mit Gelände höhere Werte
Quellart	0 bis 20	Punktquelle liefert niedrigsten Wert
Vertikalprofil	----	Kein Einfluss erkennbar
Rauhigkeitslänge	0 bis 20	Abhängig von Windrichtung und Abstand zum Stall

KRAUSE & MUNACK (2010) weisen darauf hin, dass verschiedene Ablufführungssysteme in AUSTAL2000G schwer unterschieden oder gar nicht berücksichtigt werden können (z.B. Vorverdünnung der Abluft, Überhöhung bzw. Down-Wash-Effekt, Seitenwandlüfter, Außenklimaställe) mit Konsequenzen für die Immissionsbeurteilung. Die Ablufführung bedingt aber möglicherweise bei gegebenem Emissionsmassenstrom unterschiedliche Anfangskonzentrationen, die mit ihrer Austrittsgeschwindigkeit an der Schnittstelle Stall und Umwelt den Ausbreitungsbeginn bestimmen.

Sensitivitätsanalysen im Rahmen von Vergleichssimulationen zeigten, dass die Konzentrationen bei doppelter Austrittsgeschwindigkeit wesentlich schneller abgebaut wurden, als bei halber Austrittsgeschwindigkeit und verdoppelter Konzentration. Das Modellverhalten sollte bezüglich des realen Konzentrationsinputs korrigiert werden. Auch das Vorgehen bei Modellanwendern, manche Gegebenheiten (z.B. Baumbestand) im Sinne einer konservativen Lösung zu vernachlässigen wird von KRAUSE & MUNACK (2010) kritisiert.

Als Beispiel für weitere Herausforderungen sei zudem ein Auszug aus den Problemberichten (Stand Oktober 2010) zu AUSTAL2000 wörtlich zitiert, die über die Homepage www.austal.de einzusehen sind:

„Wenn die Ausbreitungsrechnung für Geruch mit einer zu niedrigen Qualitätsstufe durchgeführt wird, also einen hohen Stichprobenfehler aufweist, berechnet das Programm systematisch zu niedrige Geruchsstundenhäufigkeiten. Dies ist nicht anhand des ausgewiesenen Stichprobenfehlers erkennbar. Der Effekt wird abgeschwächt, wenn mit geschachtelten Netzen gerechnet wird, denn durch die größere Maschenweite verringert sich die statistische Unsicherheit. Man erhält also in größerer Quellentfernung höhere Geruchsstundenhäufigkeiten, wenn man mit einem gröberen Netz arbeitet. Im Gegensatz zu den Verhältnissen bei Konzentrationswerten können bei der Geruchsausbreitung größere Maschenweiten auch im Nahbereich zu erhöhten Geruchsstundenhäufigkeiten führen. Dies ist ein Effekt, der mit der Definition der Geruchsstunde zusammenhängt.

Workaround: 1. Die Qualitätsstufe sollte ausreichend hoch gewählt sein, in der Regel 0 oder höher. Im Zweifel sollte durch eine Kontrollrechnung mit erhöhter Qualitätsstufe sichergestellt werden, dass keine signifikanten Änderungen im Ergebnis auftreten. 2. Es sollte möglichst mit geschachtelten Netzen gerechnet werden. Dabei ist aber zu beachten, in welchem Entfernungsbereich die Ergebnisse für die einzelnen Netze gültig sind.“

PIRINGER et al. (2010) von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien berichten über das Projekt VALIMOD zur Validierung von Ausbreitungsmodellen für den Nahbereich. Es wurde vergleichbar zu BÄCHLIN et al. (2003) vorgegangen. In der Umgebung eines Schweinemastbetriebes in ebenem Gelände wurden Fahnenbegehungen und gleichzeitig SF₆ Messungen durchgeführt, sowie die Emissionen und meteorologischen Bedingungen gemessen. Es wurden an drei Tagen 15 Einzelexperimente bei neutralen atmosphärischen Bedingungen durchgeführt. Für die Ausbreitungsrechnung wurden sowohl Gaußmodelle (ADMS, AODM) als auch Partikelmodelle (LASAT, MISKAM) verwendet.

Inwieweit sich die Modellierung von der Beobachtung unterschied, hing zum einen vom gewählten Modell und zum anderen von der Konfiguration des jeweiligen Modells ab. Kritische Faktoren waren die Wahl des Koordinatensystems bei Partikelmodellen sowie die Berücksichtigung von Gebäuden und die Unterschätzung von Spitzenkonzentrationen durch die Gaußmodelle. Letzteres Problem hängt mit dem unterschiedlichen Mittelungszeitraum des Modelles im Vergleich zur Messung zusammen. PIRINGER et al. (2010) schlagen vor, an künftigen Validierungsexperimenten, z.B. Ringversuchen zur TA Luft, teilzunehmen.

SOWA (2003) hingegen hatte das umgekehrte Problem, dass mit einem Gaußmodell die Immissionshäufigkeiten im Vergleich zu den Ergebnissen von Rasterbegehungen (integrale Werte über die Messzeit) deutlich überschätzt wurden. Das Prognosegebiet bzw. Untersuchungsgebiet war jedoch keine freie Landschaft sondern eine Ortschaft mit meist geschlossener Bebauung. Die Quellenlage war mit 14 Tierhaltungen (ca. 2500 Schweine und 900 Rinder) im Umkreis der Ortschaft sehr komplex. Die Vergleichsbetrachtung mit dem Lagrange Partikelmodell LASAT zeigte zwar weiterhin eher eine Überschätzung der Immissionshäufigkeiten, aber insgesamt eine deutlich bessere Übereinstimmung. Die Einflüsse und Unsicherheiten auf die Mess- und Prognoseergebnisse waren vielfältig z.B. durch die Bebauung, Wald- und Feldfruchtvegetation oder die tatsächliche Emissionshöhe.

Online verfügbare Leitfäden für die Durchführung und Dokumentation von Ausbreitungsrechnungen in verschiedenen Bundesländern sowie die VDI 3783-13 (2010) dienen der Nachvollziehbarkeit, Harmonisierung und Qualitätssicherung von Immissionsprognosen (RICHTER et al., 2009). Einschränkungen können sich aus der Quellstruktur, Emissionshöhe, dem Quellenabstand und der Geländestruktur ergeben. Die Anwendung von Ausbreitungsmodellen erfordert fundierte Kenntnisse der Modellphysik und der Modell-Handhabung.

4.2.3.5 Sonderfälle und Screeningverfahren

Für bestimmte Sonderfälle und Screeningverfahren stehen verschiedene Hilfsmittel zur Verfügung, die meist für den Bedarf in einzelnen Bundesländern von einschlägigen Ingenieurbüros entwickelt wurden. Im Folgenden soll kurz auf Beispiele aus Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen eingegangen werden. Zu betonen bleibt, dass dies „nur“ zusätzliche Werkzeuge sind, die eine umfassende Immissionsbeurteilung nicht ersetzen können. Sie dienen hauptsächlich einer Ergänzung oder ersten Abschätzung der Immission.

Geruchsausbreitung in Kaltluftabflüssen (GAK)

IMA Richter & Röckle, Freiburg

Über die GAK-Applikation kann für einen Emittenten in Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen die Wahrscheinlichkeit (gering, mittel oder hoch) und die Strömungsrichtung und Reichweite eines Kaltluftflusses abgeschätzt werden. Die Lokalisation erfolgt über die Eingabe des Rechts-Hochwertes. Zudem sind die Eingabe eines Emissionsmassenstromes und Angaben zur Quellkonfiguration nötig. Das Ergebnis wird als flächenhafte Darstellung der Geruchsfahne auf einer Gebietsvorschau im 1 km Raster ohne Textinformationen aber mit Einfärbung von Landnutzungs- und Orographiefaktoren angezeigt und in einem Textfenster erläutert. Beispiele werden in Kapitel 4.2.6.4 für die eigenen Untersuchungen aufgezeigt.

Das GAK-Modell eignet sich z.B. zur Kontrolle von konkreten Beschwerdesituationen, zur Prüfung der Eignung eines geplanten Standortes und zur Überprüfung der meteorologischen Eingangsdaten einer Ausbreitungsrechnung (NIELINGER, 2008). In der normalen Windstatistik treten manche Windrichtungen unter Umständen kaum auf, so dass auch eine geringe Immission prognostiziert wird. Die Kaltluftströmung kann aber genau in die eigentlich als unkritisch ausgewiesenen Richtungen weisen. Dies wird in der Ausbreitungsrechnung nicht abgebildet.

Geruchsdatenbank GERDA

Ingenieurbüro Lohmeyer, Karlsruhe

GERDA ist als Screeningmodell für Baden-Württemberg konzipiert, um erste Aussagen über die immissionsseitige Relevanz von Geruchsemissionen einer Anlage treffen zu können. Im Emissionsmodul sind Emissionsfaktoren (Schätzwerte) für fünf industrielle Anlagentypen hinterlegt. Andere Emissionen können frei eingegeben werden. Das Ausbreitungsmodul berechnet in vereinfachter Form auf Basis von AUSTAL2000 Geruchsstundenhäufigkeiten. Die Ergebnisdarstellung erfolgt über die Einfärbung von Rasterflächen in einer topographischen Karte für die Grenzimmissionshäufigkeiten $<10\%$, 10% bis $<15\%$ und $\geq 15\%$. Diese Ausbreitungsabschätzung ist nicht konform zu einer Ausbreitungsrechnung nach TA LUFT. Dennoch ist für einen Standort gut abschätzbar, wie hoch das Risiko einer erheblichen Belästigung sein wird und es kann bei der Festlegung des notwendigen Untersuchungsgebietes bei der anschließenden Immissionsbeurteilung behilflich sein.

Screening Model for Odour Dispersion SMOD

Ingenieurbüro Janicke, Dunum im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) Nordrhein-Westfalen

SMOD dient wie GERDA der Abschätzung von zu erwartenden Geruchsimmissionshäufigkeiten und ist vergleichbar konzipiert. Die Ausbreitungsrechnung wird mit ei-

nem hybriden Euler(vertikal)-Gauß(horizontal)-Modell auf Basis von Ausbreitungsklassen durchgeführt.

Estimation of Odour Emissions from Field Inspections ESOFIN

Ingenieurbüro Janicke, Dunum im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) Nordrhein-Westfalen

ESOFIN ist eine Anwendung für die Quelltermrückrechnung, also der Abschätzung der Emissionen durch Rückrechnung von Fahnenbegehungsergebnissen der Immissionshäufigkeit. Die Begehungsdaten werden als formatierte Textdatei bereit gestellt. Es können mehrere Begehungen zusammengefasst und Quellen mit bekannter Emission berücksichtigt werden. Sowohl eine Langzeitmeteorologie als auch eine Zeitreihe von Minutenmitteln ist verwendbar. Dies ist zum Beispiel bei diffusen Quellen nützlich, wo eine direkte Emissionsmessung sehr schwierig ist. Das ESOFIN Vorgehen umfasst (HÖLSCHER, 2008):

1. Ausbreitungsrechnung mit AUSTAL2000 für Minutenwerte der Meteorologie, Ausschreiben der Minutenwerte.
2. Analytische Beschreibung der Konzentrationsfluktuationen in den Kernfahnen.
3. Mittelung über die Kernfahnen, dies liefert die Konzentrationsverteilung an jeder Probandenposition.
4. Faltung mit der Wahrnehmungsfunktion, dies liefert die Geruchshäufigkeit.
5. Variation der Emissionsstärke und Wiederholung von Schritt 2 bis 4, bis die über alle Probanden summierte Geruchshäufigkeit gleich der gemessenen ist.

Es ist eine entsprechende VDI Richtlinie in Vorbereitung (VDI 3788 Blatt 2 Umweltmeteorologie – Quelltermrückrechnung).

Synthetische Windrosen – WS Expert

Arbeitsgemeinschaft Ingenieurbüro Matthias Rau, Heilbronn & METCON Klaus Bigalke, Pinneberg

Synthetische Windrosen stehen für Baden-Württemberg mittlerweile im 500 m Raster im Internet zur Verfügung. Sie zeigen die Windrichtungsverteilung in 30° Sektoren mit Unterteilung in Windgeschwindigkeitsklassen. Anlass war der Bedarf nach lokal repräsentativen Windstatistiken für den Immissionsschutz. Das Problem ist jedoch, dass zum einen nicht ausreichend Messstationen zur Verfügung stehen und zum anderen die Übertragbarkeit der Messdaten wegen der Reliefstruktur des Geländes begrenzt ist. Diese Lücke sollen die synthetischen Windrosen schließen. Beispiele werden in Kapitel 4.2.6.2 für die eigenen Untersuchungen aufgezeigt.

Synthetische Windstatistiken sind aber nicht gemessen, nicht aus gemessenen Windstatistiken interpoliert oder anders abgeleitet, enthalten keine Informationen aus

bodennahen Messungen und sind nicht als punktbezogene Informationen zu verstehen. Synthetische Windstatistiken werden vielmehr ohne Messungen durch Zusammenführung von topographischen und meteorologisch-statistischen Informationen sowie aus den Ergebnissen von Modellrechnungen künstlich hergestellt (RAU & BIGALKE, 2007).

Die Daten eignen sich in dieser Form nicht für Ausbreitungsrechnungen nach TA Luft. Sie können die Plausibilisierung von meteorologischen Daten unterstützen und bei der Abschätzung der Beaufschlagung von Immissionsorten mit luftgetragenen Schadstoffen dienen. Es wird jedoch nur der Einfluss von Geländestrukturen von mindestens 1 bis 2 km Länge abgebildet. Geländeformen mit geringeren Querschnitten können mit den Windrosen nicht wiedergegeben werden (NIELINGER, 2008).

Abschätzung der maximalen Geruchshäufigkeiten im Nahbereich

Uwe Hartmann, damals Landesumweltamt (LUA) Nordrhein-Westfalen

Aus einer geeigneten Standortklimatologie (Windverteilung) lässt sich beschränkt auf den Nahbereich (Abstand < 100 m zwischen Emissions- und Immissionsort) die zu erwartende Beaufschlagungshäufigkeit eines Immissionsortes ableiten. Diese kann im pessimalen Sinne gleich der dort auftretenden Geruchsimmissionshäufigkeit gesetzt werden. Voraussetzung hierfür ist die Vorstellung, dass Gerüche immer dann am Immissionsort wahrnehmbar sind, wenn Winde (auch Schwachwinde im extremen Nahbereich) aus dem ermittelten Sektor wehen. Der mit diesem Verfahren ermittelte Wert stellt somit einen Maximalwert dar. Der Beaufschlagungssektor ergibt sich durch Anbringung eines Winkels von 30° an beiden Seiten der Verbindungslinie zwischen Emissions- und Immissionsort. Die Beaufschlagungshäufigkeit im Sektor ergibt sich durch Addition der Auftretenshäufigkeiten der in diesem Sektor anfallenden Windrichtungen.

Das Verfahren ist nicht mehr geeignet, wenn von der eindimensionalen meteorologischen Sichtweise abgewichen wird. Es kann nicht die Entfernungsabhängigkeit der Geruchshäufigkeiten oder emissionsmindernde Maßnahmen berücksichtigen. Einschränkungen ergeben sich auch bei orographischen Besonderheiten (z.B. Kaltluftabflüssen), hohen Quellen mit Fahnenüberhöhung oder Strömungshindernissen im Ausbreitungspfad zwischen Emittent und Immissionsort.

4.2.4 Messungen im Umfeld von Tierhaltungsanlagen

Im Rahmen von Forschungsprojekten und Gutachten werden Fahnen- oder Rasterbegehungen durchgeführt, um die tatsächliche Geruchsbelastung im Umfeld von Tierhaltungsanlagen quantitativ und zum Teil qualitativ zu bestimmen (vgl. Kapitel 2.6). Meist handelt es sich im Sinne einer Fallstudie um die Untersuchung und Beurteilung eines Einzelfalles. Aus den Ergebnissen lassen sich normalerweise keine verallgemeinerungsfähigen Zusammenhänge zwischen der Art der Tierhaltung und der Geruchsbelastung in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Emissions- und Immissionsort ableiten. Eine möglichst einfache Antwort auf genau diese Frage wird aber sowohl von Anlagenbetreibern als auch Immissionsschutzbehörden gewünscht.

Auf umfangreiche Rasterbegehungen von Tierhaltungsanlagen wird erst anschließend in Kapitel 4.2.6.3 am Beispiel der eigenen Untersuchungen eingegangen. Die Untersuchungen zu Expositions-Wirkungsbeziehungen auf Basis von Rasterbegehungen werden in Kapitel 4.4 beschrieben. In diesem Kapitel liegt der Fokus auf Studien zur Schweine- und Rinderhaltung, die explizit mit der Zielsetzung durchgeführt wurden, Immissionsdaten für die Ableitung von Abstandsfunktionen oder Beurteilungsmaßstäben für bestimmte Tierhaltungsformen zu gewinnen. Die Diskussion um die Messunsicherheit von Begehungen wird ebenso beleuchtet.

4.2.4.1 Schweinehaltung

Das wohl aufwändigste Untersuchungsprogramm zu den Geruchsschwellenentfernungen von Tierhaltungsbetrieben in Deutschland wurde in den 70er Jahren verwirklicht. An etwa 600 Orten bzw. Betrieben wurden Begehungen durch das Institut für landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität Kiel, die Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Oldenburg und das KTBL in Darmstadt durchgeführt (SCHIRZ, 1989). In den Untersuchungen bewegten sich drei bis vier Personen gegen den Wind auf die Tierhaltungsanlage zu und ermittelten die Entfernung, bei der die Gerüche erstmals erkennbar der Anlage zugeordnet wurden (SCHIRZ, 1997).

Die Begehungen fanden in unterschiedlichen Jahreszeiten und bei verschiedenen Klimabedingungen statt. Die Standorte waren so gewählt, dass keine Geländeunebenheiten, keine Bebauung und kein hoher Bewuchs eine freie Ausbreitung der Geruchsfahne behinderten. Auf Basis der Erhebungen wurden die Abstandsdigramme der VDI 3471 (Schweine) und VDI 3472 (Hühner) in Abhängigkeit einer Punktebewertung für die Emissionsträchtigkeit der technischen Verfahren bei Entmistung, Mistlagerung, Lüftung und Abluftführung erarbeitet (SCHIRZ, 1989) (vgl. Kapitel 5). In **Tabelle 6** ist für verschiedene Schweinebestandsgrößen der Mittelwert der damals erhobenen Geruchsschwellenentfernungen zusammengefasst. Diese sind

nicht mit den anschließend abgeleiteten Mindestabständen zu verwechseln, die mit Sicherheitszuschlägen versehen wurden. Für Großvieh (Pferde und Rinder) wurde wegen der geringen Emission und der relativ kleinen Bestandsgrößen zunächst kein Bedarf für eigene VDI-Richtlinien gesehen (SCHIRZ, 1989).

Tabelle 6: Mittelwert der Geruchsschwellenentfernungen für verschiedene Schweinebestandsgrößen aus den Felderhebungen Mitte der 70er Jahre (in SCHIRZ, 1989)

Bestandsgröße [GV]:	Mittelwert der erhobenen Geruchsschwellenentfernung [m]
20	100
50	140
100	180
200	225
300	255
700	340

NICOLAS et al. (2008) führten für die Region Wallonie in Belgien an 14 Schweineställe und 15 Geflügelställen „dynamische“ Fahnenbegehungen durch. Bei dieser in Belgien verbreiteten Methode nähern sich die Prüfer der Quelle langsam, indem sie im Zick-Zack Muster die Geruchsfahne durchkreuzen bis jeweils der Fahnenrand erreicht ist. Ziel der Untersuchungen ist letztlich die Erstellung einer empirischen Abstandsfunktion. In **Abbildung 27** sind die aus NICOLAS et al. (2008) entnommenen mittleren Geruchsschwellenabstände mit Standardabweichung enthalten, um die für solche Erhebungen typische große Spannweite der Resultate zu verdeutlichen. Auf die Vielzahl der Einflussfaktoren, die auf den Ausbreitungspfad von der Emission über die Transmission zur Immission einwirken, wurde in den vorangegangenen Kapiteln bereits mehrfach eingegangen.

Außenklimaställe für Schweine haben in den letzten Jahren vor allem in Süddeutschland Verbreitung gefunden, werden aber in den bisherigen Bewertungsschemata nicht explizit berücksichtigt. SCHÖPF & GRONAUER (2003) fassen die Ergebnisse einer Untersuchung zur Gewinnung von empirischen Daten zu Außenklimaställen für Schweine für in Bayern übliche kleine Stalleinheiten (bis 80 GV) zusammen. Es wurden in Anlehnung an VDI 3940 (Fassung von 1993) Fahnenbegehungen jedoch mit einer abweichenden Boniturskala für die Differenzierung von Wahrnehmungs- und Erkennungsschwelle durchgeführt. Jeweils sieben bis acht Begehungen fanden an elf Außenklimaställen in der Zeit von April bis Oktober statt. Ergänzend wurden relevante Begleitparameter zu den Quellen und Ausbreitungsbedingungen erhoben.

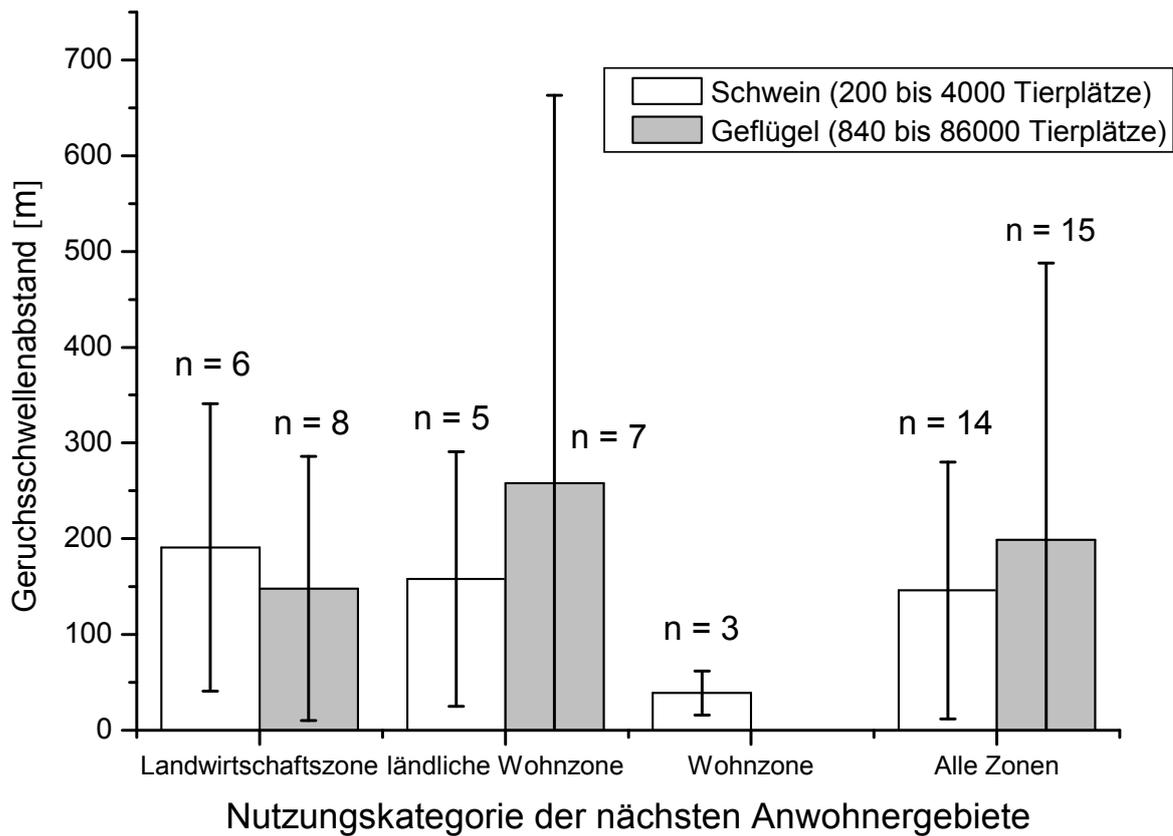


Abbildung 27: Mittelwert und Standardabweichung der Geruchsschwellenabstände von Schweine- und Geflügelställen in der Wallonie, Belgien. Darstellung von Tabellenwerten in NICOLAS et al. (2008)

Die maximale Wahrnehmungsschwelle im Sinne der angewandten Methodik in den Untersuchungen von SCHÖPF & GRONAUER (2003) betrug 225 m, lag aber in vielen Fällen unter 125 m, wie **Abbildung 28** zeigt. Die entsprechenden Erkennungsschwellen rangierten zwischen 9 bis 25 m. Den größten Einfluss auf die Ergebnisse wiesen die Windgeschwindigkeit und die Ausbreitungsklasse auf. Die Bestandsgröße, das Stallklima und die Ausgestaltung des freien Lüftungssystems übten hingegen kaum einen Einfluss auf den Schwellenabstand der untersuchten Betriebe an der Wahrnehmungsgrenze aus. Nach Ansicht der Autoren konnte gezeigt werden, dass die nach TA LUFT (2002) einzuhaltenen Mindestabstände bei den in Bayern üblichen und hier untersuchten Betriebsgrößen bis 80 GV nicht gerechtfertigt seien. Die Übertragbarkeit auf größere Stalleinheiten ist nicht per se gegeben, dazu wären weitere Untersuchungen nötig (SCHÖPF & GRONAUER, 2003).

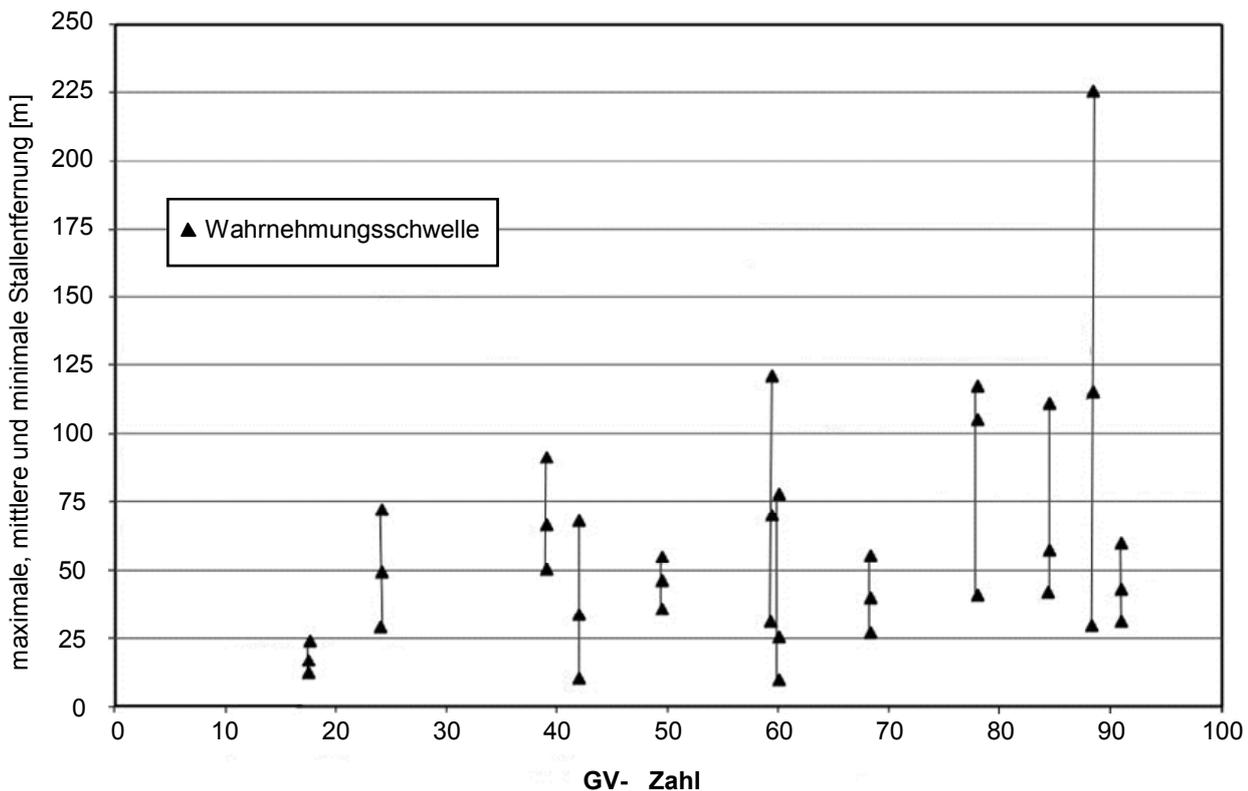


Abbildung 28: Gemessene Geruchsschwellenabstände für kleine Außenklimaställe für Schweine in Bayern (SCHÖPF & GRONAUER, 2003)

In der Schweiz wurden von KECK et al. (2005) ebenso Fahnenbegehungen an Schweineställen durchgeführt, um eine vergleichende Datengrundlage für die immisionsseitige Bewertung von offenen versus geschlossenen Haltungssystemen sowie für Auslaufsysteme zu erhalten. Die Untersuchungen fanden an zehn Ställen mit Vollspaltenboden und Zwangslüftung (48 – 132 GV), an zehn Mehrflächensystemen mit Zwangslüftung und Auslauf (7-104 GV) sowie 13 Mehrflächensystemen mit freier Lüftung und Auslauf (24 – 83 GV) statt. Mehrflächensysteme wiesen ein etwa doppelt so großes Flächenangebot pro GV auf als Ställe ohne Auslauf und mit Vollspaltenboden. An jedem Betrieb wurden mit drei Prüfern mindestens zwei Erhebungen mit je drei Einzelbegehungen durchgeführt. Es wurden Geruchswahrnehmungen ab der Intensitätsstufe 2 mit schwachem Geruch berücksichtigt. Je höher die Intensitätsstufe, desto stärker wurde diese in einem Index der Geruchsintensität gewichtet. Dieser Index war sehr hoch mit der Wahrnehmungshäufigkeit korreliert. Der Einfluss von Stalltyp, Entfernung, Tierbesatz, Windgeschwindigkeit und des Prüfers sowie von zufälligen Effekten auf den gewichteten Intensitätsindex wurde mit einem linearen Gemischte-Effekte-Modell aufgeklärt.

Im Ergebnis verursachten die Mehrflächensysteme mit Auslauf größere Intensitäten und somit Geruchsimmissionen (**Abbildung 29**). Die Umsetzung über Korrekturfaktoren bei der Abstandsberechnung führt dazu, dass die resultierenden Mindestabstände für Ställe mit Ausläufen um bis zu 50% größer sind als die Mindestabstände für Ställe ohne Ausläufe (KECK et al., 2005).

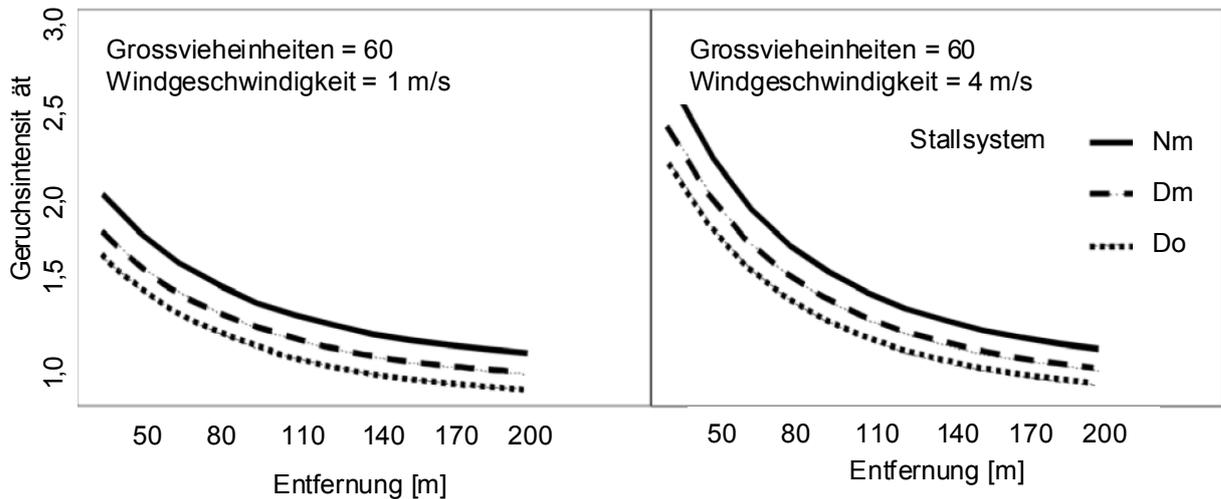


Abbildung 29: Abhängigkeit der immissionsseitigen Geruchsintensität (gewichteter Intensitätsindex) von der Entfernung, Windgeschwindigkeit und dem Schweinestallsystem, berechnet mit einem linearen Gemischte-Effekte-Modell (KECK et al., 2005) (Nm = Mehrflächensystem, freie Lüftung mit Auslauf; Dm = Mehrflächensystem, Zwangslüftung über Dach mit Auslauf, Do = Einfächensystem, Zwangslüftung über Dach ohne Auslauf)

4.2.4.2 Rinderhaltung

Anfang der 90er Jahre ergab sich mit den wachsenden Bestandszahlen und großen Anlagen in Ostdeutschland der Bedarf für eine eigene Abstandsregelung für Rinderhaltungen. Der Gründruck der entsprechenden VDI 3473-E (1994) scheiterte letztlich an den Einwendungen, die die vorgeschlagenen Mindestabstände als zu hoch kritisierten (HOLSTE et al., 1997). Die vorgeschlagene Abstandsregelung wurde damals aus den Abstandskurven für Schweine der VDI 3471 (1986) unter Berücksichtigung von Geruchsäquivalenzfaktoren für verschiedene Rinderarten abgeleitet (VDI 3473-E, 1994). Im Zuge der Diskussion über die „in Realität“ zu findenden Geruchsschwellenentfernungen von Rinderhaltungen wurden verschiedene Begehungen durchgeführt.

ZEISIG & LANGENEGGER (1994a,1994b) führten 206 vereinfachte Fahnenbegehungen an 45 bayerischen Rinderhaltungsbetrieben (ca. 10 bis 400 GV) in den Sommermonaten des Vorjahres durch. Die meisten Betriebe wiesen eine Bestandsgröße zwischen 50 und 100 GV auf. Die Begehungsmethodik ist nicht mit dem Vorgehen in der damals gültigen Fassung der VDI 3940 (1993) zu vergleichen, nach der zunächst nur die Geruchshäufigkeit von mehreren Intensitätsstufen in Abhängigkeit von der Entfernung zur Quelle (Standort des Prüfers) ermittelt wird. In der Untersuchung von ZEISIG & LANGENEGGER (1994a) sollten die Prüfer gegen den Wind auf die Anlage zugehen und möglichst getrennt die Entfernung zum Stallgeruch, Güllegeruch, Stallmistgeruch und Silagegeruch bei einer schwachen Wahrnehmung und einer deutlichen Wahrnehmung direkt abschätzen. Entsprechend sind die sehr geringen Geruchsschwellenentfernungen dieser Untersuchung nicht direkt mit Daten aus Begehungen nach VDI 3940 zu vergleichen.

ZEISIG & LANGENEGGER (1994a, b) fassen ihre (in Fachkreisen jedoch kontrovers diskutierten) Ergebnisse wie folgt zusammen:

- Die durchschnittliche Geruchsschwellenentfernung für „Stallgeruch schwach wahrnehmbar“ lag bei 30 m, für „Stallgeruch deutlich wahrnehmbar“ unter 10 m.
- Die Geruchsschwellenentfernungen waren weitestgehend unabhängig von den Bestandsgrößen.
- Nur in der Tendenz war eine größere Geruchsschwellenentfernung für Rindermastställe im Vergleich zu Milchviehställen erkennbar.
- Offenställe wiesen größere Geruchsschwellenentfernungen auf. Ein Einfluss der Aufstallungsform (mit/ohne Einstreu) konnte nicht nachgewiesen werden.
- Die durchschnittliche Geruchsschwellenentfernung „schwach wahrnehmbar“ lag für Gülle unter 10 m, für Mist bei bis zu 15 m und für Silage bei 25 m.

In Baden-Württemberg ermittelten JUNGBLUTH & HARTUNG (1996) mit Hilfe von Fahnenbegehung nach VDI 3940 (1993) Geruchsschwellen- und Erkennungsschwellenabstände an neun Milchvieh- und zwei Mastrinderställen. Die Ställe möglichst in Alleinlage auf ebener Fläche wiesen unterschiedliche Haltungs- und Lüftungssysteme auf; der Tierbesatz belief sich auf 37 bis 100 GV. Die relevanten Begleitparameter wie Betriebsbeschreibung und Meteorologie wurden erfasst. Jeder Stall wurde jeweils zehnmal mit fünf Probanden bei Sommer- und Winterbedingungen begangen. Der Geruchsschwellenabstand variierte mit zunehmender Anzahl Begehungen kaum noch, d.h. nach sechs bis sieben Begehungen war kein nennenswerter Informationszuwachs mehr zu verzeichnen. Der betriebstypische Geruchsschwellenabstand der elf untersuchten Betriebe lag bei strenger Vorgabe einer 0%-igen Wahrnehmungshäufigkeit zwischen 60 m und 98 m.

Nimmt man höhere Geruchszeitanteile (5%, 10%, 15%) an, verminderten sich die betriebstypischen Geruchsschwellenabstände entsprechend (JUNGBLUTH & HARTUNG, 1996). Die betriebstypischen Erkennungsschwellenabstände lagen zwischen 42 m und 86 m. Die Geruchsschwellenabstände waren im Mittel 37% geringer als die nach dem Rinderrichtlinienentwurf (VDI 3473-E, 1994) berechneten Mindestabstände; die Differenz zu den Erkennungsschwellenabständen belief sich auf 50%. Die Regression der ermittelten Geruchsschwellenabstände zum durchschnittlichen Tierbesatz in GV wies ein höheres Bestimmtheitsmaß auf als die Regression zur nach VDI 3473-E (1994) berechneten geruchsbezogenen Tierlebensmasse, bei der die GV mit einem vorgegebenen Geruchsäquivalenzfaktor multipliziert werden.

Abbildung 30 fasst die Ergebnisse von JUNGBLUTH & HARTUNG (1996) zu den betriebstypischen Schwellenabständen im Vergleich zur Abstandsberechnung nach VDI 3473-E (1994) zusammen.

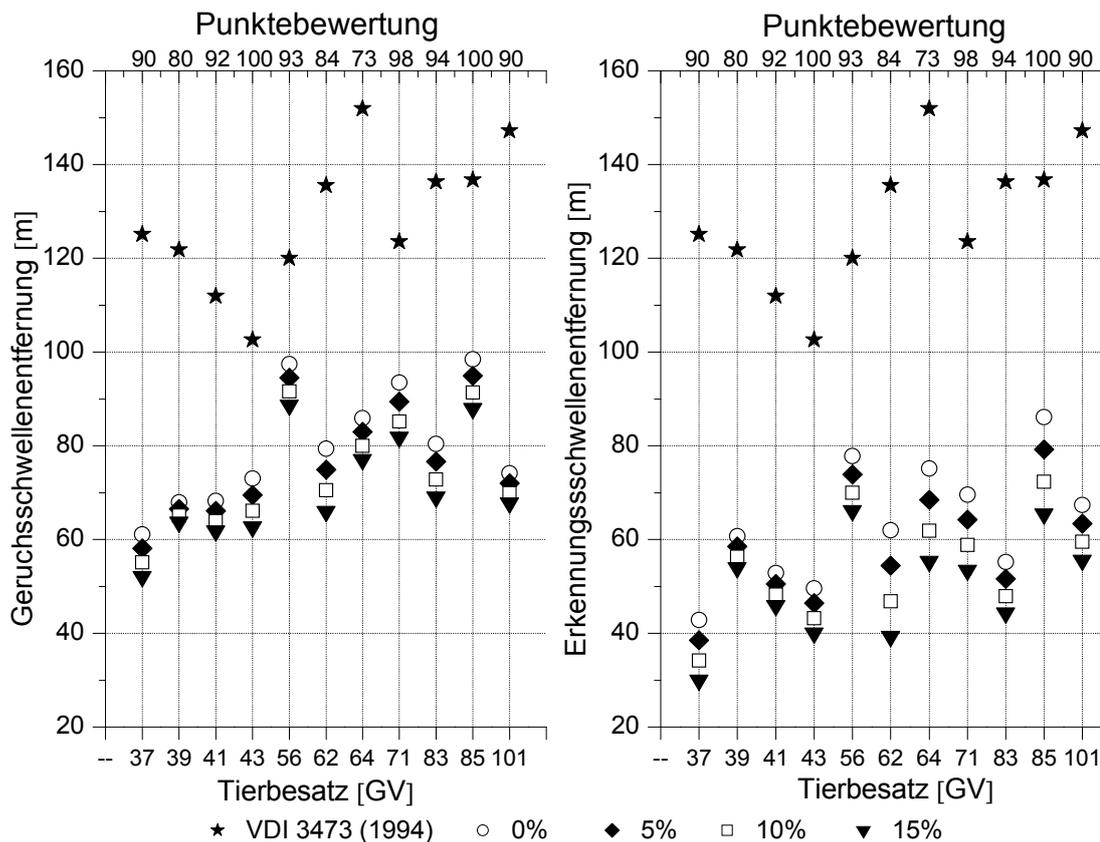


Abbildung 30: Betriebstypische Schwellenabstände für unterschiedlich vorgegebene prozentuale Wahrnehmungshäufigkeiten und berechnete Mindestabstände für elf Betriebe in Baden-Württemberg (Darstellung von Tabellenwerten in JUNGBLUTH & HARTUNG, 1996)

Im Anschluss an die süddeutschen Untersuchungen wurden Daten zu Geruchsschwellenabständen von acht größeren Milchviehbetrieben (111 bis 840 GV) im norddeutschen Raum von HOLSTE et al. (1997) erhoben. Das methodische Vorgehen war im Vorfeld zwischen der Universität Kiel (HOLSTE et al., 1997) und der Universität Hohenheim (JUNGBLUTH & HARTUNG, 1996) abgestimmt worden und somit vergleichbar. Es werden bei einer Wahrnehmungshäufigkeit von 10% drei Geruchsschwellenentfernungen definiert für die Intensitätsstufe „sehr schwach“, „schwach“ oder „deutlich“. Die Geruchsschwellenentfernungen für sehr schwache Gerüche waren etwa 40% größer, die Entfernungen für schwache Gerüche im Mittel 15% geringer und die Entfernungen für deutliche Gerüche rund 40% geringer als die Mindestabstände nach VDI 3473-E (1994). Die Unterschreitung der VDI-Abstände war demnach nicht so eindeutig wie bei JUNGBLUTH & HARTUNG (1996). Dennoch interpretieren HOLSTE et al. (1997) die Ergebnisse dergestalt, dass die Geruchsschwelle mit sehr schwachen Gerüchen kein geeigneter Grenzwert für die Immissionsbeurteilung sei. Es wird vereinfacht davon ausgegangen, dass die Belästigungsgrenze abhängig von der vergleichsweise weniger unangenehmen Hedonik von Rindergerüchen erst bei deutlich höheren Geruchskonzentrationen zu erwarten sei. Diese theoretische Argumentationskette führt zu der Empfehlung die Geruchsäquivalenzfaktoren unter Berücksichtigung der Hedonik so zu verändern, dass sich um mindestens 25% geringere Abstände ergeben.

KRAUSE et al. (2000) konstatieren, dass die Anzahl der Begehungen in den vorgeannten Untersuchungen bei weitem nicht statistisch ausreichend sei, um darauf eine Abstandsbeziehung gründen zu können. Dafür wäre ein Stichprobenumfang von > 800 Voraussetzung. Des Weiteren wären die variierenden meteorologischen Bedingungen nicht in vollem Umfang berücksichtigt. Im Zuge einer Reanalyse der Daten von ZEISIG & LANGENEGGER (1994a), JUNGBLUTH & HARTUNG (1996) und HOLSTE et al. (1997) errechnen KRAUSE et al. (2000) die jeweiligen Abstandsfunktionen in Abhängigkeit der geruchbezogenen Tierlebensmasse und den sich daraus ergebenden Geruchsäquivalenzfaktor, der zu kritisieren sei. Es werden schließlich eigene Begehungen an je einem Tag an 31 Ställen (40 bis 1900 GV) von Februar bis November 1998 durchgeführt, um mit den Begehungsdaten, Emissionsdaten und meteorologischen Daten ein Simulationsmodell zu kalibrieren. Über die Modellberechnungen wiederum wird dann erst die Abstandskurve bzw. die weiteste Entfernung für unterschiedliche Wahrnehmungshäufigkeiten ermittelt, bei der schwacher Geruch wahrgenommen wird. **Abbildung 31** zeigt die resultierenden Näherungsfunktionen von KRAUSE et al. (2000) bei der Wahrnehmungshäufigkeit 0% und 10% im Vergleich zur Abstandskurve für Schweine nach VDI 3471 (1986).

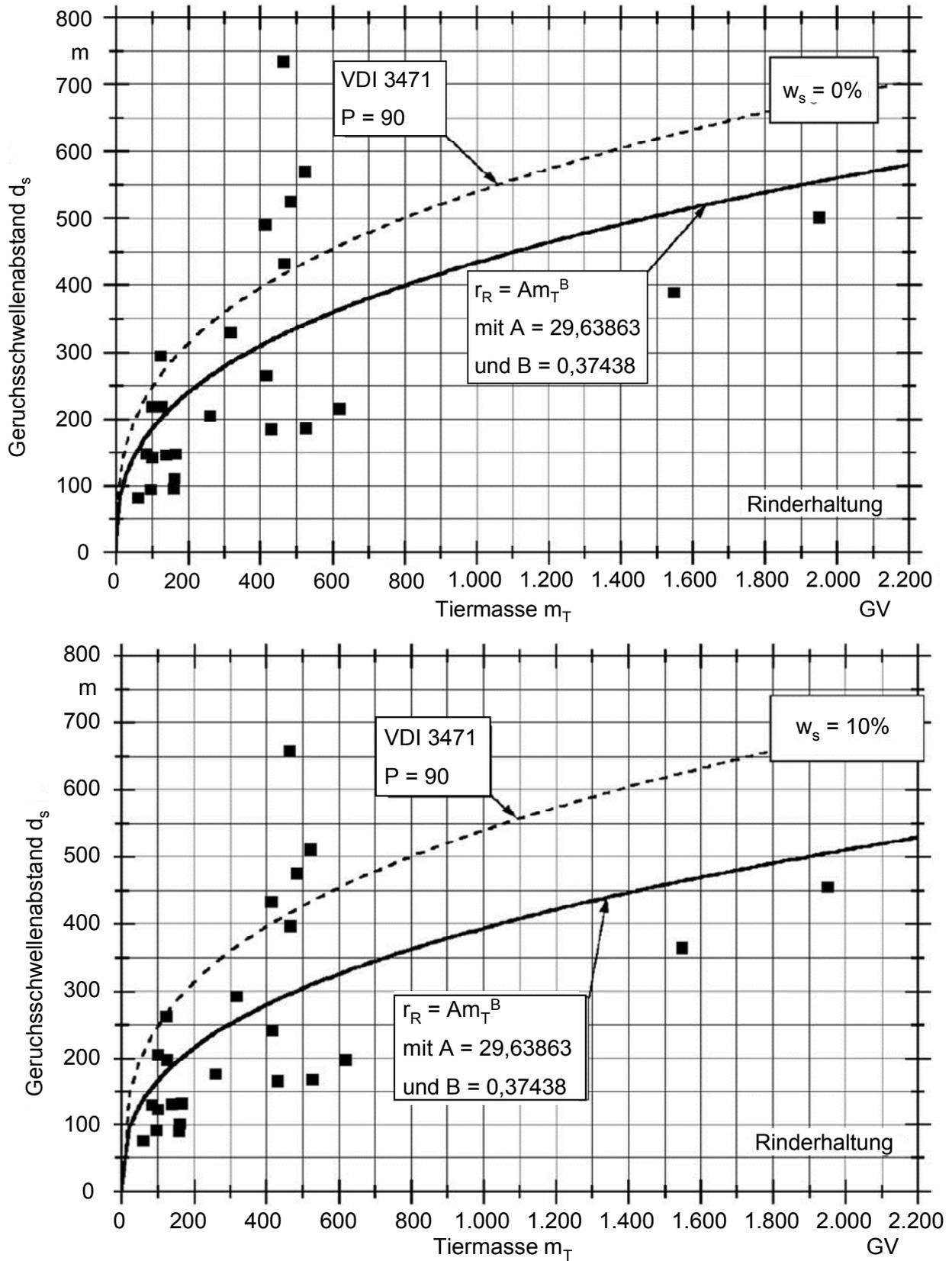


Abbildung 31: Näherungsfunktionen und Begehungsdaten für den Geruchsschwellenabstand Rinderhaltung bei 0% bzw. 10% Wahrnehmungshäufigkeit im Vergleich zur Abstandskurve für Schweine nach VDI 3471 (1986) (KRAUSE et al., 2000)

Zur Frage, inwieweit sich ein Laufhof auf die Geruchsimmissionen auswirkt, wurden von KECK & SCHMIDLIN (1998) Fahnenbegehungen an zehn Milchviehställen (20 bis 40 GV) in der Schweiz durchgeführt. Mindestens zwei Fahnenbegehungen pro Betrieb erfolgten bei verschmutztem und gereinigtem Laufhof im Sommer und Winter. Die von den Probanden wahrgenommenen Intensitäten mit und ohne Laufhof unterschieden sich kaum. Der Beitrag des Laufhofes als zusätzliche Geruchsquelle schien gering zu sein. Die Windgeschwindigkeit war jedoch entscheidend für die Geruchsausbreitung.

4.2.4.3 Messunsicherheit von Begehungen

Die Begehung im Sinne einer immissionsseitigen sensorischen Geruchsmessung birgt zum einen die Messunsicherheiten in sich, die durch die Prüfer selber bedingt sind. In den aktuellen VDI-Begehungsrichtlinien 3940-1 und 3940-2 (2006) werden entsprechende Hinweise zur Auswahl und Eignungsüberprüfung der Probanden, zu Verhaltensregeln während der Messungen bzw. für die Plausibilitätskontrolle der Antworten anhand der Windrichtung gegeben.

Darüber hinaus ist für die Interpretation und Vergleichbarkeit von Begehungen eine genaue Dokumentation der gewählten Vorgehensweise zwingend, insbesondere auch eine eindeutige Definition der angewandten Geruchsschwelle (Erkennungs- oder Wahrnehmungsschwelle), der verwendeten Intensitätsskalen, der Methode der Erfassung des Geruchszeitanteils (getaktet oder ungetaktet), und die Geruchsstundendefinition bzw. die Auswertestrategie.

Die Fahnenmessung wird bei sachgerechter Ausführung von Anwendern als sehr empfindliches und treffsicheres Verfahren beschrieben (JUNGBLUTH & HARTUNG, 1996; HOLSTE et al., 1997; KECK et al., 2005). Vergleichsmessungen mit Tracergas ergaben gute Resultate (vgl. Kapitel 4.2.3.4; BÄCHLIN et al., 2003; PIRINGER et al., 2010). Schwierigkeiten, die zum Abbruch einer Fahnenmessung führen können, ergeben sich vor allem, wenn sich die meteorologischen Bedingungen während der Messungen ändern, insbesondere bei kurzfristigen Windrichtungswechseln oder Böigkeit (KOST et al., 2009a).

Die Aussagekraft von Rasterbegehungen hingegen wird eher kritisiert, sicherlich auch in der Gemengelage mit den Diskussionen rund um Anwendungs- und Auslegungsfragen zur Geruchsimmissionsrichtlinie GIRL.

KOST et al. (2009b) fassen im Rückblick der eigenen über 20-jährigen Erfahrung zusammen, dass die Qualität und Aussagekraft von Rasterbegehungsergebnissen eng damit zusammenhängt, wie gut die Probanden die Gerüche differenzieren und eindeutig zuordnen können. Zudem sei eine genaue Kenntnis der realen Quellenlage und Geländegegebenheiten bzw. Meteorologie wichtig. Die Vergleichbarkeit von

Messungen ist bei konsequenter Anwendung der Richtlinien gegeben. Unterschiedliche Vorgehensweisen führen aber zu abweichenden Ergebnissen.

MÜLLER et al. (2009b) berichten über die sehr gute Übereinstimmung von 93 Parallelmessungen zweier Probandenkollektive im Rahmen von halbjährlichen Rasterbegehungen im Umfeld von mehreren Tierhaltungsanlagen (vorwiegend Rinderhaltung). Die Korrelation der von den beiden Probandenkollektiven doppelbestimmten Geruchsstundenhäufigkeiten auf den einzelnen Beurteilungsflächen war mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,978$ sehr gut. Die Ergebnisse können als Eingangsdaten für eine statistische Betrachtung der Messunsicherheit nach dem ISO-Standard 20988 (2007) zur Abschätzung der Messunsicherheit von Luftgütemessungen dienen. Demnach betrug für die Geruchsqualität „Rind“ in einem Geruchsstundenwertebereich von 0 bis 33 die Standardmessunsicherheit 0,98 sowie die erweiterte 95%-Messunsicherheit 2,04 Geruchsstunden.

Rasterbegehungen stehen immer wieder in zweierlei Hinsicht in der Kritik (KOST & RICHTER, 2009). Zum einen wird die Repräsentativität von 52 bzw. 104 stichprobenartigen Begehungen auf einer Rasterfläche für einen Beobachtungszeitraum von einem halben bzw. einem Jahr angezweifelt. Zum anderen wird die Definition der Geruchsstunde kritisiert, nach der ein Messzeitintervall von 10 min mit 60 Einzelmessungen alle 10 s als Geruchsstunde zählt, wenn der Geruchszeitanteil mit eindeutig erkennbarem Geruch 10% erreicht oder überschreitet.

Insbesondere die Ausarbeitung von KRAUSE & MUNACK (1995) bzw. KRAUSE (1997) zur Wahrscheinlichkeits- und Fehlerstatistik der Wahrnehmungshäufigkeit, in der die Autoren einen notwendigen Stichprobenumfang von etwa 1000 herleiten, wird in diesem Zusammenhang zitiert. BOTH (1997) führt dazu aus, dass eine hinreichende Genauigkeit der Übereinstimmung der Rasterbegehungen mit Immissionsprognosen nachgewiesen worden sei. Im Übrigen sei die statistische Herleitung im Anhang der VDI 3940 (1993) dargelegt, wobei in der GIRL eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 20% angesetzt wurde. Schließlich habe man die Erhebungsumfänge nicht neu erfunden, sondern sie seien bereits in der TA Luft enthalten. KOST & RICHTER (2009) bzw. BOTH (2010) erläutern zudem, dass die Bestimmung der Stichprobenlänge für Rasterbegehungen anhand eines umfassenden Rastermessprogrammes zu Schwefeldioxidkonzentrationen in der Luft in den 60er Jahren in Nordrhein-Westfalen erfolgte und damit als erwiesenermaßen ausreichend angesehen wird.

Aus der Darstellung der Vertrauensintervalle im Anhang 3 der VDI 3940 (1993) ergibt sich für 10 positive von 104 Einzelmessungen (also rund 10% Geruchshäufigkeit) folgendes Bild: Bei 104 Messungen kann mit 95%-iger Sicherheit der „wahre“ Geruchszeitanteil etwa 4% betragen bzw. ein Geruchszeitanteil größer $\sim 18\%$ ausgeschlossen werden. Der Median beträgt 10%.

Um die Transparenz und Akzeptanz bei der Anwendung des Geruchsstundenkriteriums zu erhöhen, schlagen KOST & RICHTER (2009) einen Weg vor, wie die Ergebnisse hinsichtlich der Frage darstellbar sind, ob eine Geruchsstunde gerade erfüllt bzw. eben gerade nicht erfüllt wurde oder ob sie „abgesichert“ ist durch einen hohen Anteil von Einzelmessungen mit Geruch. Ein 10-minütiges Messintervall wird ab 6 von 60 Messungen (10%) mit erkennbarem Geruch als Geruchsstunde gewertet. Interpretiert man diese 6 Messungen als Intervallbreite des Unsicherheitsbereiches um das Geruchsstundenkriterium, dann läge die Schwankungsbreite des Geruchsstundenkriterium zwischen 3 bis 6 Einzelmessungen (keine Geruchsstunde) bzw. zwischen 6 und 9 Einzelmessungen (Wertung als Geruchsstunde); prozentual ausgedrückt also zwischen 5% und 15% Geruchszeitanteil. Berücksichtigt man diese Schwankungsbreiten in der Darstellung der Immissionshäufigkeiten, kann einfacher erkannt werden, wie eindeutig oder „grenzwertig“ eine ausgewiesene Grenzwertüberschreitung ist bzw. wie robust die Ergebnisse gegenüber der Geruchsstundendefinition sind.

Für die Festlegung der konkreten Begehungstermine hat sich gezeigt, dass sowohl die zufällige Auswahl als auch fixe Vorgaben wie z.B. dieselbe Uhrzeit oder bestimmte Probanden nur für bestimmte Messpunkte vorzusehen zu unsachgemäßen (nicht repräsentativen) Ergebnissen führen kann (BOTH, 1998). Deshalb wird eine systematische Messplanung empfohlen, die zum einen unabhängige Messungen an einer Rasterfläche und zum anderen eine annähernde Gleichverteilung von Wochentagen, Tageszeiten und Probanden vorsieht (BOTH, 1998; VDI 3940-1, 2006).

Der Einsatz elektronischer Geruchssensoren in der Immissionsüberwachung auch von Tierhaltungsanlagen, vorzugsweise gekoppelt mit einem Geruchsmanagementsystem ist prinzipiell denkbar. An z.B. Kläranlagen, Kompostierungsanlagen oder Abluftreinigungsanlagen sind solche Systeme schon eingesetzt worden (MÜNCHMEYER & WALTE, 2004).

PAN et al. (2007) berichten über erfolgreiche Tests und Vergleichsmessungen mit Begehungen an Tierhaltungsanlagen in Kanada. Vorteilhaft ist sicherlich die hohe Zeitauflösung. Nachteilig ist, dass Geruchsereignisse nur an einem oder wenigen Messpunkten detektiert werden können. Ein „electronic nose neural network“ in Kombination mit einem Ausbreitungsmodell und Daten zur Emission, Meteorologie und Topographie könnte eine sinnvolle Anwendung sein (PAN et al. 2007). Bisher fokussiert sich die Anwendung auf die Emissionsmessung mit elektronischen Geruchssensoren. Das Grundproblem bleibt die Kalibration mit unsicheren olfaktometrischen Referenzdaten (BOEKER et al., 2009).

4.2.5 Immissionsminderungsmaßnahmen

Die Maßnahmen zur Minderung von Immissionen sind von Emissionsminderungsmaßnahmen (Abbildung 18, Kapitel 4.2.1.1) am Übertritt der Geruchsstoffe von der Quelle in die Atmosphäre abzugrenzen. Nicht der Emissionsmassenstrom wird verringert, sondern die Immissionscharakteristik bzw. das Ausbreitungsverhalten der gegebenen Emission wird beeinflusst. Ziel ist es, die Häufigkeit und Konzentration von Geruchsstoffeinträgen im Aufenthaltsbereich von Menschen in sensiblen Gebieten im Umfeld der Quelle zu vermindern oder zu vermeiden.

Daraus ergibt sich schon die erste Herausforderung für die Auswahl und Anwendung von Immissionsminderungsmaßnahmen. Sie müssen auf den jeweiligen Anwendungsfall angepasst sein, da unzählige Konstellationen der Beziehungen zwischen Quelle und Rezeptor bestehen; sei es bezüglich der Quellencharakteristika, der Transmissionsbedingungen oder des Schutzanspruches. Muss in einem Fall der nächste Nachbar im Nahbereich aber in Nebenwindrichtung zur Quelle geschützt werden, kann im anderen Fall die Anwohnerschaft eines weiter entfernten aber in Hauptwindrichtung gelegenen Gebietes betroffen sein. Was für den einen Fall eine gute Maßnahme ist, kann im anderen Fall unzweckmäßig sein. Dementsprechend ist eine Immissionsminderung auch kaum verallgemeinerungsfähig zu quantifizieren.

Zu den Erkenntnissen zur möglichen Wirkung von Immissionsminderungsmaßnahmen gelangte man auf verschiedenen Wegen. Zum einen wurden empirische Erfahrungen z.B. aus Begehungen von Betrieben oder bei der Lösung von Beschwerdesituationen verarbeitet. Zum anderen kann insbesondere das Strömungsverhalten am Modell im Windkanal visualisiert bzw. durch numerische Strömungssimulation grafisch aufgearbeitet werden. Schließlich können verschiedene Szenarien in größerem Maßstab für reale Fälle mit Ausbreitungsrechnungen durchgespielt werden. Systematische und vergleichende Immissionsmessungen für den Nachweis eines Minderungseffektes an einer repräsentativen Stichprobe sind wegen des erheblichen Untersuchungs- und Zeitaufwandes in der Form nicht durchgeführt worden.

Grundsätzlich können die Maßnahmen zur Immissionsminderung in Abhängigkeit der Einflussfaktoren auf die Transmission und Immission danach unterteilt werden, ob eine Verdünnung der Geruchsstoffkonzentration erfolgt, die Ablufführung bzw. Ableitbedingungen optimiert oder die Standortgegebenheiten verändert werden können (**Abbildung 32**). Die Maßnahmen bringen in der genannten Reihenfolge zunehmende Herausforderungen bei der Umsetzung bzw. Einschränkungen der Beeinflussungsmöglichkeiten mit sich.

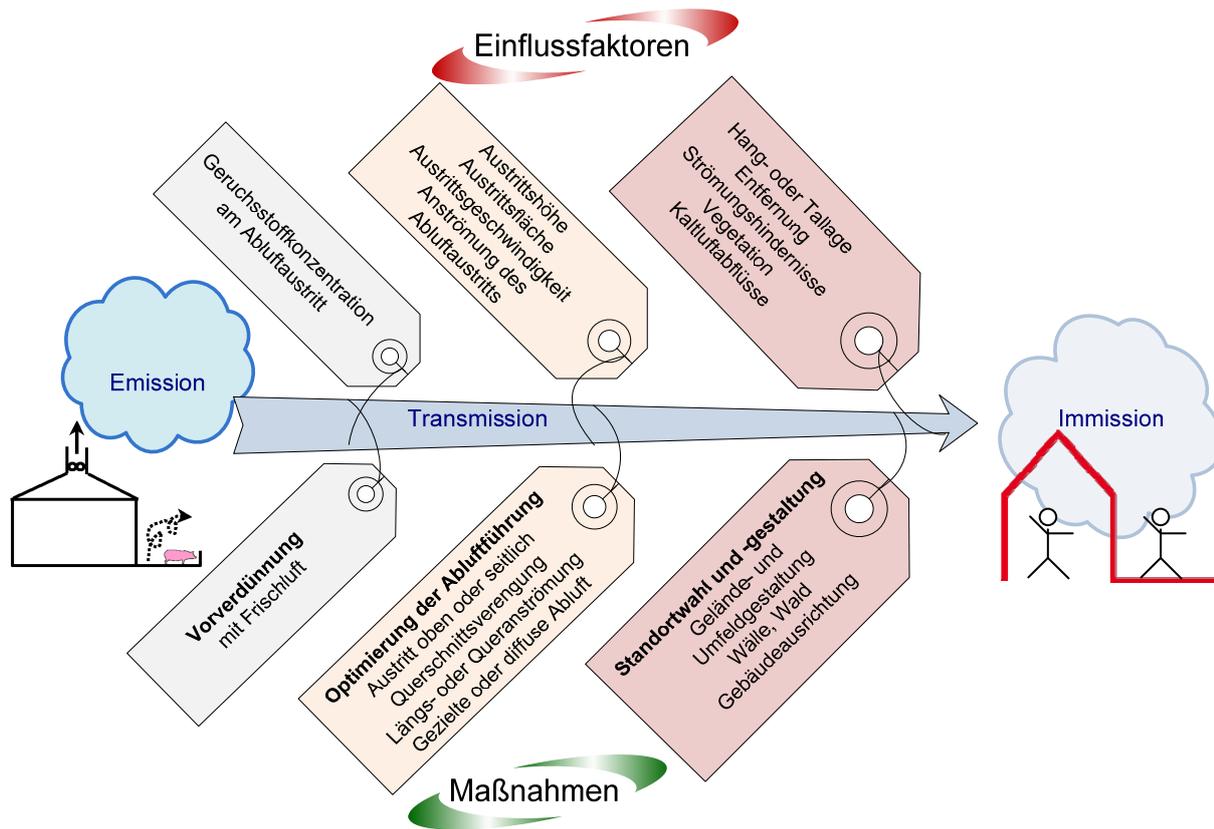


Abbildung 32: Maßnahmen zur Immissionsminderung in Abhängigkeit der Einflussfaktoren auf die Transmission und Immission

Die konzentrationsabhängige Wahrnehmbarkeit von Gerüchen auf der Immissionsseite ist bei sonst gleichen Bedingungen vermindert, je geringer die Ausgangskonzentration der Abluft beim Übertritt in die Atmosphäre ist. Die Abluftkonzentration kann durch Zumischung von Frischluft in den Abluftstrom verdünnt werden, was insbesondere für die Senkung der Immissionskonzentration im Nahbereich interessant sein kann. Dies wird durch Öffnungen im Abluftschacht erreicht. Durch die Sogwirkung des Abluftstromes (Injektorwirkung, Unterdruckeffekt) strömt Außenluft zu. Die Frischluft kann auch mit einem zusätzlichen Ventilator in den Abluftstrom gedrückt werden; dies ist aber mit einem zusätzlichen Energieaufwand und Geräuschpegel verbunden. Wichtig ist eine gute Vermischung und ausreichende Frischluftzufuhr auch bei geringen Abluftmengen. Die Erhöhung der Luftmasse bewirkt auch eine Beschleunigung der Austrittsgeschwindigkeit. Die Vorverdünnung ist insbesondere für die Senkung der Immissionskonzentration im Nahbereich interessant und kann vergleichsweise einfach und schnell realisiert werden (WÄCHTER & JANSSEN, 1977; KRAUSE & LINKE, 2003; KRAUSE & LINKE, 2004). Die Minderung der Konzentration hängt vom Luftmassenverhältnis ab und kann sich Abschätzungen zufolge etwa auf 20% bis 30% belaufen (KRAUSE & LINKE, 2004; MUßLICK et al., 2006).

Die Optimierung der Ableitbedingungen und möglicherweise Geländegestaltung verfolgt den Ansatz, die Geruchsstoffe so in die Atmosphäre abzuleiten, dass entweder der Nahbereich überströmt wird und im weiteren Verlauf die turbulente Vermischung für eine ausreichende Verdünnung sorgt, oder dass bereits im Nahbereich bodennah eine ausreichende Verdünnung erfolgt, indem gewollte Strömungshindernisse die notwendigen Turbulenzen induzieren. Der Einfluss von Windrichtung und Windgeschwindigkeit kann wiederum dazu führen, dass die gewünschten Ableitbedingungen unterstützt oder aber konterkariert werden. Weiterhin ist die Anströmung des Gebäudes oft durch Nachbargebäude behindert, was sich wiederum auf das Abströmverhalten auswirkt. „Höher–schneller–weiter“ darf also nicht als Patentrezept verstanden werden. Genauso wenig wie eine diffuse Geruchsstoffverteilung zwangsläufig zu „konfusen“ Ergebnissen führen muss.

Die bisherigen Erkenntnisse und Empfehlungen zur Optimierung der Ableitbedingungen, die vorwiegend in Windkanalversuchen und mittels numerischer Strömungssimulation gewonnen wurden, lassen sich wie folgt zusammenfassen (KRAUSE et al., 2000; KRAUSE & LINKE, 2002; GRIMM, 1997; MÜBLICK et al., 2006, KTBL, 2006c; WALLENFANG, 2002; BOEKER, 2003; BJERG et al., 2004; LIN et al., 2007; VDI 3474-E, 2001):

- Für eine freie An- und Abströmung der Außenluft sollten im Umkreis des Stalles in 3 bis 5-facher Gebäudehöhe keine weiteren Gebäude stehen. Eine Voraussetzung, die in der Praxis oft nicht erfüllt werden kann.
- Von der Nutzungsart der benachbarten Gebäude hängt es ab, ob eine Überströmung nötig ist oder ob auf der Hofstelle bewusst eine bodennahe Abströmung (z.B. Seitenwandlüfter mit Umlenkhaube vom Immissionsort abgewandt) genutzt wird, um weiter entfernte Gebäude zu schützen. Eine hohe Abluffahne kann im weiteren Umkreis bei unzureichender Verdünnung immer noch zu Belästigungen führen.
- Die Ablufferhöhung durch Verlängerung des Abluftschachtes und Erhöhung der Austrittsgeschwindigkeit (Impulserhöhung) muss absolut und in Relation zur Gebäudehöhe so groß bemessen sowie weit genug von Strömungshindernissen wie Bäumen oder Dachfirsten entfernt sein, dass der leeseitige Down-Wash-Effekt (vgl. Kapitel 4.2.3.3; **Abbildung 33**) nicht auftritt. Dieser bedingt, dass die Abluffahne schon unmittelbar hinter dem Stall in Bodennähe gedrückt und zum Teil rezirkuliert wird. Als Orientierung sollte die effektive Quellhöhe mindestens 10 m über Grund bzw. 3 m über dem Niveau von Hindernissen in 30 bis 50 m Entfernung liegen. Je höher die Windgeschwindigkeit ist, desto geringer ist jedoch die Überhöhung bzw. effektive Quellhöhe.

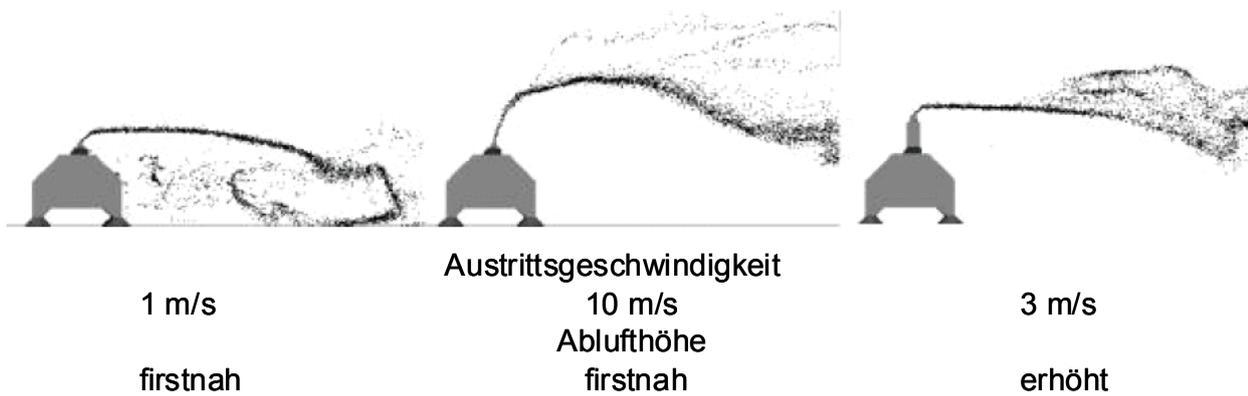


Abbildung 33: Simulation (NaSt3D) der Ausbreitung bei einer Anströmgeschwindigkeit von 1 m/s für unterschiedliche Ablufthöhen und Abluftgeschwindigkeiten (BOEKER, 2003)

- Durch Bündelung der Abluftströme in einer Zentralabsaugung kann der Emissionsschwerpunkt an das Stallende in etwas größerer Entfernung zum Immissionsort verschoben werden. Es können ganzjährig meist höhere Austrittsgeschwindigkeiten und Austrittshöhen realisiert werden.
- Mit einer optimierten Kombination aus der Anzahl von Abluftpunkten und der Regelstrategie der Ventilatoren für eine gegebene Sommer- und Winterluftfrate können die Öffnungsquerschnitte minimiert und die Austrittsgeschwindigkeiten maximiert werden; jedoch unter Umständen auf Kosten des Energieaufwandes. Die Lüftungsanlage muss für die auftretenden Gegendrücke ausgelegt sein, um einen ausreichenden Luftaustausch sicherzustellen.
- Bei einem Stall mit mehreren Abluftkaminen führt eine Längsanströmung eher zu einer Abluffahnenüberlagerung als eine Queranströmung (**Abbildung 34** und **Abbildung 35**). Das Ausbreitungsverhalten der Fahnen wird unter Umständen dadurch noch zusätzlich stabilisiert und die akkumulierten Konzentrationen weit transportiert. Gegebenfalls kann auch eine Staffelung der Emissionshöhen Abhilfe schaffen.
- Bei großen Anlagen mit mehreren Gebäuden spielt die einzelne Ablufführung und Austrittshöhe eine untergeordnete Rolle. Immissionsseitig wirken diese Anlagen durch die Überlagerung der Abluffahnen mit zunehmendem Abstand wie eine bodennahe Flächenquelle.
- Die Reichweite des Geruchsstofftransportes von Flächenquellen wie Mist- und Futterlagern sowie Auslauflächen oder Laufhöfen kann durch eine Umwandlung oder Abschirmung reduziert werden.

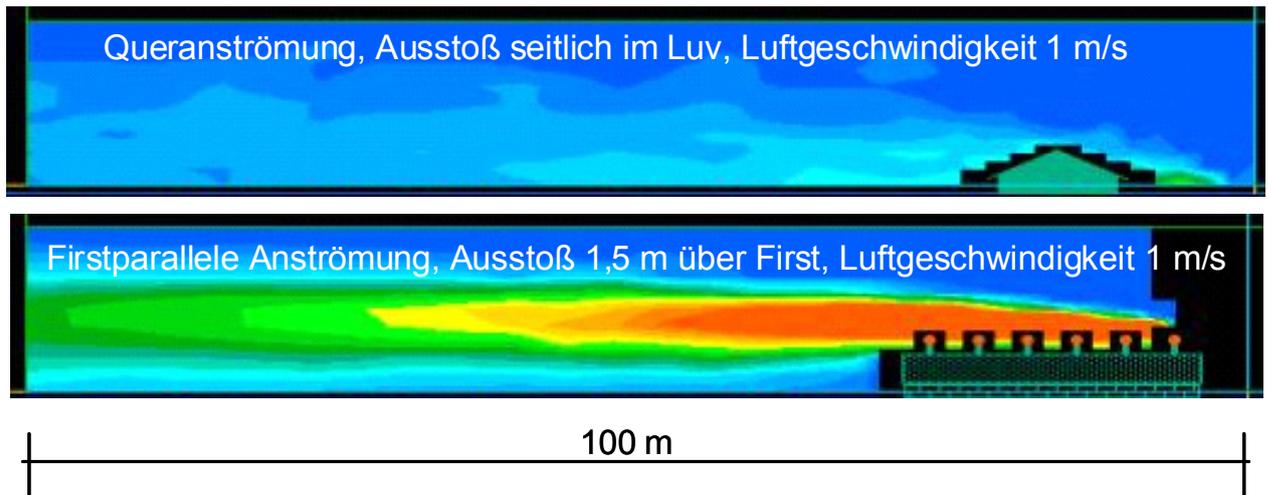


Abbildung 34: Visualisierung der Abluftausbreitung bei Queranströmung oder firstparalleler Anströmung von rechts (Laser-Lichtschnitt Aufnahme, Modellversuche im Windkanal) (bearbeitete Ausschnitte aus BREHME & KRAUSE, 2005)

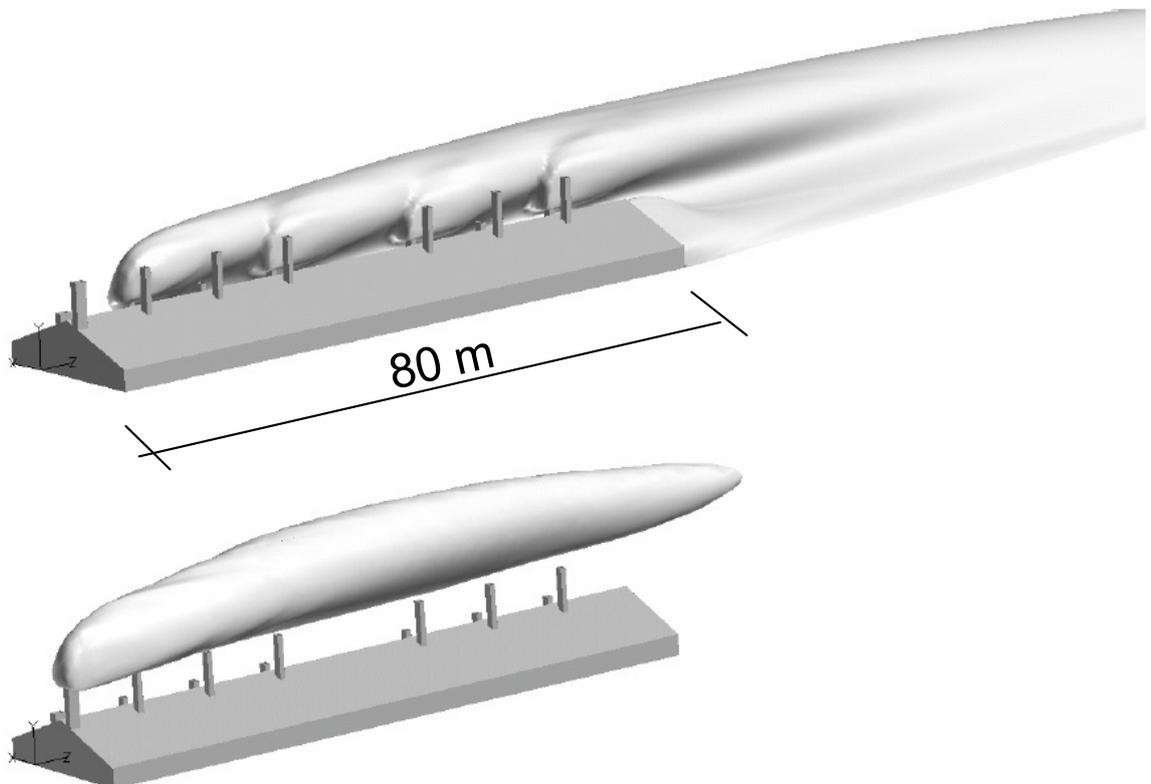


Abbildung 35: Strömungssimulation mit der Software Fluent 5 der Abluftwolken aus vier normalen Abluftkaminen im Vergleich zum Abluftaustritt mit doppelter Geschwindigkeit aus einem doppelt so breiten und um 4 m erhöhten Abluftkamin. Die Abluftwolke zeigt das Volumen, bei dem die Abluftkonzentration weniger als 100-fach verdünnt ist. Windgeschwindigkeit 5 m/s in 10 m Höhe (BJERG et al., 2004).

- Ställe mit freier Lüftung sollten frei angeströmt werden können. Die Zu- und Abluftflächen müssen für eine optimale Winddurchströmung genügend groß dimensioniert sein und für die thermische Auftriebsströmung eine ausreichende vertikale Höhendifferenz aufweisen. Die (teil-)offenen Seitenwände sollten möglichst quer zur Anströmung ausgerichtet sein. Bei firstparalleler Anströmung kann die geringere Durchlüftung durch Öffnung der Giebelseiten unterstützt werden. Sind die Voraussetzungen für eine hohe Durchströmung erfüllt, sind die Geruchsstoffkonzentrationen der Stallluft bereits gering und treten auf einer großen Fläche bodennah aus, wo sie bereits in Stallnähe weiter verdünnt werden (**Abbildung 36**).

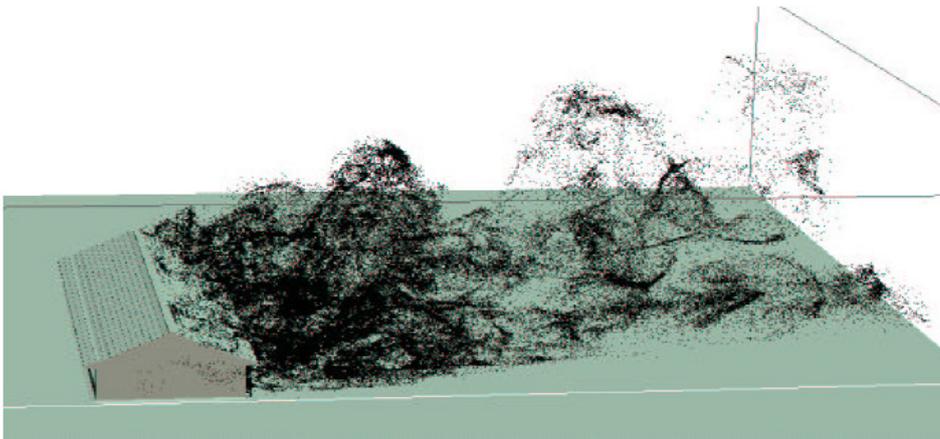


Abbildung 36: Simulation (NaSt3D) des Ausbreitungsverhaltens eines frei angeströmten Offenstalles (WALLENFANG, 2002)

- Durchlässige Hindernisse wie Bepflanzungsstrukturen bremsen die Strömung ab und führen zu einer nennenswerten Verdünnung der Immissionskonzentration (**Abbildung 37**). Feste Strömungshindernisse hingegen bewirken keine relevanten Konzentrationsveränderungen. Eine spürbare Aufweitung der Abluffahnen zeigte sich z.B. erst bei Wallhöhen, die die Stallhöhe merklich überschritten.

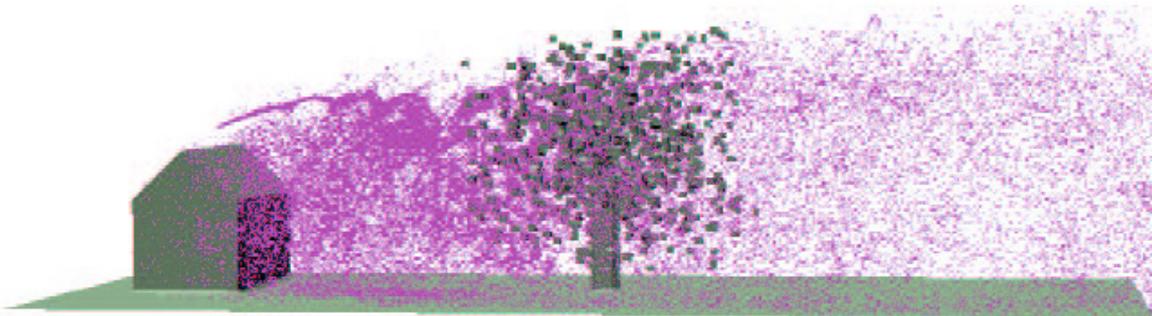


Abbildung 37: Simulation (NaSt3D) des Ausbreitungsverhaltens mit einem Baum als durchlässiges Strömungshindernis (WALLENFANG, 2002)

Die Standortbedingungen können kaum beeinflusst werden. Hier ist das Mittel der Wahl im Zweifelsfall möglichst auf einen günstigeren Standort auszuweichen oder zumindest die größtmögliche Entfernung zwischen Quelle und Immissionsort zu wählen. Insbesondere die Problematik der nächtlichen Kaltluftabflüsse ist zu beachten. Hier könnte versucht werden, während der kritischen Stunden die Abluft oberhalb der Mächtigkeit des Kaltluftstromes zu emittieren oder Bepflanzungen als Hindernisse und „Biofilter“ zu nutzen.

Schließlich ist zu beachten, dass im Rahmen von Ausbreitungsrechnungen mit der Anwendung AUSTAL2000 als TA Luft Modell zur Prognose der Immissionssituation noch nicht alle oben genannten Minderungsmaßnahmen direkt und sachgerecht modelliert werden können (SOWA, 2003, KRAUSE & MUNACK, 2010).

4.2.6 Ergebnisse eigener Untersuchungen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Wissenschaftliche Untersuchungen zur GIRL-Anwendung unter den speziellen Bedingungen der Baden-Württembergischen Schweineproduktion (GALLMANN et al., 2005) wurden an vier Projektstandorten zur Erfassung der Belastung durch Gerüche aus der Tierhaltung sowohl Emissionsmessungen, Windmessungen, Rasterbegehungen als auch Ausbreitungsrechnungen durchgeführt. Im Folgenden wird auf ausgewählte Ergebnisse näher eingegangen. Weitere Ergebnisse und Begleitinformationen sind dem Anhang zu entnehmen.

Tabelle 7 fasst in einer Kurzübersicht die wesentlichen Gegebenheiten an den vier Projektstandorten zusammen. Im **Anhang A1** sind ergänzend der jeweilige Katasterkartenausschnitt des Standortes mit Kennzeichnung der Lage von Tierhaltungen, des Untersuchungsbetriebes und der Windmessung enthalten.

Die Regionen Hohenlohe und Ostalb gelten als typische Veredelungsregionen in Baden-Württemberg mit jeweils noch über 1000 schweinehaltenden Betrieben. Die Region Enzkreis mit nur um die 100 Betrieben mit Schweinehaltung ist durch einen starken Rückgang der Landwirtschaft bzw. einer Ausweitung städtischer Strukturen sowie Industrie und Gewerbe geprägt. Ursprünglich wurde zwar nach Standorten ohne Gemengelage von verschiedenen Tierarten und Betrieben gesucht, dies ließ sich aber nicht realisieren. Die Entfernung zur Wohnbebauung durfte nicht zu groß sein (< 300 m), wobei diese aber auch genügend Haushalte (> 200) ohne aktuelle Konflikte mit der Landwirtschaft, aber durchaus mit nennenswerter Geruchsbelastung für die anschließenden Belästigungsbefragungen aufweisen sollte. Von 30 potentiellen Standorten erfüllten die vier ausgewählten Projektstandorte letztlich die Kriterien am ehesten und deckten die gewünschte große Bandbreite der Tierhaltungsstrukturen, der Wohnstrukturen und Wohngebietsprägung ab.

An allen Projektstandorten dominierte die Geruchsart „Schwein“ unter den Tierhaltungsgerüchen. Die Störeinflüsse aus anderen Quellen waren gering und die Abgrenzbarkeit zu sonstigen Gerüchen war gegeben.

Tabelle 7: Kurzbeschreibung der Gegebenheiten in den Ortschaften und an den ausgewählten Untersuchungsbetrieben der vier Projektstandorte im "GIRL-Projekt BW"

Projektstandort	Nr. 1 Hohenlohe	Nr. 2 Hohenlohe	Nr. 3 Ostalb	Nr. 4 Enzkreis
Anzahl tierhaltende Betriebe ca.	12	9	8	2
Anzahl Stallgebäude ca.	10	9	35	2
Anzahl Tiere im Ort ca.	420 Sauen z.T. mit Ferkelaufzucht 1100 Mastschweine 18000 Puten 40 Rinder 75 Schafe 10 Pferde	440 Sauen z.T. mit Ferkelaufzucht 320 Mastschweine 20 Rinder 6 Pferde	700 Sauen z.T. mit Ferkelaufzucht 900 Ferkel 300 Mastschweine 180 Rinder	500 Mastschweine 100 Rinder
Anzahl Einwohner ca. Gesamt: Beurteilungsgebiet:	1000 400	2500 400	600 400	8500 400
Tierbestand des ausgewählten Untersuchungsbetriebes für Emissionsmessungen ca.	140 Sauen & Ferkelaufzucht	120 Sauen & Ferkelaufzucht	200 Sauen & Ferkelaufzucht	500 Mastschweine
Haltungssystem	konventionell Flüssigmist Zwangslüftung	konventionell Flüssigmist Festmist Zwangslüftung	konventionell Flüssigmist Zwangslüftung	Vormast: Kistenstall Fest- und Flüssigmist Endmast: konventionell Flüssigmist Zwangslüftung
Lage zur Wohnbebauung	im Ort nord-westlicher Rand	im Ort Zentrum	im Ort nord-westlicher Rand	etwa 150 m Abstand süd-westlich

Quellen: Ämter für Landwirtschaft, Angaben der Landwirte, eigene Erhebungen, Landratsämter

4.2.6.1 Emissionsmessungen

Im Rahmen des Projektes wurden als mögliche Eingabegrößen für die Ausbreitungsrechnungen an je einem ausgewählten Untersuchungsbetrieb (Tabelle 7, Anhang A1) an jedem Projektstandort stichprobenartig Geruchsemissionsmessungen durchgeführt. Dabei galt es zu prüfen, inwieweit die Geruchsemissionsstichproben von typischen Baden-Württembergischen Betrieben mit Schweinehaltung mit Literaturwerten übereinstimmen, die üblicherweise als Quellstärken in Ausbreitungsrechnungen verwendet werden. Schließlich sollten die Messungen Anhaltspunkte für die Schwankungsbreite von Geruchsemissionswerten innerhalb eines Betriebes als auch zwischen verschiedenen Betrieben sowie zu verschiedenen Zeitpunkten bieten.

Um eine vollständige Emissionserfassung an den jeweiligen Untersuchungsbetrieben zu erreichen, ist die Beprobung möglichst aller Abluftöffnungen bzw. Stallteile anzustreben. **Anhang A2** stellt die Aufteilung der Betriebe in verschiedene Stallteile, die dazugehörigen Abluftöffnungen, die jeweilige Ventilatoreinstellung, die Stallbelegung und die Messergebnisse im Einzelnen dar.

Die Emissionsmessungen wurden zu fünf Zeitpunkten über ein Jahr verteilt durchgeführt, um Messwerte von verschiedenen, zu erwartenden saisonal abhängigen Betriebszuständen der Stallanlagen zu erhalten. Die ausgewählten Untersuchungsbetriebe wurden entsprechend in der Regel an je einem Tag innerhalb eines zweiwöchigen Zeitraumes Ende Januar/Anfang Februar, Mitte/Ende März, Ende Mai/Anfang Juni, Ende Juli sowie Anfang Oktober beprobt. Die Probenahme auf den Betrieben fand in dem Zeitfenster von 10:00 bis 13:00 statt (Anhang A2), die olfaktometrische Geruchskonzentrationsbestimmung wurde jeweils am selben Tag zwischen 17:00 und 19:00 durchgeführt. Der Untersuchungsbetrieb am Projektstandort Nr. 2 wurde auf Grund der Vielzahl von Abluftöffnungen (Proben) an zwei Tagen beprobt, um die olfaktometrische Geruchskonzentrationsbestimmung der Proben am selben Tag gewährleisten zu können. Die Geruchskonzentrationsbestimmung erfolgte im eigenen Geruchslabor mit einem Olfaktometer ECOMA Typ TO7 (Messungen 1 und 2) bzw. am Nachfolgegerät Typ TO8 (Messungen 3 bis 5). Als Probanden wurden jeweils vier Personen aus dem mit Prüfgasen nach DIN-EN 13725 (2003) getesteten aktuellen Probandenpool für die laufenden Rasterbegehungen eingesetzt. Die Zusammensetzung des Probandenteams variierte dabei zufällig in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit der Probanden. Es fanden sich keine Anhaltspunkte für systematische Einflüsse sowohl des Olfaktometertyps als auch des Probandenteams auf die Ergebnisse.

Zur Bestimmung des Abluftvolumenstromes an der jeweiligen Abluftöffnung war ursprünglich der Einbau von Messventilatoren vorgesehen. Die Gegebenheiten an den jeweiligen Untersuchungsbetrieben ließen dies jedoch auf Grund der Lage, Zugäng-

lichkeit und Vielzahl von Abluftöffnungen nicht zu. Deshalb wurde auf die Methode des Abgreifens des jeweiligen Strömungsprofils mit Hilfe eines Geschwindigkeitssensors (Hitzdrahtanemometer TSI VelociCalc) zurückgegriffen. Der Kanalquerschnitt wird nach der log-Tchebycheff-Methode traversiert, so dass an bis zu zwölf Messpunkten über den Kanalquerschnitt verteilt die Strömungsgeschwindigkeit erfasst wird. Der Volumenstrom errechnet sich aus der mittleren Strömungsgeschwindigkeit und der Kanalfläche.

Die Eignung des ausgewählten Messgerätes sowie der Messdurchführung wurde in Voruntersuchungen an einem Ventilatorprüfstand (saugseitiger Kammerprüfstand nach DIN 24163) des Institutes für Agrartechnik der Universität Hohenheim überprüft. Hierzu wurde die Volumenstromerfassung des Messgerätes TSI VelociCalc mit dem jeweils eingestellten Volumenstrom am Ventilatorprüfstand als Referenz verglichen. Die Vergleichsmessungen wurden an typischen Kanalquerschnitten von Abluftkaminen im landwirtschaftlichen Bereich über die Volumenstrombereiche von etwa 500 bis 8000 m³/h durchgeführt. **Abbildung 38** zeigt die Ergebnisse von vier unabhängigen (unterschiedliche Personen und Messtage) Vergleichsmessungen mit dem Messgerät TSI VelociCalc am Ventilatorprüfstand bei jeweils sechs Messpunkten pro Traverse.

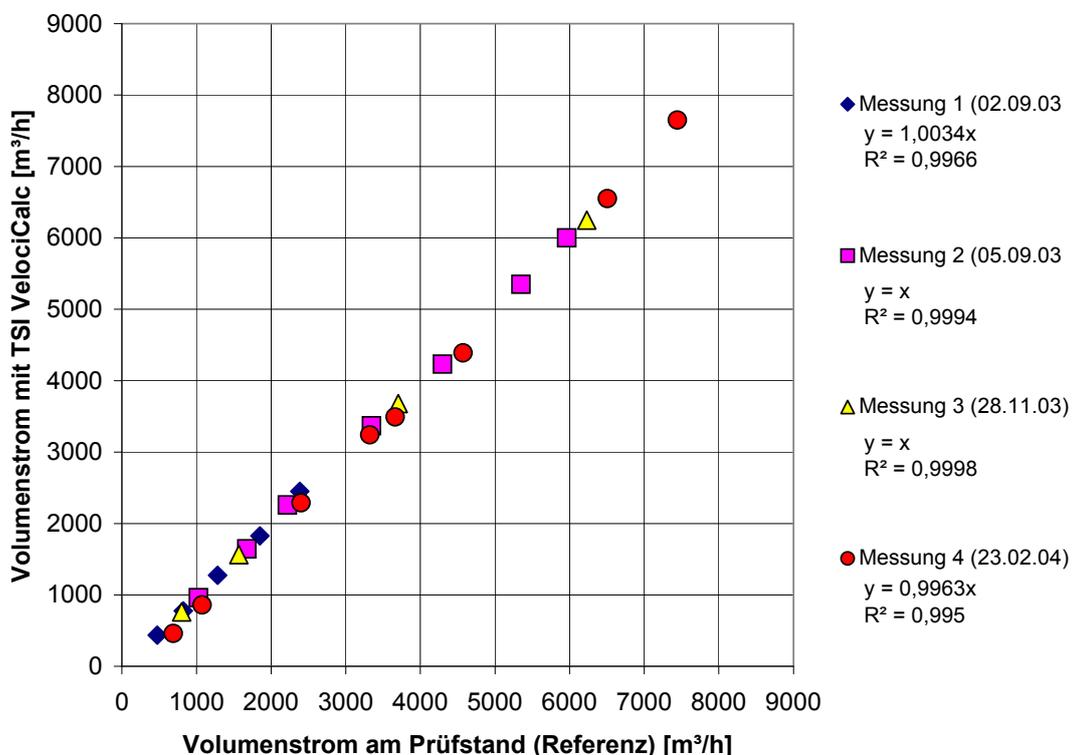


Abbildung 38: Vergleichsmessungen zur Volumenstrombestimmung. Referenz: Ventilatorprüfstand (saugseitiger Kammerprüfstand nach DIN 24163). Vergleich mit der Erfassung des Strömungsprofils mit dem Messgerät TSI VelociCalc (Traversierung des Kanalquerschnittes an sechs Messpunkten nach der log-Tchebycheff-Methode)

Es zeigen sich keine bedeutsamen Unterschiede sowohl hinsichtlich der Linearität als auch Steigung im Zusammenhang zwischen dem jeweils ermittelten Volumenstrom am Prüfstand (Referenz) und der Messung mit dem Messgerät TSI VelociCalc. Die durchschnittliche Abweichung vom Prüfstandswert lag bei der Traversierung des Kanalquerschnittes bereits ab nur sechs Messpunkten unterhalb von 10%. Die größten Abweichungen ergaben sich bei sehr geringen Volumenströmen und somit Strömungsgeschwindigkeiten, mit denen in der landwirtschaftlichen Praxis an den Untersuchungsbetrieben selten zu rechnen ist.

Nach Abschluss der Emissionsmessungen wurde die Funktion des Luftgeschwindigkeitssensors TSI VelociCalc im Oktober 2004 erneut an einem weiteren Referenzprüfstand (TSI[®]-Model 8390-Bench-top Wind Tunnel) zur Einstellung von definierten Strömungsgeschwindigkeiten überprüft. Für die Vergleichsmessung wurden abgestuft Luftgeschwindigkeiten in einem Bereich von etwa 1 m/s bis 8 m/s erzeugt. **Abbildung 39** zeigt die hohe Übereinstimmung der Messgerätsanzeige mit den Referenzwerten. Demzufolge konnte mit dem gewählten Messgerät und der Vorgehensweise eine hinreichende Genauigkeit der Volumenstrombestimmung im Rahmen der Emissionsmessungen erreicht werden.

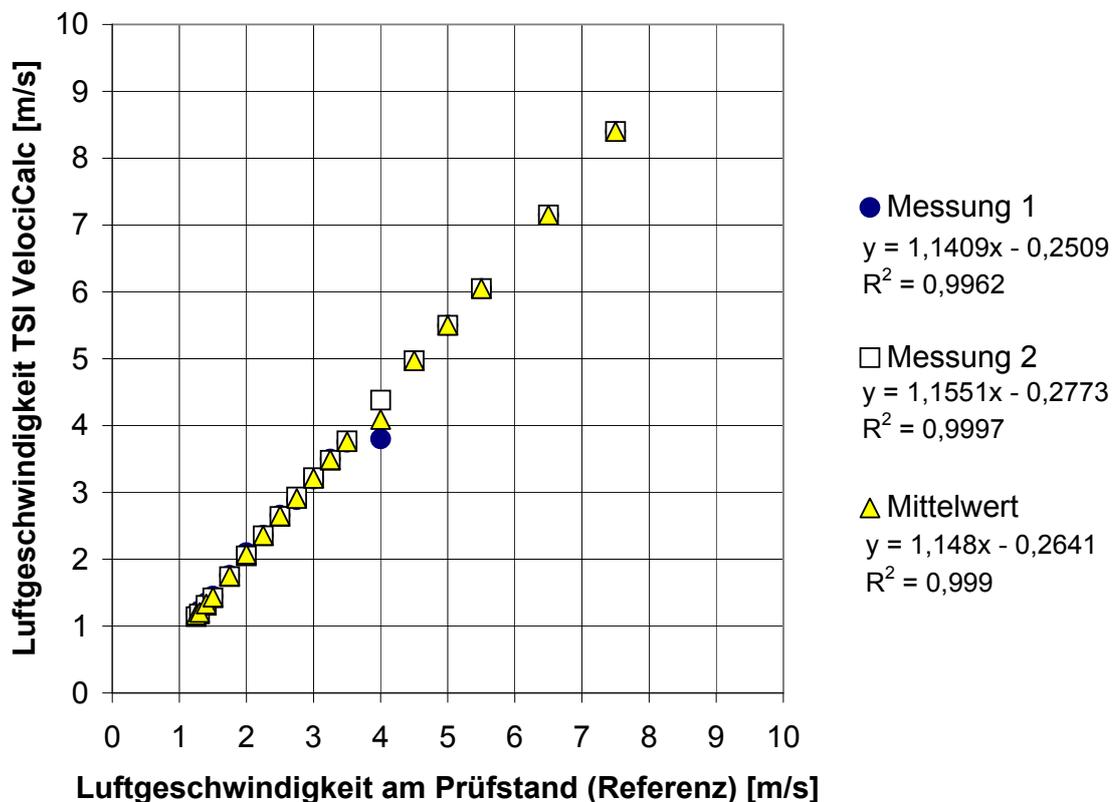


Abbildung 39: Vergleichsmessung des Luftgeschwindigkeitssensors TSI VelociCalc mit definierten Strömungsgeschwindigkeiten am Referenzprüfstand (TSI[®]-Model 8390-Bench-top Wind Tunnel)

Die Emissionsmessungen wurden als kurzzeitige Stichprobenmessungen (Momentaufnahmen) durchgeführt, das heißt, es erfolgte keine Mittelung über einen längeren Messzeitraum. Das Messverfahren zur Volumenstrombestimmung sowie der Probennehmer zur Absaugung der Geruchsproben sind nicht für längere Messzeiträume geeignet. Die Traversierung des Kanalquerschnittes zur Volumenstrombestimmung benötigt etwa drei Minuten, die direkt anschließende Entnahme der Geruchsprobe in Nalophanbeuteln war bereits nach 30 Sekunden abgeschlossen.

Die Geruchsemission wurde jeweils auf die aktuelle Tierbelegung am Messtag bezogen. Für die Berechnung des Geruchsemissionsfaktors wurde der GV-Besatz des Stalles aufgeteilt auf die Abluftöffnungen mit laufenden Ventilatoren, da in dieser Situation nur diese zur Aufgabe haben, den gesamten Stall mit der entsprechenden Tierbelegung zu entlüften. **Abbildung 40** zeigt im Überblick die mittleren Geruchsemissionsfaktoren und die jeweilige Streuung für alle Messungen kategorisiert nach Sauenhaltung, Ferkelaufzucht und Mastschweinehaltung. Die Ergebnisse im Einzelnen sind dem Anhang A2 zu entnehmen.

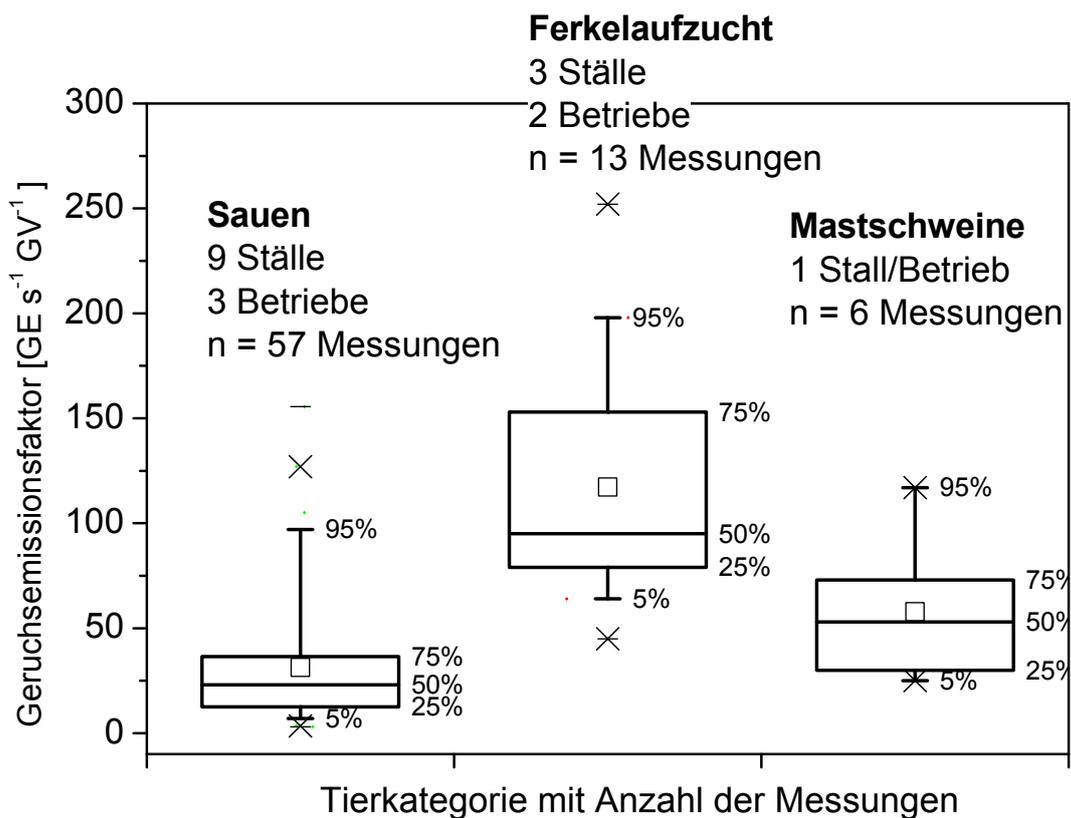


Abbildung 40: Geruchsemissionsfaktoren für die Sauenhaltung, Ferkelaufzucht und Mastschweinehaltung, die anhand der mehrmaligen Stichprobenmessungen an den vier ausgewählten Untersuchungsbetrieben mit verschiedenen Stallteilen ermittelt wurden. (Mittelwert: quadratisches Symbol)

Die Stichprobenmessungen ergeben für die Sauenhaltung einen geringen mittleren Geruchsemissionsfaktor von $31 \text{ GE s}^{-1} \text{ GV}^{-1}$, gefolgt von der Mastschweinehaltung mit im Mittel $58 \text{ GE s}^{-1} \text{ GV}^{-1}$ und der Ferkelaufzucht mit einem deutlich höheren Mittelwert von $117 \text{ GE s}^{-1} \text{ GV}^{-1}$. Dabei ist die Streuung der Werte um das mindestens zweifache des Mittelwertes zu beachten, die sich aus der Streuung der Werte sowohl innerhalb eines Betriebes zwischen den einzelnen Messungen als auch der Streuung zwischen den Betrieben ergibt (Anhang A2). Dies liegt darin begründet, dass zum einen die Betriebszustände von Stallanlagen deutlichen Schwankungen sowohl im Tagesverlauf als auch im Jahresverlauf unterliegen, und zum anderen die bauliche, haltungs- und lüftungstechnische Ausführung sowie das Stallmanagement stark variieren kann. Im Vergleich mit der sehr großen Spannweite der Literaturwerte (Abbildung 19), sind die eigenen Stichprobenergebnisse im unteren Bereich angesiedelt. Die Mediane liegen interessanterweise nah bei den in VDI 3894-1E (2009) vorgeschlagenen Konventionswerten für Geruchsemissionsfaktoren.

Die begrenzte Datenbasis erlaubte keinen Nachweis von saisonalen Einflüssen bzw. klaren Abhängigkeiten vom Betriebszustand der Stallanlage. Nur in der Tendenz und bei hoher Streuung zeichnet sich mit zunehmendem Volumenstrom pro Großvieheinheit eine Zunahme der Geruchsemission ab. Eine entsprechende Abnahme der Konzentrationen ist nicht eindeutig zu erkennen, wie in **Abbildung 41** für einen Stall sowie in **Abbildung 42** über alle Werte dargestellt ist.

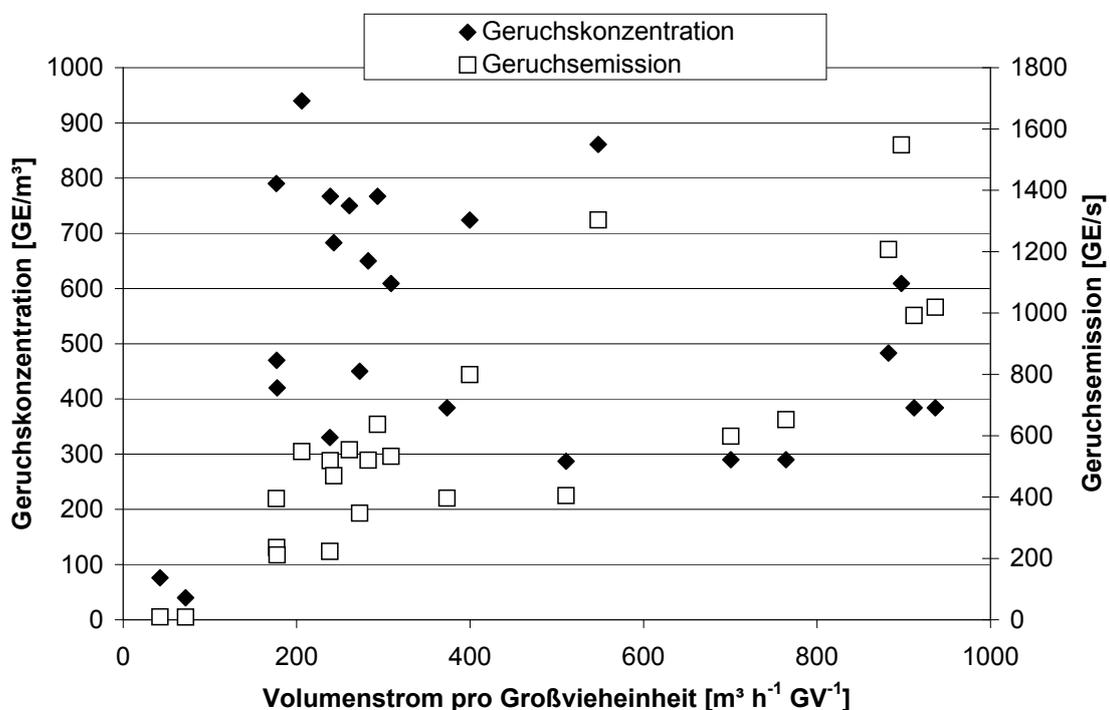


Abbildung 41: Geruchskonzentration und Geruchsemission in Abhängigkeit vom Volumenstrom am Mastschweinegestall mit vier Abluftöffnungen am Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis)

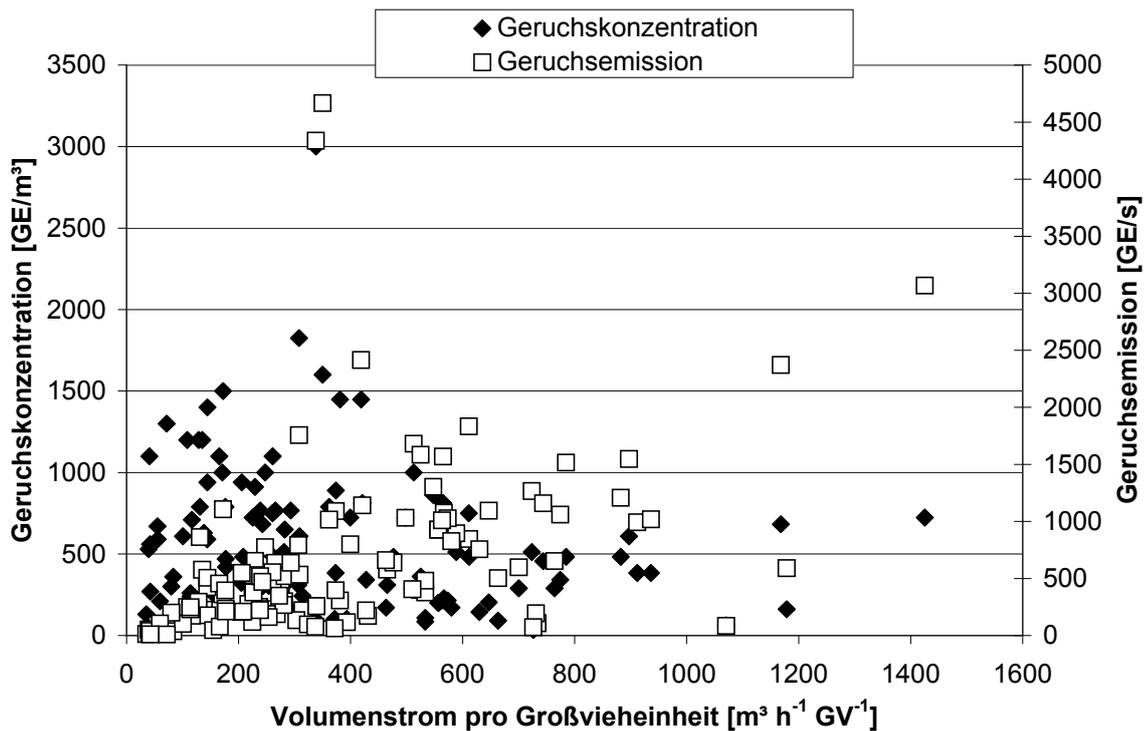


Abbildung 42: Geruchskonzentration und Geruchsemission in Abhängigkeit vom Volumenstrom anhand aller Messungen an vier unterschiedlichen Betrieben mit Sauenhaltung, Ferkelaufzucht und Mastschweinehaltung

4.2.6.2 Windmessungen

An allen Projektstandorten wurden kontinuierliche Windmessungen zur Darstellung der lokalen Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung über mindestens ein Jahr durchgeführt. Diese kann mit Einschränkungen zum einen als Hilfsmittel zur möglichen Zuordnung von Geruchseindrücken zu potentiellen Emittenten im Verlauf der Rasterbegehung dienen. Zum anderen wird die standortspezifische Windstatistik für die Durchführung der Ausbreitungsrechnungen benötigt.

Die verschiedenen Messwertgeber erfüllen die Anforderungen der VDI 3786, Blatt 2 hinsichtlich Messbereich, Ansprechschwelle und Auflösung; die Durchführung der Windmessung in meist 10 m Höhe orientiert sich ebenso an den Regelungen in der VDI 3786, Blatt 2. Der Messpunkt am Projektstandort Nr.2 (Hohenlohe) wurde bewusst in der Ortslage in die Nähe des Untersuchungsbetriebes gelegt.

Tabelle 8 gibt eine Übersicht zu den Windmessstationen an den vier Projektstandorten. An den Windmessstationen traten teils deutliche Datenausfälle auf, die durch Sturmschäden, Probleme bei der Spannungsversorgung und Datenübermittlung bedingt waren. Die Daten der Windmessstation am Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis) wurde dem Projekt aus dem Luftmessnetz Baden-Württemberg zur Verfügung gestellt, weshalb dort nur eine Mittelwertbildung über 30 Minuten erfolgte.

Die mittleren Windgeschwindigkeiten waren an den Projektstandorten Nr. 1, Nr. 3 und Nr. 4 mit über 2 m/s vergleichsweise hoch, aber nicht untypisch für diese Regionen auf dem freien Feld. An Standort Nr. 2 waren die messbaren Windgeschwindigkeiten innerhalb der Bebauung geringer. Die einzelnen Windgeschwindigkeitsverteilungen und mittleren Tagesverläufe der Windgeschwindigkeiten zeigt Anhang A3.

Tabelle 8: Übersicht der Windmessstationen an den vier Projektstandorten

Projektstandort	Nr. 1 Hohenlohe	Nr. 2 Hohenlohe	Nr. 3 Ostalb	Nr. 4 Enzkreis
Inbetriebnahme	23.06.2003	15.08.2003	19.08.2003	02.10.2003
Laufzeit bis	Dez. 04	29.10.2004	29.10.2004	Dez. 04
Betreuung und Datenauslesung	LFU	Uni Hohenheim	Uni Hohenheim	UMEG
Windsensor	USAT Ultraschall- anemometer	Propeller- anemometer	Propeller- anemometer	Schalenkreuz- anemometer und Windfahne
Messgrößen	Windrichtung, horizontale und vertikale Wind- geschwindigkeit	Windrichtung, horizontale Wind- geschwindigkeit	Windrichtung, horizontale Wind- geschwindigkeit	Windrichtung, horizontale Wind- geschwindigkeit
Messhöhe	10 m	10 m	8 m	10 m
Lage	Frei Nähe Untersu- chungsbetrieb	Ortslage Nähe Untersu- chungsbetrieb	Frei Nähe Untersu- chungsbetrieb	Frei Nähe Untersu- chungsbetrieb
Abtastrate	0,1 s	5 s	5 s	10 s
Mittelwertbildung	alle 10 Minuten	alle 10 Minuten	alle 10 Minuten	alle 30 Minuten
Verwendete Da- ten	bis 23.06.04	bis 29.10.2004	bis 29.10.2004	bis 26.10.2004
Anzahl potentieller bzw. nutzbarer Datensätze	52690 bzw. 39782	63500 bzw. 54367	62954 bzw. 46178	18740 bzw. 18567
Datenausfall	24%	14%	27%	1%
Mittlere horizontale Windgeschwindigkeit	2,0 m/s	1,3 m/s	2,7 m/s	2,2 m/s

Anhand der zur Verfügung stehenden Messdaten (Tabelle 8) der Windmessstationen wird in der nachfolgenden **Abbildung 43** die Häufigkeitsverteilung der Windrichtung im jeweiligen Messzeitraum an den vier Projektstandorten aufgezeigt. Zum Vergleich wird auch die jeweilige synthetische Windrose dargestellt, die für Baden-Württemberg im 500 m Raster online über „WS-Expert“ (RAU & BIGALKE, 2007) als Hilfsmittel abrufbar ist (vgl. Kapitel 4.2.3.5).

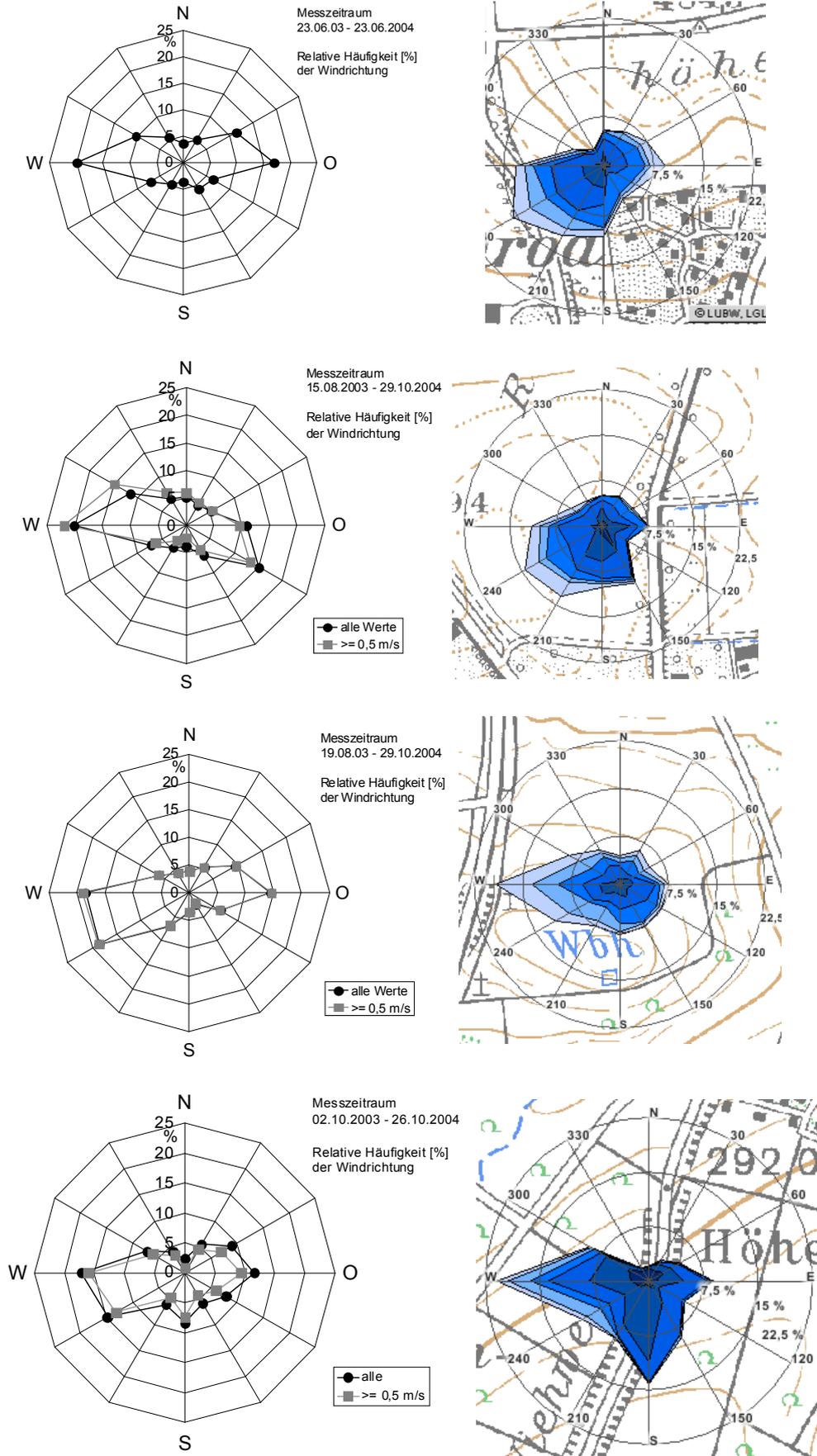


Abbildung 43: Vergleich der gemessenen Windrichtungsverteilung mit synthetischen Windrosen (WS Expert) an den vier Projektstandorten 1 bis 4 (von oben nach unten)

Die gemessenen Windrichtungsverteilungen und die synthetischen Windrosen weichen zum Teil voneinander ab. Die eigenen Messungen bilden nur einen begrenzten Zeitausschnitt ab. Die Aussagekraft der synthetischen Windrosen wiederum unterliegt methodischen Einschränkungen (vgl. Kapitel 4.2.3.5). Es wird deutlich, dass bei der Erstellung und Weiterverwendung von Windstatistiken größte Sorgfalt geboten ist. Für die anschließenden Ausbreitungsrechnungen (Kapitel 4.2.6.4) konnten bis auf Projektstandort Nr. 2 die eigenen Messdaten verwendet werden. Da der Messmast an Projektstandort Nr. 2 in Ortslage nicht völlig frei angeströmt war, wurde hier für die Erstellung der Ausbreitungsklassendatei auf die synthetische Windrose zurückgegriffen, obwohl diese an sich nicht für diesen Zweck konzipiert sind (vgl. Kapitel 4.2.3.5).

4.2.6.3 Rasterbegehungen

An allen vier Projektstandorten wurden mit etwas Zeitversatz von 2003 bis 2004 Rasterbegehungen (einjährig, mindestens 104 Begehungen) durchgeführt. Während der Rasterbegehungen wurden so gut wie möglich die inzwischen auch in der VDI 3940-1 (2006) beschriebenen Vorgaben zur Probandenauswahl, Einweisung und Kontrolle, Messplanung und Durchführung umgesetzt. **Tabelle 9** gibt eine Kurzübersicht zu den Rahmenparametern der Rasterbegehungen.

Tabelle 9: Kurzübersicht der Rasterbegehungen an vier Standorten

Projektstandort	Nr. 1 Hohenlohe	Nr. 2 Hohenlohe	Nr. 3 Ostalb	Nr. 4 Enzkreis
Messzeitraum	26.05.2003 – 13.09.2004	27.05.2003 – 14.09.2004	08.08.2003 – 25.10.2004	09.08.2003 – 26.10.2004
Messzeitraum Tage	476	476	444	444
Anzahl Messungen	117	117	108	106
Begehungen pro Wo- che	1,7	1,7	1,7	1,7
Anzahl Probanden (davon mit mehr als 10 Begehungen)	14 (5)	16 (4)	13 (4)	13 (4)
Anzahl Begehungen pro Wochentag	15 bis 18	15 bis 18	13 bis 18	13 bis 16
Anzahl Begehungen in 2 h Fenstern (24 h)	8 bis 13	6 bis 14	7 bis 13	6 bis 11
Anzahl Begehungen pro Rastereckpunkt	28 bis 30	29 bis 30	26 bis 28	25 bis 28
Anzahl Begehungen pro Wintermonat pro Sommermonat	5 bis 9 10 bis 15	5 bis 9 10 bis 16	8 bis 15 7 bis 15	7 bis 13 8 bis 14

Messplanung

Für die Messungen waren bis zu 16 Probanden, im Wesentlichen Studierende der Universität Hohenheim aus unterschiedlichen Fachrichtungen, im Einsatz. Davon standen sieben Probanden den gesamten Messzeitraum zur Verfügung, neun Probanden waren drei bis sechs Monate an den Begehungen beteiligt. Entsprechend wurden von den „Langzeitprobanden“ mehr Begehungen durchgeführt. Die Überprüfung der probandenspezifischen Geruchsempfindlichkeit als Eignungstest erfolgte olfaktometrisch im Geruchslabor des Institutes für Agrartechnik anhand der Prüfgase H₂S und n-Butanol. Weitere Auswahlkriterien waren eine hohe Zuverlässigkeit, Selbstständigkeit und Verantwortungsbewusstsein. Im Rahmen von Probandeneinweisungen vor Ort wurden die Probanden mit dem Messverfahren, den örtlichen Gegebenheiten und den verschiedenen Geruchsarten vertraut gemacht. Die Gestaltung der Probandeneinweisungen wurde zweimal vom Landesumweltamt NRW übernommen, um eine möglichst einheitliche Vorgehensweise bei der Datenerfassung an allen Projektstandorten auch in den anderen Bundesländern im Verbundprojekt zu gewährleisten. Es wurden zum einen direkte Kontrollen der Probanden vor Ort durchgeführt, zum anderen bestand eine gewisse indirekte Kontrolle über das Führen des Fahrtenbuches des Projektautos, die notwendigen wöchentlichen Akku-Wechsel an den Wetterstationen, Beobachtungen der beteiligten Landwirte sowie Geschwindigkeitskontrollen der Verkehrsbehörden.

Die Gleichverteilung der Messhäufigkeit bezogen auf Probanden, Wochentage, Zeitfenster und Jahreszeiten, wie sie in der Messplanung angestrebt wurde, konnte in der Realität nicht zur vollsten Zufriedenheit erreicht werden. Aufgrund des Messzeitraumes von über einem Jahr fanden an den Projektstandorten Nr. 1 und Nr. 2 in den Monaten Juni bis August sowie an den Projektstandorten Nr. 3 und Nr. 4 in den Monaten August bis September etwa doppelt so viele Begehungen statt wie in den anderen Monaten. Aus dem Messverlauf lässt sich aber ableiten, dass die reale Verteilung der Messungen ausreichend war für eine Erhebung der charakteristischen Geruchsbelastung an den Projektstandorten. Bereits nach der Hälfte der Messungen zeigte sich ein klares Bild der Höhe und Verteilung der Geruchshäufigkeiten.

Als Ausgangspunkt für die Rasterplanung diente der am jeweiligen Projektstandort ausgewählte Untersuchungsbetrieb mit Schweinehaltung. Das Beurteilungsgebiet entspricht der Summe (dem Raster) der je nach Projektstandort festgelegten 23 bis 26 Beurteilungsflächen. Die theoretisch quadratischen Beurteilungsflächen weisen in der Regel einen Abstand der Eckpunkte von 100 m auf. Die vergleichsweise kleine Auflösung der Beurteilungsflächen wurde gewählt, um die erwartete kleinräumliche und inhomogene Verteilung der Geruchsbelastung differenziert erfassen zu können.

Dies geht jedoch teilweise zu Lasten der weiteren gewünschten Bedingung, dass möglichst zehn Haushalte pro Beurteilungsfläche vorhanden sind. Dies kann bei der für Baden-Württemberg typischen Struktur der Wohnbebauung (v.a. in Neubaugebieten oder im Ortskern mit alten Hofstellen) in den vier Projektstandorten nicht immer gewährleistet werden.

Die vier Eckpunkte einer Beurteilungsfläche dienen als Messpunkte für die Begehungen. Die tatsächliche Lage der Messpunkte weicht zum Teil deutlich von der theoretischen Lage bei einem quadratischen Raster ab, da diese an öffentlich zugänglichen und begehbaren Stellen ausgewiesen werden mussten. An den jeweiligen Projektstandorten ist dies im Wesentlichen das Straßennetz. Die Messpunkte sind in ihrer Reihenfolge so festzulegen, dass benachbarte Messstellen an unterschiedlichen Tagen begangen werden. Hierzu wurden die Messpunkte in die Klassen A, B, C, D eingeteilt und an unterschiedlichen Tagen begangen. Somit wird ein Wert für die einzelne Fläche mit den Eckpunkten A, B, C, D jeweils aus vier unabhängigen Einzelmessungen (da von unterschiedlichen Tagen) bestimmt. An den Projektstandorten wurden jeweils 40 bis 48 Messpunkte ausgewiesen. Bei einer Begehung war durch einen einzelnen Probanden jeweils eine Messtour der Klasse A, B, C oder D zu absolvieren, die jeweils maximal zwölf Messpunkte umfasste, was einem Zeitaufwand vor Ort von etwa 2,5 bis 4 Stunden entsprach.

Die Messhäufigkeit pro Messpunkt betrug im gegebenen Messzeitraum je nach Projektstandort 25 bis 30 voneinander unabhängige Einzelmessungen (an unterschiedlichen Tagen und zu unterschiedlichen Tageszeiten). Entsprechend resultierten 106 bis 117 Messtage/Begehungen ($25-30 \times 4$ Messpunkte pro Fläche), so dass an jedem Projektstandort jeweils jeden dritten bis vierten Tag eine Messung stattfinden sollte. Aus Gründen der Organisation der Rasterbegehungen an vier Standorten zeitgleich, wurde jeder Standort an jedem vierten Tag aufgesucht.

Durchführung einer Begehung

Eine Begehung wird von einem Probanden alleine durchgeführt. Entsprechend des Messplanes wurden die Messpunkte einer Messtour A, B, C oder D in der vorgegebenen Reihenfolge aufgesucht. Die Probanden waren mit dem jeweiligen Ortsplan mit den eingezeichneten Messpunkten sowie einer detaillierten Beschreibung (Photo, Straßennamen, besondere Hinweise) zu jedem einzelnen Messpunkt ausgestattet. Somit war eine eindeutige Zuordnung und Wiederauffindbarkeit der Messpunkte sichergestellt.

Die Erfassung der Geruchshäufigkeit an jedem Messpunkt (Einzelmessung) erfolgte mit Hilfe der Taktmethode. Über ein Messzeitintervall von 10 Minuten erfolgt eine Abfrage zur Geruchswahrnehmung alle 10 Sekunden, so dass sich 60 Takte je Messzeitintervall ergeben.

Der Proband trägt die erkannten Geruchsarten entsprechend einem vorgegebenen Schlüssel in ein Protokoll ein (**Anhang A4**). Im Anschluss an das 10-minütige Messzeitintervall war der Proband aufgefordert, eine Bewertung der Intensität und Hedonik der erkannten landwirtschaftlichen Gerüche vorzunehmen. Die Bewertung erfolgte für jede Geruchsart getrennt und bezieht sich nur auf die Takte mit Geruchseindruck (vgl. Kapitel 4.3.2). Um einen Eindruck über die aktuellen Witterungsbedingungen an jedem einzelnen Messpunkt während der Messung zu erhalten, wurde im Anschluss an das Messzeitintervall die Temperatur und Windgeschwindigkeit (Handmessgeräte) sowie die Windrichtung, Windstärke, Bewölkung und weitere Wettererscheinungen kurz und vereinfacht dokumentiert (Anhang A4).

Die Berechnung des Geruchszeitanteils in Prozent für die verschiedenen Geruchsarten errechnet sich aus der Anzahl der Takte (z.B. 6) mit dem jeweiligen Geruch, dividiert durch die 60 Takte des Messzeitintervalls multipliziert mit dem Wert 100 (in diesem Beispiel: $60:6 = 0,1 \times 100 = 10\%$). Ab einem Geruchszeitanteil von 10 % wurde das Messzeitintervall als Geruchsstunde gewertet. Über den Verlauf der 106 bis 117 Begehungen erfolgt eine Aufsummierung der ermittelten Geruchsstunden an jedem Messpunkt. Der Wert der Geruchsstunden für die jeweilige Beurteilungsfläche errechnet sich aus der Summe der Geruchsstunden aus den vier Eckpunkten der Fläche. Der Immissionswert pro Fläche ergibt sich aus Division der Summe der Geruchsstunden durch die Anzahl der durchgeführten Begehungen (VDI 3940-1, 2006).

Plausibilitätskontrolle

Im Rahmen der Plausibilitätskontrolle bei der Auswertung der Geruchsereignisse wurden die Probandenangaben mit der Windrichtung in Anlehnung an die Empfehlungen im Entwurf der VDI-Richtlinie 3940 Blatt 1 verglichen. Für die Beurteilung der Windverhältnisse wurden primär die Daten der Windmessstationen an den Projektstandorten im Zeitfenster der Begehung am jeweiligen Messpunkt herangezogen. Nur für die Zeiträume, in denen keine Daten der Windmessstationen vorlagen, wurden die Probandenangaben zur Windsituation berücksichtigt. Liegt der Messpunkt (Standort des Probanden) während des Messzeitintervalls innerhalb eines Sektors von $\pm 60^\circ$ der aktuellen Windrichtung von der Quelle aus betrachtet und beträgt die Windgeschwindigkeit ≥ 1 m/s, kann von einer plausiblen Erfassung von Geruchsereignissen ausgegangen werden. Liegt der Messpunkt außerhalb des 120° Fahnwinkels, so ist zu prüfen, ob unter Umständen andere Quellen oder eine Rezirkulation für das Messergebnis verantwortlich sein kann. Bei Windgeschwindigkeiten < 1 m/s werden die Geruchsereignisse unabhängig von der Windrichtung grundsätzlich als plausibel angesehen. Nicht plausible Messergebnisse wurden gekennzeichnet und unter den „Sonstigen Gerüchen“ registriert.

Abbildung 44 fasst für die vier unterschiedlich hoch belasteten Projektstandorte im Vergleich zusammen, wie viele Einzelmessungen (10-minütiges Messzeitintervall) mit Geruch und mit einem Geruchszeitanteil $\geq 10\%$ ausgewiesen wurden und wie hoch die Anzahl unplausibler Messungen gemäß der oben genannten Kriterien war.

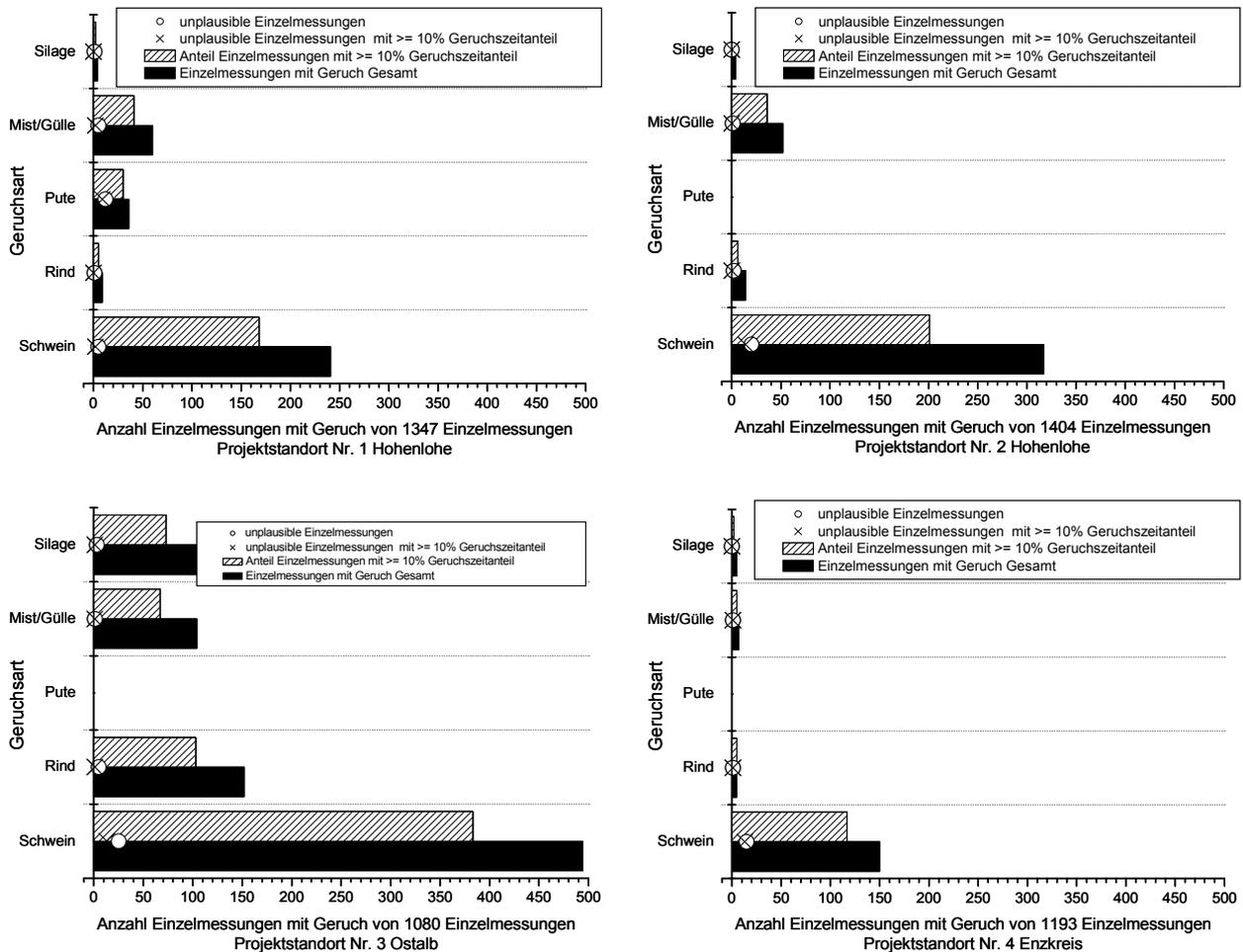


Abbildung 44: Anzahl der Einzelmessungen (10-minütige Messzeitintervalle) mit Geruch sowie Anzahl unplausibler Messungen an den vier Projektstandorten

Der Anteil unplausibler Messungen war je nach Standort und Geruchsart sehr unterschiedlich. An Messpunkten, die von allen Seiten beaufschlagt wurden, hatte die Plausibilitätskontrolle wenig Auswirkungen, da nahezu alle Wahrnehmungen möglich gewesen sind. Am Projektstandort Nr. 1 mit nur einer Putenhaltung sowie an Projektstandort Nr. 4 mit nur einer Schweinehaltung konnte konsequenter der plausible Windrichtungssektor betrachtet werden. Das Vorgehen war unter allen Projektpartnern in dieser Form abgestimmt und umgesetzt worden. Dennoch bleibt zu reflektieren, welche Windangabe (Proband oder 10 m Messmast) zur Beurteilung der individuellen Situation am Messpunkt letztlich heranzuziehen ist und inwieweit man die Probandenangaben hinterfragen muss und darf.

Es können schließlich auch falsch positive Wahrnehmungen bei Wind aus der „richtigen“ Richtung dokumentiert werden. Das Beispiel der Kaltluftabflüsse (Kapitel 4.2.6.4) zeigt wiederum, dass auch auf den ersten Blick „unplausible“ Geruchsereignisse durchaus real sein können. Sensorische Geruchsmessungen sind nur bedingt kontrollierbar – sie bleiben auch zu einem guten Teil Vertrauenssache.

Wie stark sich die Plausibilitätskontrolle unter Umständen auf die Auswertung der Geruchshäufigkeiten auswirkt, ist in den folgenden **Abbildungen 45 bis 48** für jeden Projektstandort für die relevantesten Geruchsarten markiert. Die Geruchshäufigkeit in Prozent der Jahresstunden verringerte sich an einzelnen Beurteilungsflächen und Standorten meist um 2% bis 4% mit maximalen 6% bis 7% auf zwei Beurteilungsflächen am süd-westlichen Rand der Wohnbebauung des Standortes Nr. 4 Enzkreis. Die räumliche Verteilung und Abstufung der Geruchsbelastung in Abhängigkeit der Quellenlage und Windrichtungsverteilung blieb an allen Standorten erhalten. Die Ergebnistabellen im Anhang A5 enthalten die Geruchshäufigkeiten nach Berücksichtigung der Plausibilitätsprüfung.

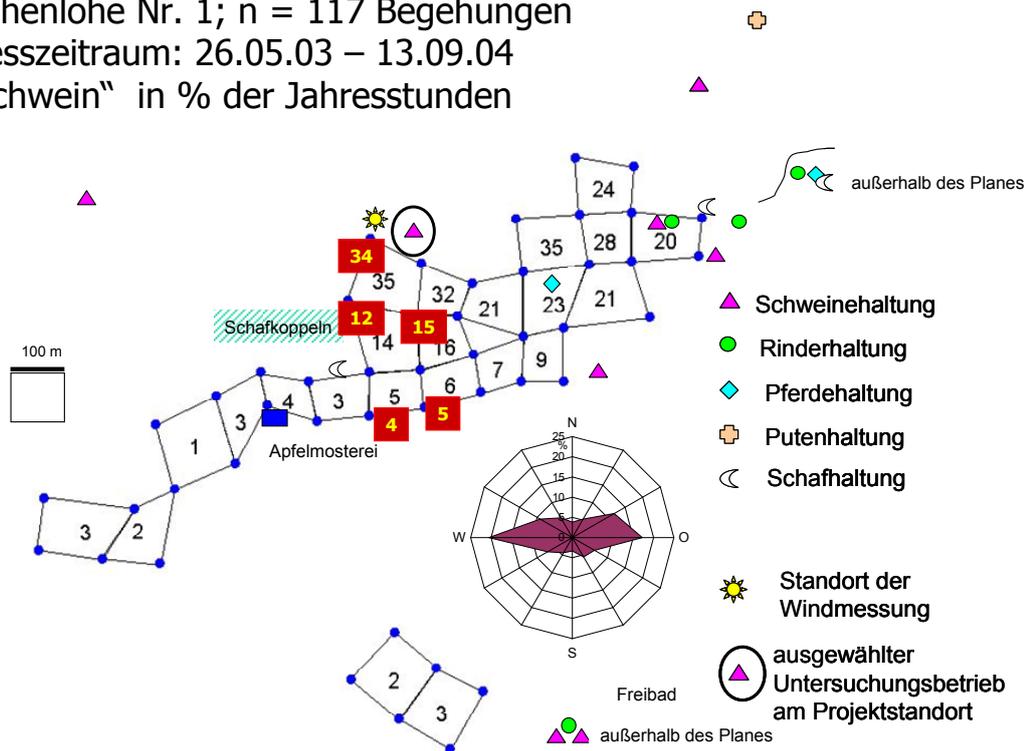
Ergebnisse Projektstandort Nr. 1 Hohenlohe (Abbildung 45 und Anhang A5)

Für die Geruchsart "Schwein" zeigt sich eine recht gute Abstufung der Geruchsbelastung von 1% bis 35% der Jahresstunden. Am Projektstandort Nr. 1 (Hohenlohe) ist weiterhin in etwa 300 m Entfernung nordöstlich ein Putenstall angesiedelt, der jedoch bislang zu vergleichsweise geringeren Geruchshäufigkeiten vornehmlich im nächstgelegenen Neubaugebiet geführt hat.

Für eine Beurteilungsfläche im Osten des Untersuchungsgebietes wurden mit 13% nennenswerte Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart "Mist" dokumentiert. Für alle weiteren landwirtschaftlichen Gerüche wie Rind, Pferd, Silage, und Gülle wurden nur geringfügige Geruchshäufigkeiten im Bereich zwischen 0% und 4% auf vereinzelt Beurteilungsflächen ermittelt. Der Anteil der Geruchsart "Schwein" an den Gerüchen aus der Tierhaltung überwiegt an den meisten Beurteilungsflächen deutlich mit 60% bis 100%.

Die Kategorie "Andere Firma" verursacht zusammengefasst für verschiedene Beschreibungen von überwiegend chemischen Gerüchen und den Gerüchen aus einer Apfelmosterei eine Geruchsbelastung zwischen 1% und 7% verteilt auf 15 Beurteilungsflächen. Die Aufsummierung der sonstigen Gerüche, die eine Zusammenfassung verschiedenster Qualitäten wie z.B. Abgase, Rauch, Essensgerüche, Naturgerüche und andere darstellt, führt zunächst zu nennenswerten Geruchshäufigkeiten zwischen 22% und 39% der Jahresstunden. Es ist aber zu beachten, dass der Kategorie "Sonstige Gerüche" an die 20 verschiedene freihändige Geruchsbeschreibungen der Probanden zu Grunde liegen. Eine getrennte Auswertung je nach Geruchsbeschreibung war nicht notwendig oder aufschlussreich.

Hohenlohe Nr. 1; n = 117 Begehungen
 Messzeitraum: 26.05.03 – 13.09.04
 „Schwein“ in % der Jahresstunden



Hohenlohe Nr. 1; n = 117 Begehungen
 Messzeitraum: 26.05.03 – 13.09.04
 „Pute“ in % der Jahresstunden

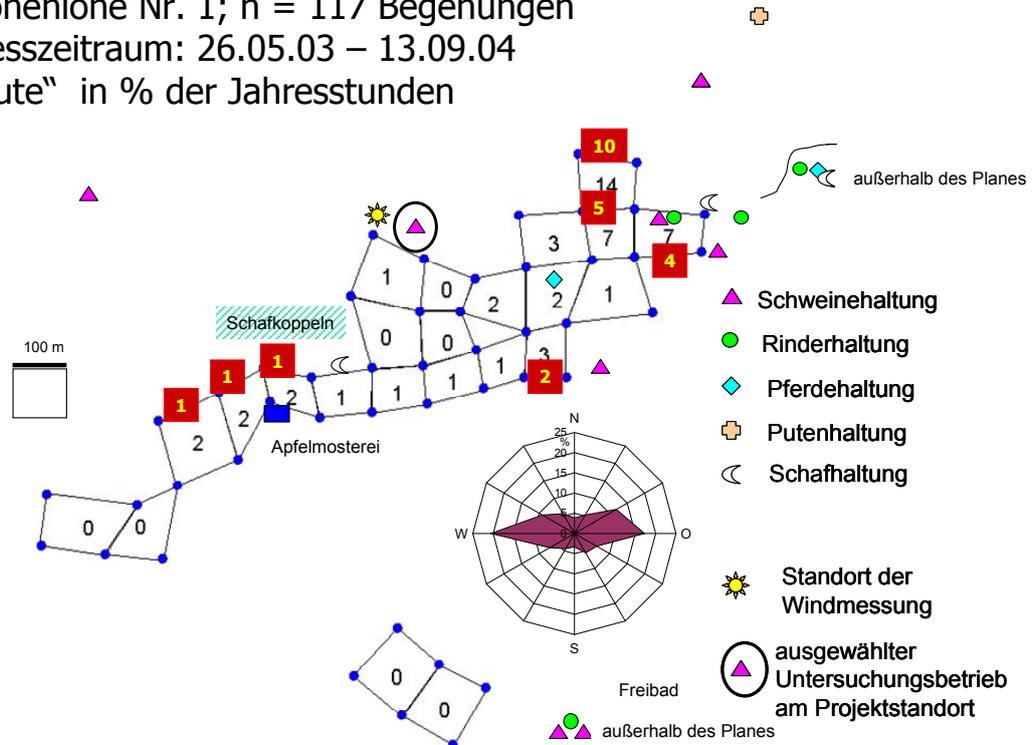


Abbildung 45: Verteilung der Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart „Schwein“ bzw. „Pute“ auf den Beurteilungsf lächen vor und nach der Plausibilit ätskontrolle am Projektstandort Nr. 1 (Hohenlohe)

Ergebnisse Projektstandort Nr. 2 (Hohenlohe) (Abbildung 46 und Anhang A5)

Für die Geruchsart "Schwein" zeigt sich eine recht gute Abstufung der Geruchsbelastung von 2% bis 42% der Jahresstunden. Für eine Beurteilungsfläche im Osten des Untersuchungsgebietes wurden nennenswerte 10% Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart "Mist" dokumentiert. Für alle weiteren landwirtschaftlichen Gerüche wie Rind, Pferd, Silage, und Gülle wurden nur geringfügige Geruchshäufigkeiten im Bereich zwischen 0% und 3% auf vereinzelt Beurteilungsflächen ermittelt. Der Anteil der Geruchsart "Schwein" an den Gerüchen aus der Tierhaltung überwiegt an den meisten Beurteilungsflächen deutlich mit 73% bis 100%.

Die Kategorie "Andere Firma" verursacht zusammengefasst für chemische Gerüche, die meist einem Farbmusterkartenhersteller zuzuordnen sind, sowie Bäckereigerüche und seltene Gerüche von einer Tierkörperbeseitigungsanlage eine Geruchsbelastung zwischen 1% und 4% verteilt auf alle Beurteilungsflächen. Die Aufsummierung der sonstigen Gerüche, die eine Zusammenfassung verschiedenster Qualitäten wie z.B. Abgase, Rauch, Essensgerüche, Naturgerüche und andere darstellt, führt zu Geruchshäufigkeiten zwischen 28% und 43% der Jahresstunden.

Ergebnisse Projektstandort Nr. 3 (Ostalb) (Abbildung 47 und Anhang A5)

Für die Geruchsart "Schwein" zeigt sich eine Abstufung der Geruchsbelastung zwischen 15% und maximal 70% der Jahresstunden. Neben der Geruchsart "Schwein" zeigen sich abgestuft zwischen 0% und 24% nennenswerte Geruchshäufigkeiten für die Geruchsarten "Rind" und "Silage". Für alle weiteren landwirtschaftlichen Gerüche wie Pferd, Mist, und Gülle wurden nur geringfügige Geruchshäufigkeiten im Bereich zwischen 0% bis 8% auf mehreren Beurteilungsflächen ermittelt. Der Anteil der Geruchsart "Schwein" an den Gerüchen aus der Tierhaltung liegt zwischen 49% und 100% und überwiegt somit auf den meisten Beurteilungsflächen die Gerüche aus der Rinderhaltung.

Für die Kategorie "Andere Firma" liegen keine Nennungen vor. Die Aufsummierung der sonstigen Gerüche, die eine Zusammenfassung verschiedenster Qualitäten wie z.B. Abgase, Rauch, Essensgerüche, Naturgerüche und andere darstellt, führt zu Geruchshäufigkeiten zwischen 23% und 40% der Jahresstunden und liegt somit in einem vergleichbaren Bereich zu den Projektstandorten Nr. 1 und Nr. 2.

Am Projektstandort Nr. 3 sind keine Beurteilungsflächen mit geringen Geruchshäufigkeiten vorhanden. Dies war bei der hohen Dichte von tierhaltenden Betrieben im Ort auch nicht zu erwarten. Der Standort wurde bewusst in das Projekt aufgenommen, um Daten zur Belästigungsreaktion in einem eher hoch belasteten Gebiet, jedoch mit typisch dörflicher Struktur, zu erhalten.

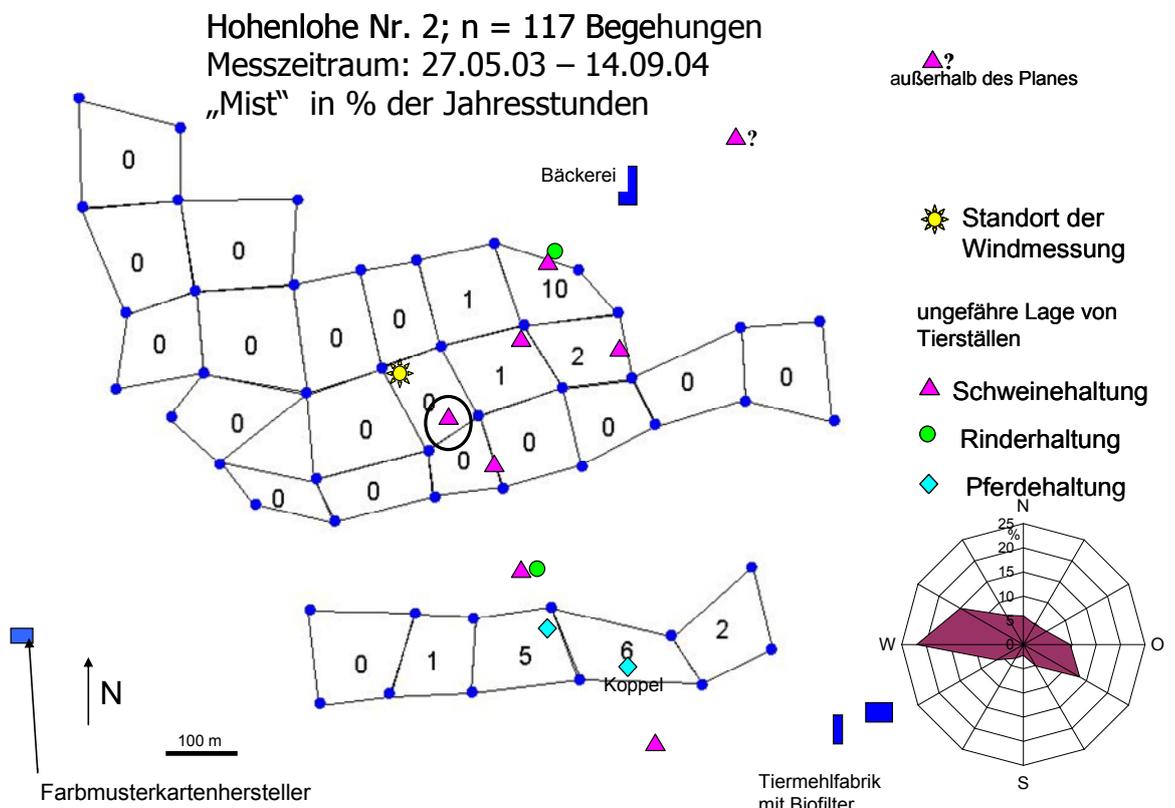
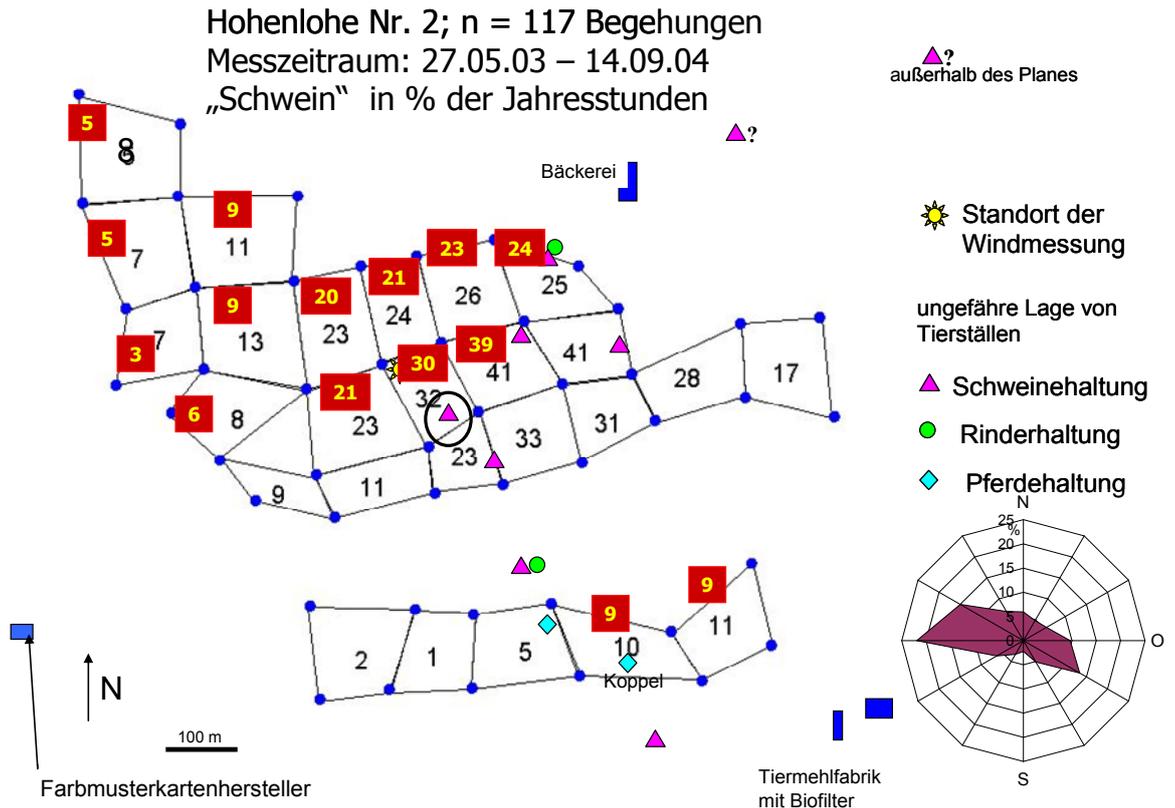


Abbildung 46: Verteilung der Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart „Schwein“ bzw. „Mist“ auf den Beurteilungsflächen vor und nach der Plausibilitätskontrolle am Projektstandort Nr. 2 (Hohenlohe)

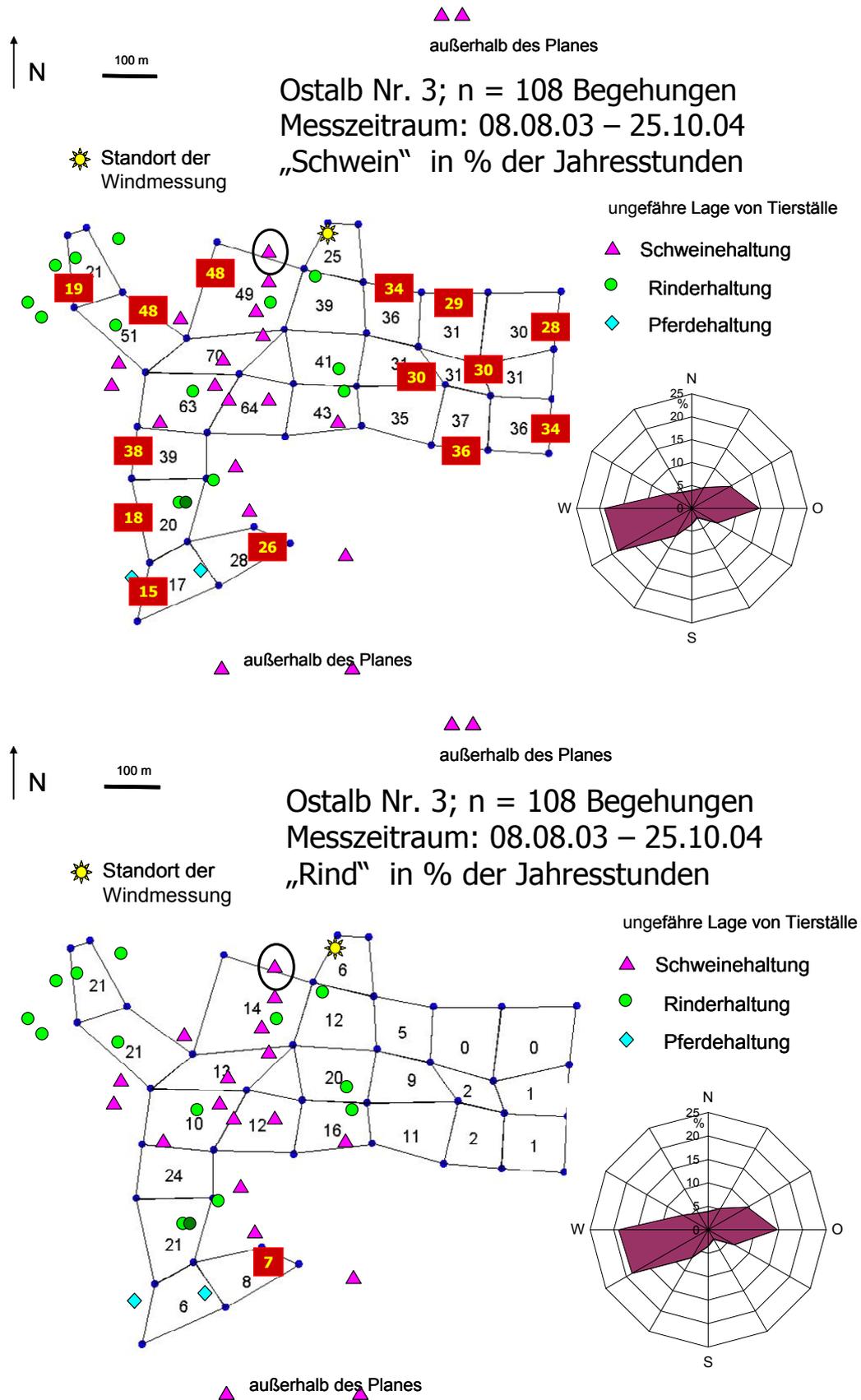


Abbildung 47: Verteilung der Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart „Schwein“ bzw. „Rind“ auf den Beurteilungsflächen vor und nach der Plausibilitätskontrolle am Projektstandort Nr. 3 (Ostalb)

Ergebnisse Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis) (Abbildung 48 und Anhang A5)

Für die Geruchsart "Schwein" zeigt sich eine Abstufung der Geruchsbelastung von 0% bis 32% der Jahresstunden, wobei der Anteil von Beurteilungsflächen mit geringen Geruchshäufigkeiten kleiner 15% deutlich überwiegt. Werte größer oder gleich 15% wurden nur für vier Beurteilungsflächen ermittelt. Die Geruchsarten "Rind" und "Mist" tragen nur geringfügig mit jeweils bis zu 2% der Jahresstunden auf sechs Beurteilungsflächen am westlichen Rand der Wohnbebauung zur Geruchsbelastung bei. Die weiteren landwirtschaftlichen Gerüche Silage und Gülle sind nur mit einem vernachlässigbaren (1%) bzw. mit einem nicht ausreichenden Geruchszeitanteil für die Wertung als Geruchsstunden aufgezeichnet worden. Der Anteil der Geruchsart "Schwein" an den Gerüchen aus der Tierhaltung ist mit 75% bis in der Regel 100% bestimmend. Da am Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis) die landwirtschaftlichen Betriebe im Gegensatz zu den anderen Projektstandorten außerhalb der Wohnbebauung liegen, war mit geringeren Geruchshäufigkeiten zu rechnen. Der Standort wurde bewusst in das Projekt aufgenommen, um in den Befragungen zur Geruchsbelästigung auch eine eher städtisch geprägt Wohnstruktur abzudecken und um über alle Standorte hinweg betrachtet eine ausreichend hohe Anzahl von Interviews aus Zonen mit geringer Geruchsbelastung zu gewinnen.

Die Kategorie "Andere Firma" verursacht zusammengefasst für Wäschereigerüche, Klär- und chemische Gerüche eine Geruchsbelastung von in der Regel 1% bis 2% mit einmalig maximalen 7% verteilt auf mehrere Beurteilungsflächen. Die Aufsummierung der sonstigen Gerüche, die eine Zusammenfassung verschiedenster Qualitäten wie z.B. Abgase, Rauch, Essensgerüche, Naturgerüche und andere darstellt, führt zu Geruchshäufigkeiten zwischen 25% und 42% der Jahresstunden und deckt sich mit der Größenordnung, die an den anderen Projektstandorten ermittelt wurde.

Flächenbetrachtung versus Messpunkt Betrachtung

Je nach Konstellation kann es natürlich sein, dass eigentlich nur ein bis zwei Messpunkte einer Beurteilungsfläche das Ergebnis für die Fläche bestimmen, wie das Beispiel der Geruchsstundenverteilung in **Abbildung 49** an den markierten Beurteilungsflächen zeigt. Ersichtlich wird aber auch die Empfindlichkeit der Methode bzw. die mögliche kleinräumige Verteilung der Geruchsergebnisse. Unter Umständen muss man sich im kritischen Einzelfall von der Flächenbetrachtung lösen und sich auf eine Messpunkt Betrachtung zurückziehen. Auf jeden Fall kann die Betrachtung der Messpunkthäufigkeiten ein interpretatorisches Hilfsmittel sein. Inwieweit es angemessen ist, die Messwerte auf Flächen zu übertragen, hängt auch mit der Abstimmung der gewählten Rastergröße auf die tatsächlichen Strukturen vor Ort zusammen.

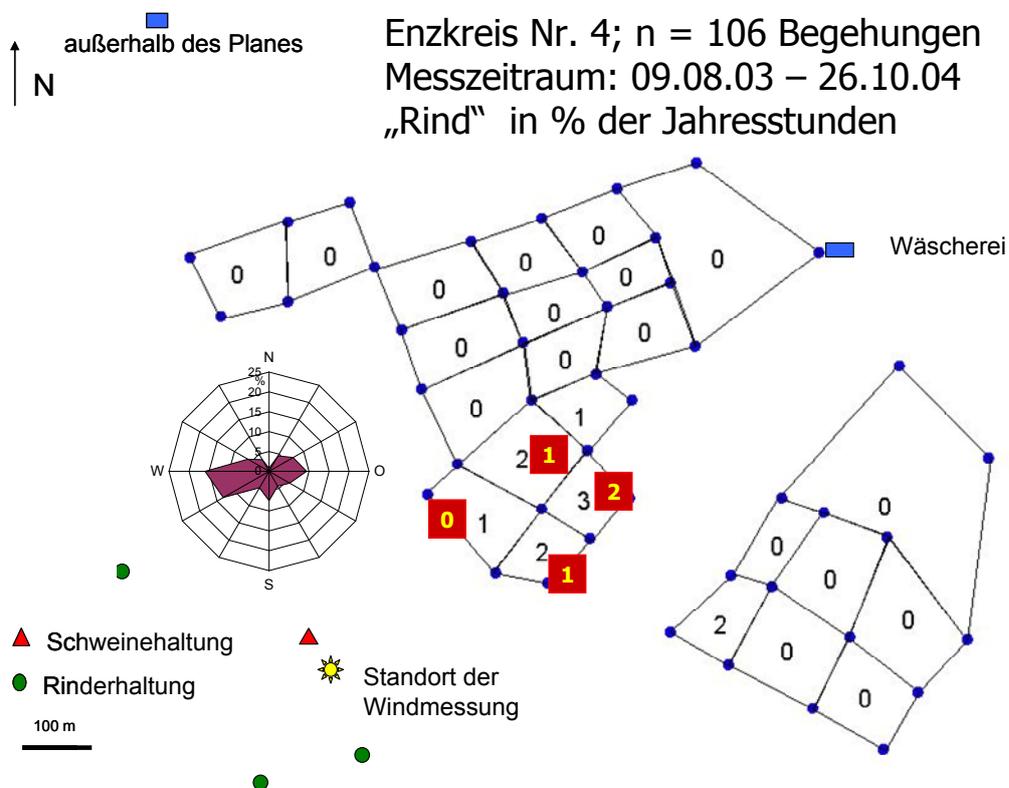
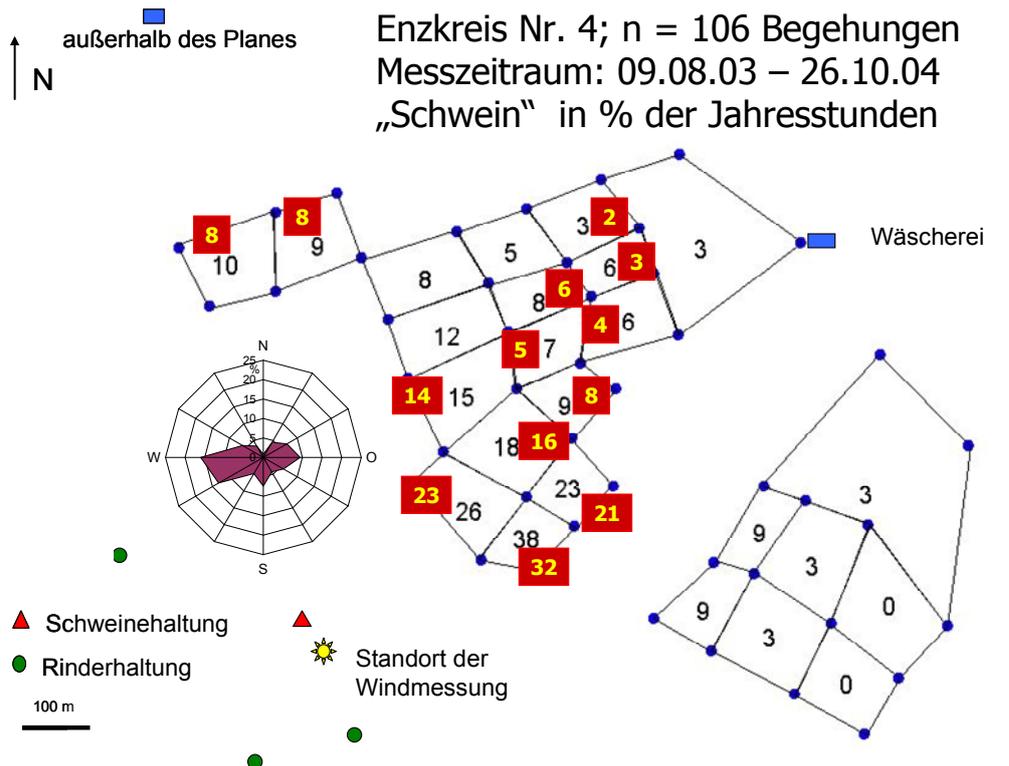


Abbildung 48: Verteilung der Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart „Schwein“ bzw. „Rind“ auf den Beurteilungsf lächen vor und nach der Plausibilit ätskontrolle am Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis)

Die sektorale Abschätzung der Beaufschlagungshäufigkeit anhand der Windrichtungsverteilung zeigt mit 25% und 34% für die nächstgelegenen Beurteilungsflächen eine gute Übereinstimmung mit den Begehungsergebnissen. Diese einfache Methode erlaubt eine pessimale Grobabschätzung der zu erwartenden Geruchshäufigkeiten im Nahbereich in kritischen Beaufschlagungssektoren, wenn eine geeignete Windstatistik verwendet werden kann und die Anwendungsgrenzen der Methode beachtet werden.

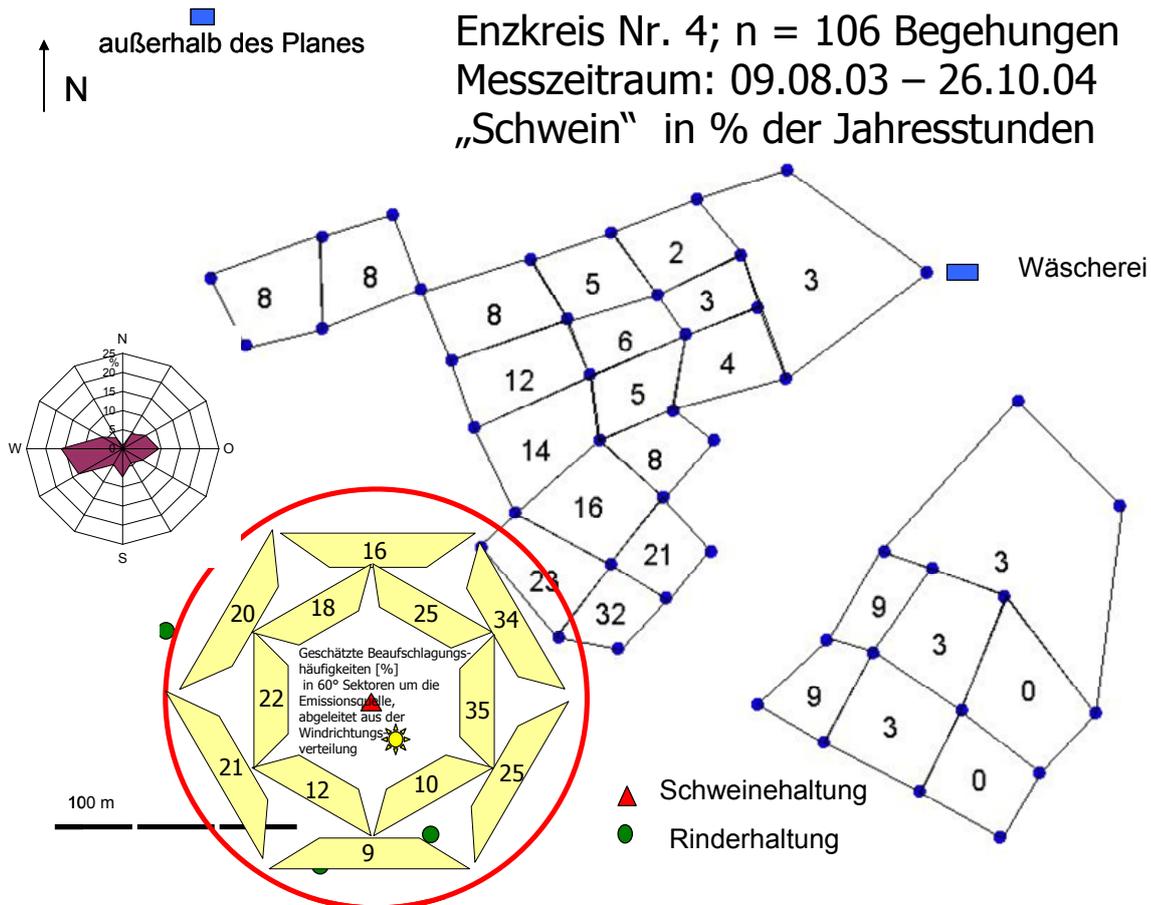


Abbildung 50: Vergleich der Geruchsimmissionshäufigkeit mit dem Abstandskreis nach VDI 3471 (1986) und der sektoralen Abschätzung der Beaufschlagungshäufigkeit anhand der Windrichtungsverteilung

Abhängigkeit vom Geruchsstundenkriterium

Schließlich soll an Beispielrechnungen für den Datensatz aus den Rasterbegehungen des Projektstandortes Nr. 3 (Ostalb) aufgezeigt werden, wie sich die Definition des Geruchsstundenkriteriums auf die Größenordnung der Geruchshäufigkeit für unterschiedlich belastete Beurteilungsflächen bzw. im Mittel aller Flächen auswirkt (**Abbildung 51**).

Zählt man bereits ab einem Takt von 60 Takten mit erkennbarem Geruch das 10-minütige Messzeitintervall als Geruchsstunde, erhöhen sich die Geruchshäufigkeiten auf den Beurteilungsflächen um 5% bis 10%. Je größer der notwendige Geruchszeitanteil für die Wertung als Geruchsstunde wird, desto geringer werden die berechneten Geruchshäufigkeiten auf den Beurteilungsflächen. Würde man voraussetzen, dass nur Messzeitintervalle berücksichtigt werden, in denen nahezu jeder Atemzug mit Geruch beaufschlagt war, liegen die Geruchshäufigkeiten unter 10% und laufen auf den gering belasteten Flächen gegen Null.

Dieses Resultat stimmt in keinsten Weise mit der tatsächlichen Geruchssituation am Projektstandort Nr. 3 (Ostalb) mit vielen Quellen innerorts überein. Bei jedem Ortsbesuch waren deutlich und sehr häufig erkennbare Gerüche im gesamten Ortsbereich wahrzunehmen. Es war nahezu unmöglich, diesen Ort ohne einen Geruchseindruck wieder zu verlassen. Verwendet man diese Erfahrung als Maßstab, so kann ein Geruchszeitanteil zwischen 10% und 20% als Geruchsstundenkriterium empirisch gut nachvollzogen und als angemessen bestätigt werden.

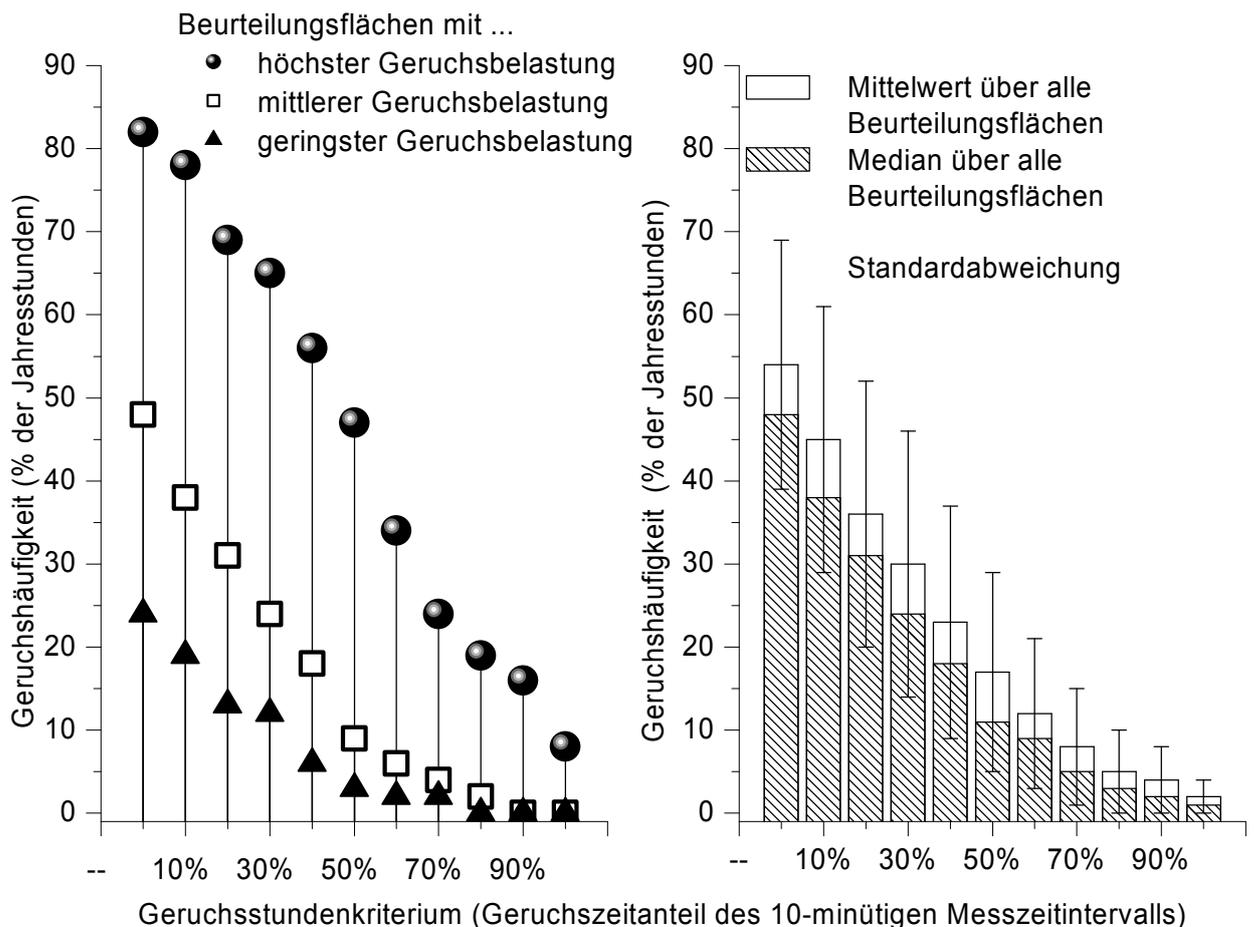


Abbildung 51: Abhängigkeit der berechneten Geruchsimmissionshäufigkeit auf den Beurteilungsflächen von der Definition des Geruchsstundenkriteriums

Die Gesamtschau der eigenen Erfahrungen mit den Rasterbegehungen lässt den Schluss zu, dass mit dieser Methode durchaus sehr differenziert die Geruchsbelastungssituation erfasst werden kann. Sowohl in Hinblick auf die Geruchsqualitäten als auch auf die jeweilige räumliche Verteilung und Abstufung der Geruchshäufigkeiten. Die Messunsicherheit für die absoluten Geruchshäufigkeiten muss beachtet werden. Nach eigener Einschätzung und unter Berücksichtigung von MÜLLER et al. (2009b) und KOST & RICHTER (2009) sollte man mindestens von einer Messunsicherheit von 10% des Messwertes ausgehen. Je geringer die Geruchshäufigkeiten sind, desto größer ist die Messunsicherheit anzunehmen. Dies ist insbesondere bei der Interpretation von Grenzwertüberschreitungen zu berücksichtigen.

4.2.6.4 Vergleich mit Ausbreitungsrechnung

Im Rahmen der Projektzusammenarbeit hat die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg für die Projektstandorte Nr. 1 und Nr. 2 (Hohenlohe) sowie Nr. 4 (Enzkreis) Ausbreitungsrechnungen mit AUSTAL2000G (Version 2.2.1) erstellt (BUCHLEITHER & AHRENS, 2005). Auf Grund der sehr komplexen und vielfältigen innerörtlichen Quellenlage am Projektstandort Nr. 3 wurde hier auf eine Ausbreitungsmodellierung verzichtet. Es wurde der Frage nachgegangen, inwieweit die Ergebnisse der Rasterbegehungen mit der Ausbreitungsrechnung nach AUSTAL2000G abgebildet werden können und welche Kriterien und Parameter dabei zu berücksichtigen sind. Die Parametrisierung der Eingabedaten im Detail und die vollständigen Ergebnisse sind BUCHLEITHER & AHRENS (2005) zu entnehmen. Hier wird beispielhaft auf ausgewählte Erkenntnisse eingegangen, die insbesondere den Einfluss variierender Eingabeparameter auf den Vergleich mit den Ergebnissen der Rasterbegehungen aufzeigen sollen.

Bei den Eingabedaten mussten teilweise vereinfachte Annahmen getroffen werden, die entweder durch das Ausbreitungsmodell AUSTAL2000G selber bedingt waren oder von der eingeschränkten Verfügbarkeit und Auflösung von Daten zur Meteorologie und den Quellen bzw. Emissionen bestimmt wurden. Um die nachfolgenden Ergebnisse besser einordnen zu können, werden die Rahmenbedingungen der durchgeführten Ausbreitungsrechnungen kurz zusammengefasst:

- Alle Ausbreitungsrechnungen wurden ohne Abluffahnenüberhöhung (bodennahe Quellen) gerechnet.
- Für alle Ausbreitungsrechnungen wurde die hohe Qualitätsstufe 2 mit mindestens 256.000.000 Partikeln verwendet.
- Trotz der heterogenen Geländestruktur in Baden-Württemberg wurden bei der Auswertung keine Geländeprofile hinterlegt.

- Die Berechnungen wurden mit Maschenweiten der Beurteilungsflächen von 100 m (wie Begehungs raster) und 50 m durchgeführt. Bei größeren Maschenweiten kommt es bei den Konzentrationsmaxima zu einer Verschmierung der Konzentrationsverteilung, da die Konzentrationswerte Volumenmittel über einer Gitterzelle darstellen.
- Die Festlegung der mittleren Rauigkeitslänge nach TA-LUFT (2002) (Landnutzungsklassen im Corine-Kataster) wird von AUSTAL2000G für das gesamte Rechengebiet übernommen, unabhängig von den örtlichen Feinstrukturen. Bei bodennahen Quellen bewirken kleine Rauigkeitslängen („glatte“ Oberflächen) höhere Immissionen im Fernbereich. Größere Rauigkeitslängen (z.B. Bebauung, Bäume) bewirken eine Aufweitung und Heruntermischung der Abluffahne mit höheren Immissionen im Nahbereich und höherer Verdünnung im Fernbereich.
- Die Ausbreitungsverhältnisse wurden in der sogenannten AKTerm-Datei für ein Jahr in der mittleren Rasterbegehungszeit hinterlegt. Das heißt, sie ist nicht ganz deckungsgleich mit dem Untersuchungszeitraum der Rasterbegehungen. Die Ergebnisse der eigenen Windmessungen wurden an den Standorten Nr. 1 (Hohenlohe) und Nr. 4 (Enzkreis) verwendet. Für den Standort Nr. 2 musste auf die synthetische Windstatistik zurückgegriffen werden. Die Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier wurden in vereinfachter Weise aus Windgeschwindigkeit, Tages- und Jahreszeit berechnet. Für Zeiträume ohne Winddaten (vgl. Tabelle 8) kann keine Ausbreitungsrechnung erfolgen, d.h. diese Zeiträume fehlen bei der Berechnung der Geruchsstundenhäufigkeiten, was ein Grund für Abweichungen von den Rasterbehebungsergebnissen sein kann.
- Die landwirtschaftlichen Quellen wurden fotografisch erfasst und anhand der verfügbaren Angaben so wirklichkeitsgetreu wie möglich oder vereinfacht konfiguriert: Punktquelle (bei genauen Angaben zu Abluftpunkten), vertikale Linienquelle (Ställe mit Zwangslüftung), horizontale Flächenquelle (Mist- oder Güllelager), vertikale Flächenquelle (Putenstall mit offenen Seitenwänden) oder Volumenquelle (offene Ställe, übrige Tierhaltungen mit unbekanntem Haltungs- und Lüftungsformen).
- Als Emissionsdaten wurden Geruchsemissionsfaktoren verwendet, wie sie zum Zeitpunkt der Berechnungen in verschiedenen Erkenntnisquellen hinterlegt waren und unter den Projektbeteiligten abgestimmt wurden. Sie unterscheiden sich etwas von den Konventionenwerten nach VDI 3894-1E (2009):
Mastschweine $41 \text{ GE s}^{-1}\text{GV}^{-1}$; Ferkel $47 \text{ GE s}^{-1}\text{GV}^{-1}$, Zuchtsauen $28 \text{ GE s}^{-1}\text{GV}^{-1}$, Rinder $10 \text{ GE s}^{-1}\text{GV}^{-1}$, Mistlager 3 bis $8 \text{ GE s}^{-1}\text{GV}^{-1}$, Gülle $7 \text{ GE s}^{-1}\text{GV}^{-1}$
Als Variation wurden für die ausgewählten Untersuchungsbetriebe auch die gemessenen Emissionen in der Ausbreitungsrechnung verwendet (Anhang A2).

Die Ausbreitungsrechnung für den Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis) wurden im Hinblick auf die Quellkonfiguration, die Rauigkeitslänge und Rastergröße mehrfach variiert. Außerdem hatten erste Proberechnungen klar gezeigt, dass die Qualitätsstufe 0 nicht ausreicht, sondern die Wahl der Qualitätsstufe 2 notwendig ist.

In der ersten Variante wurden der Maststall und die Ferkelaufzucht als Punktquellen und das Mist- und Güllelager als Flächenquellen konfiguriert. Die Rauigkeitslänge von 0,2 m wurde von AUSTAL2000G automatisch vorgegeben. Die Rastergröße betrug wie bei den Rasterbegehungen 100 m. Diese Berechnungsvariante konnte die Begehungsergebnisse nicht zufriedenstellend abbilden; insbesondere wurden die Geruchshäufigkeiten im Nahbereich um etwa 10% unterschätzt und im weiteren Siedlungsbereich eher überschätzt (**Abbildung 52**).

Die dichte Quellenlage mit gegenseitiger Überlagerung auf dem Untersuchungsbetrieb legte die Überlegung nahe, das gesamte Betriebsgelände als eine Volumenquelle zu betrachten. Des Weiteren wurde die Rauigkeitslänge auf 0,5 m erhöht, um die örtliche Oberflächenstruktur mit Sträuchern und Streuobstwiesen besser abzubilden. Mit Halbierung des Rastermaßes auf 50 m kann die Verteilung der Geruchshäufigkeiten zudem differenzierter dargestellt werden. **Abbildung 52** zeigt, dass die Geruchshäufigkeiten im Nahbereich als auch auf den weiter entfernten Flächen nun deutlich besser wiedergegeben werden.

Dieselben Einstellungen und auch andere Berechnungsvarianten führten jedoch bei den Ausbreitungsrechnungen für die drei Rinderbetriebe mit insgesamt etwa 100 GV in 200 m Entfernung zur Wohnbebauung am Standort Nr. 4 (Enzkreis) zu einer anhaltenden Überschätzung der Geruchshäufigkeiten im Vergleich zur Begehung (**Abbildung 53**). Orientiert man sich an den Ergebnissen aus Fahnenbegehungen von JUNGBLUTH & HARTUNG (1996) (vgl. **Abbildung 30**), so liegt der Erkennungsschwellenabstand für Rinder erst bei 60 m. Auch nach den Fahnenbegehungen und der Approximation von KRAUSE et al. (2000) (vgl. **Abbildung 31**) liegt der Geruchsschwellenabstand für schwachen Geruch bei einer Wahrnehmungshäufigkeit von 10% im Bereich von 80 m bis 200 m. So erscheinen die geringen Geruchswahrnehmungen der Probanden plausibler als die berechneten Geruchshäufigkeiten.

Die Wahrscheinlichkeit von Kaltluftabflüssen am Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis) wurde mit der Anwendung GAK (Geruchsausbreitung in Kaltluftabflüssen) (vgl. Kapitel 4.2.3.5) überprüft (**Abbildung 54**), da diese durch AUSTAL2000G nicht abgebildet werden können. Es besteht eine hohe Geruchswahrscheinlichkeit für die Abend- und Nachtstunden in unmittelbarer Nähe und im nördlich von der Quelle gelegenen Siedlungsgebiet. Dies hat sich auch in den Rasterbegehungen bestätigt.

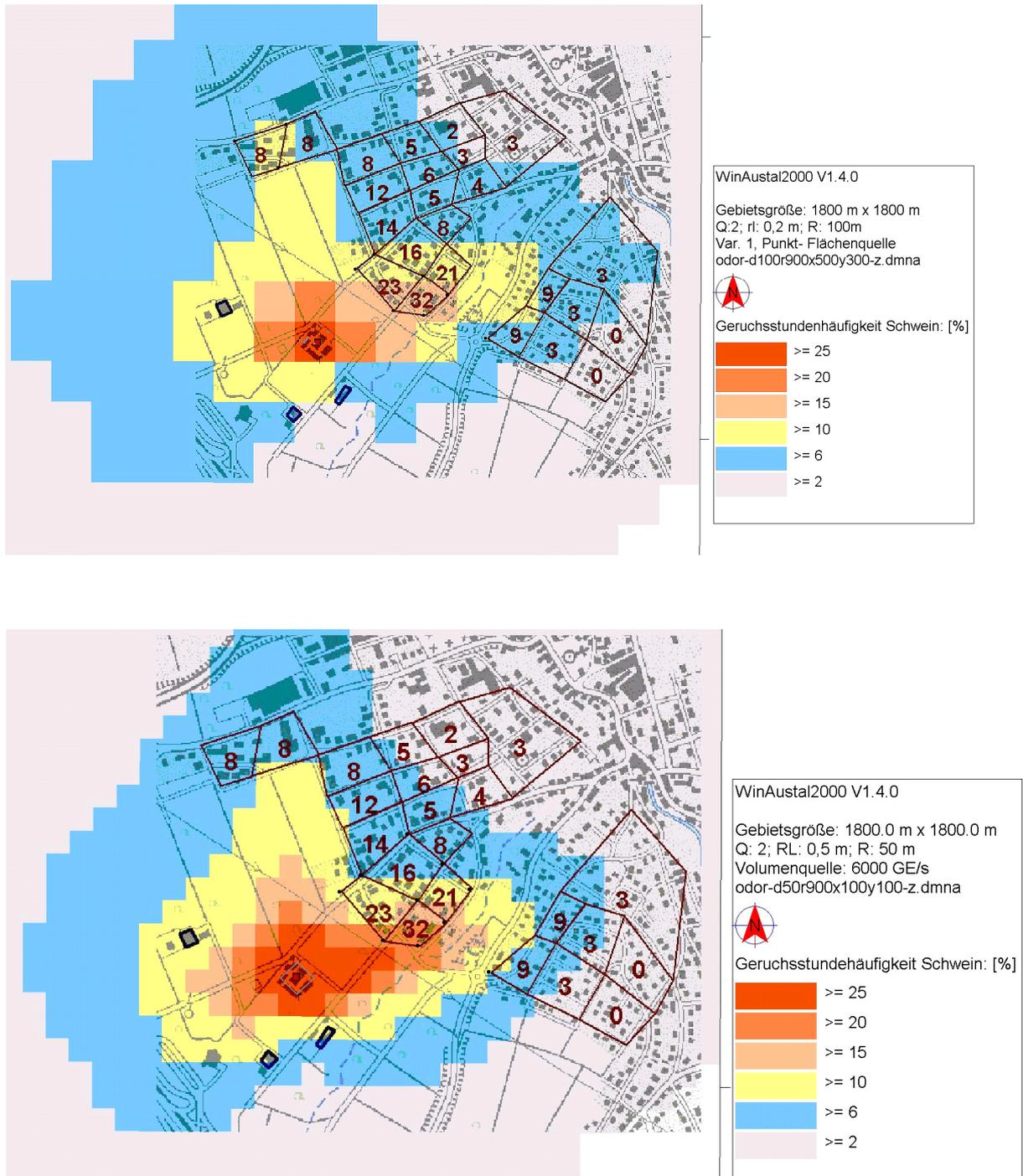


Abbildung 52: Vergleich der gemessenen und berechneten Geruchshäufigkeiten in einer ersten (oben) und optimierten (unten) Berechnungsvariante für Gerüche aus der Schweinehaltung am Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis) (BUCHLEITHER & AHRENS, 2005)

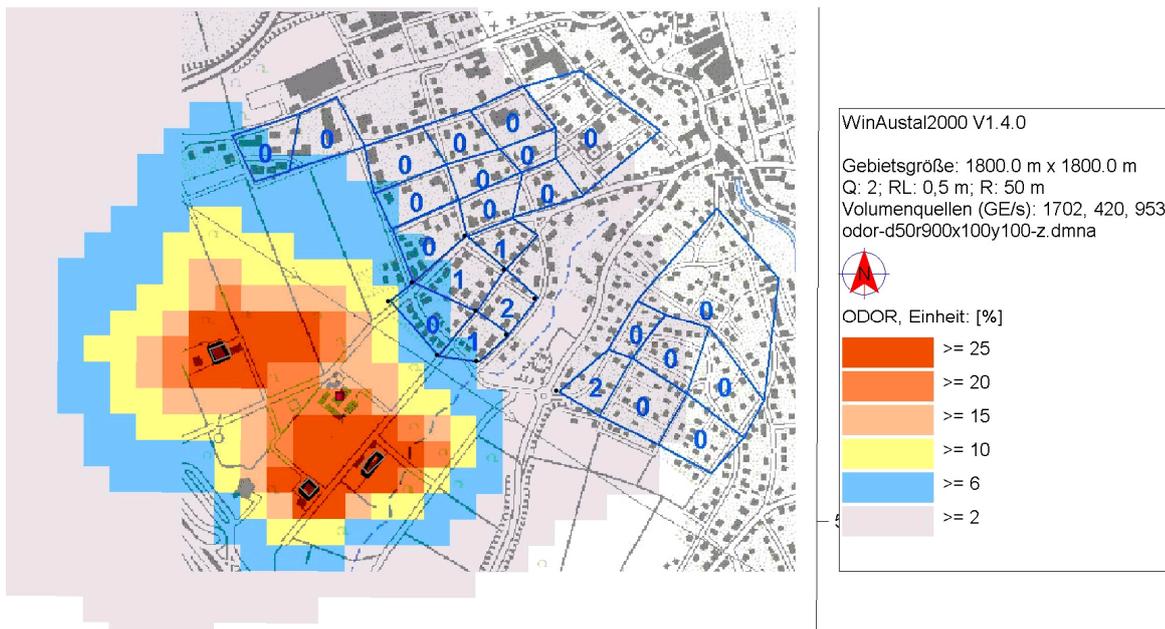


Abbildung 53: Vergleich der gemessenen und berechneten Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart „Rind“ am Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis) (BUCHLEITHER & AHRENS, 2005)

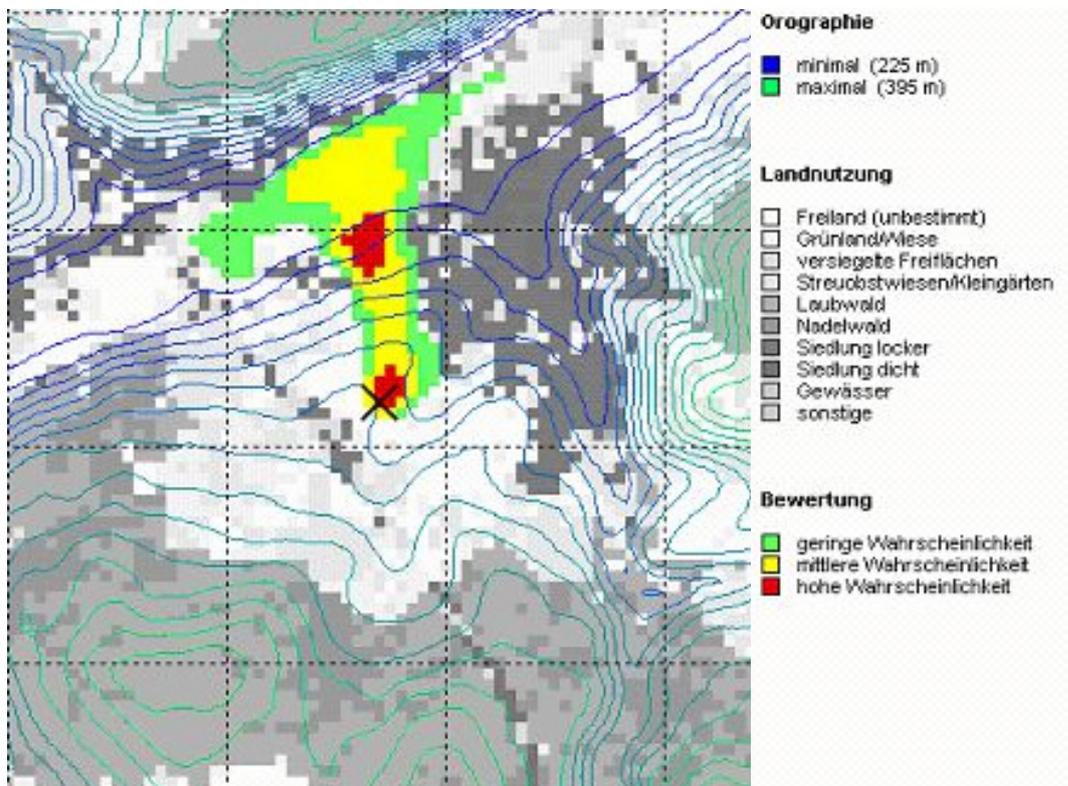


Abbildung 54: Wahrscheinlichkeit von Geruch infolge von Kaltluftabflüssen ausgehend vom Untersuchungsbetrieb (Schweinehaltung) am Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis) (1 km Raster, genordet)

Die Bedeutung eines Kaltluftabflusses zeigte sich auch am Projektstandort Nr. 1 (Hohenlohe) insbesondere für die Beaufschlagung des nördlichen Wohngebietes mit Gerüchen aus der davon nord-westlich gelegenen Putenhaltung (**Abbildung 55**). Die Ausbreitungsrechnung mit angepasster Rauigkeitslänge und im 50 m Raster aber mit vereinfachten Annahmen zur Emission führte zu einer Unterschätzung der Putengeuchshäufigkeiten (**Abbildung 56**). Es wurde ein vergleichsweise geringer Emissionsfaktor für die Putenhaltung von $23 \text{ Ge s}^{-1} \text{ GV}^{-1}$ verwendet. Die genauen Produktionsbedingungen konnten im Rahmen des Projektes nicht erfasst werden. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Windverteilung für die Ausbreitungsklassenstatistik nicht ganz kompatibel zur Windverteilung während der Rasterbegehungen war.

Die Vergleichsrechnungen für die Schweinehaltungen am Projektstandort Nr. 1 (Hohenlohe) erzielten die beste Übereinstimmung, wenn für den Untersuchungsbetrieb die reale Quellenlage differenziert konfiguriert, die Rauigkeitslänge mit 1,0 m an die Bebauungsstrukturen angepasst und die Rastergröße 50 m gewählt wurde (**Abbildung 57**).

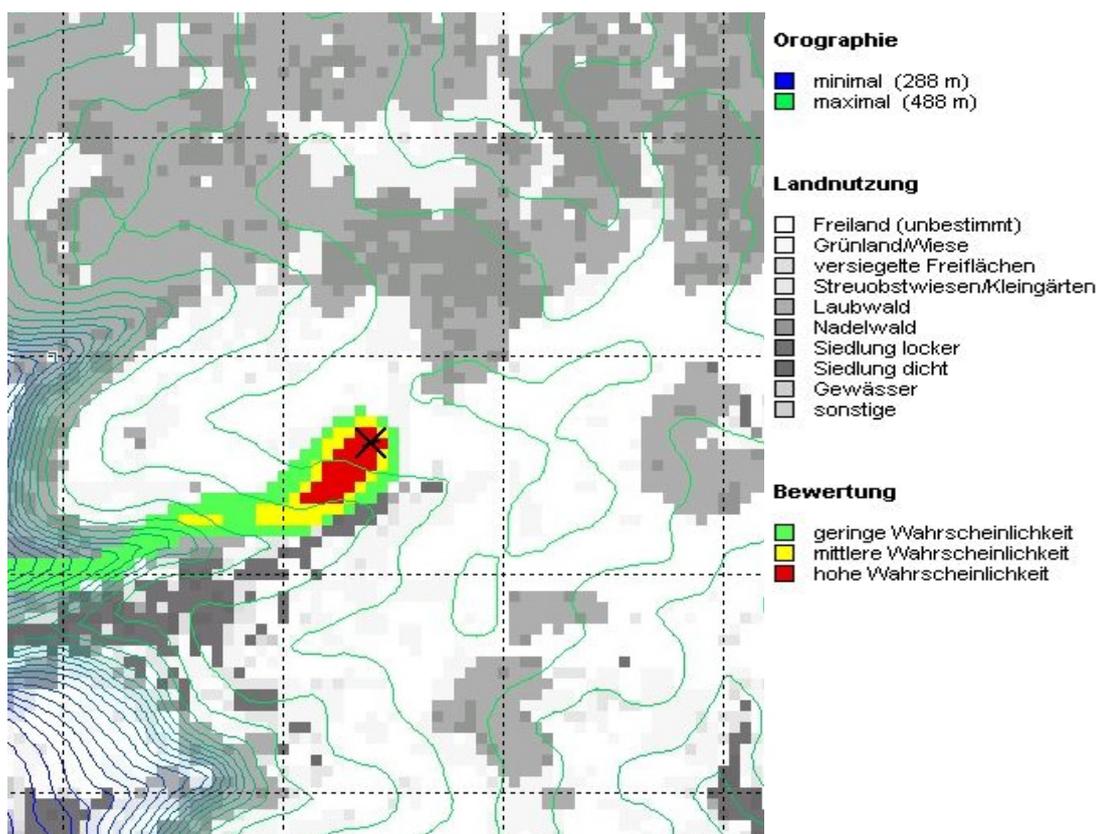


Abbildung 55: Wahrscheinlichkeit von Geruch infolge von Kaltluftabflüssen ausgehend vom Putenstall am Projektstandort Nr. 1 (Hohenlohe) (1 km Raster, genordet)

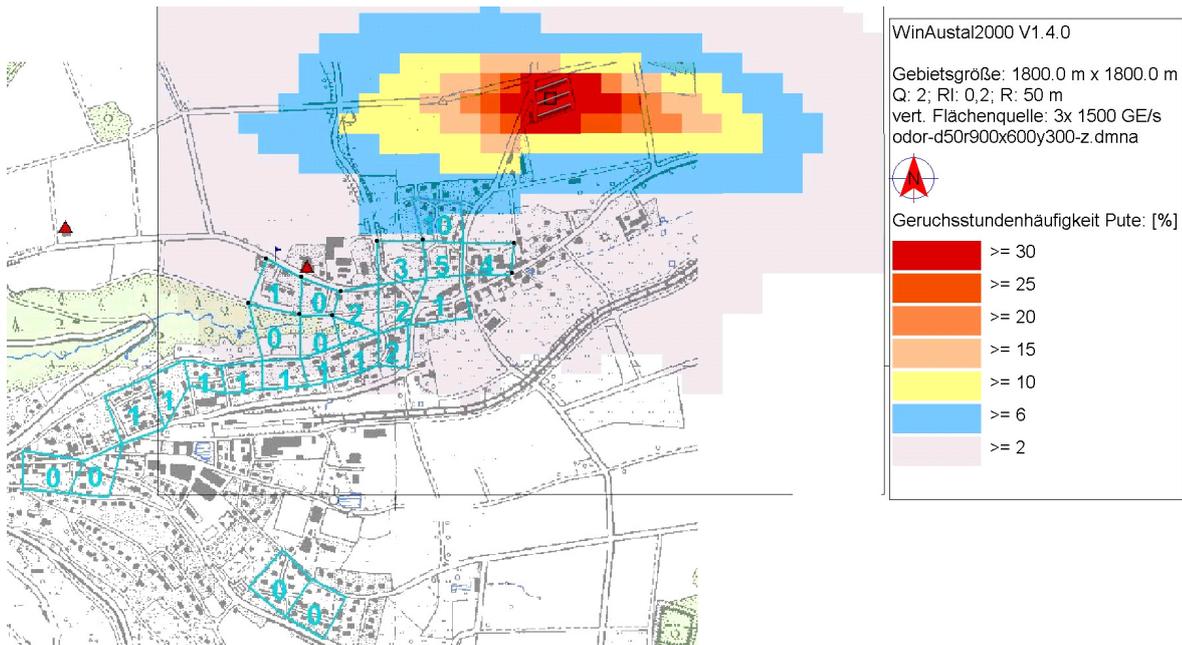


Abbildung 56: Vergleich der gemessenen und berechneten Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart „Pute“ am Projektstandort Nr. 1 (Hohenlohe) (BUCHLEITHER & AHRENS, 2005)

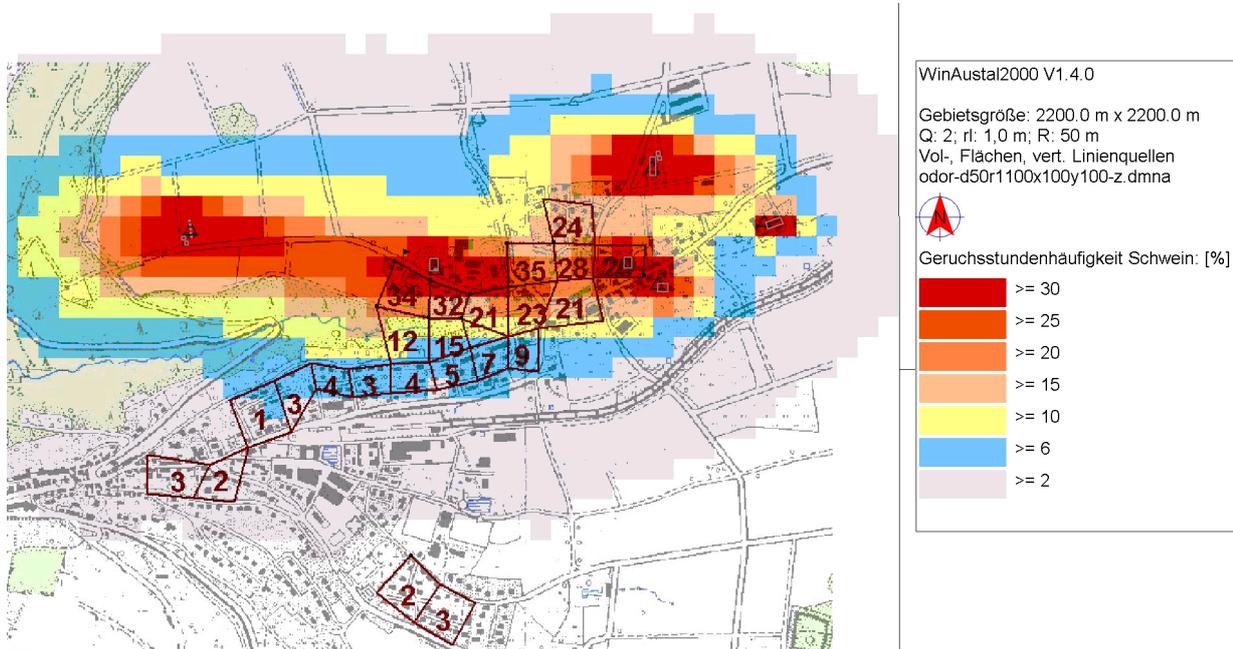


Abbildung 57: Vergleich der gemessenen und berechneten Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart „Schwein“ am Projektstandort Nr. 1 (Hohenlohe) (BUCHLEITHER & AHRENS, 2005)

Mit der Anwendung von AUSTAL2000G für den Nahbereich und innerhalb von Bebauung, wie es am Projektstandort Nr. 2 (Hohenlohe) gegeben ist, gelangt man aufgrund der Modelleigenschaften (vgl. Kapitel 4.2.3) in einen Grenzbereich. Dafür fällt der Vergleich zwischen Ausbreitungsrechnung und Rasterbegehung vergleichsweise gut aus (**Abbildung 58**). Zusätzlich sind auch hier die Kaltluftabflüsse in östliche Richtung zu beachten (**Abbildung 59**), die nur durch die Begehung aber nicht über die Ausbreitungsrechnung abgebildet werden können.

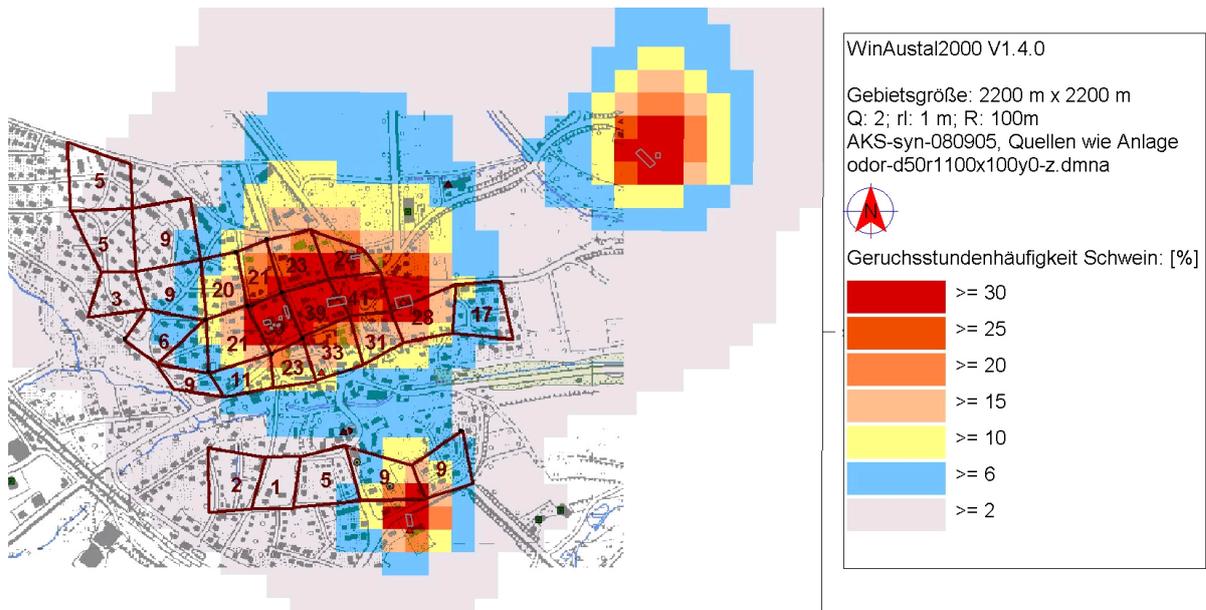


Abbildung 58: Vergleich der gemessenen und berechneten Geruchshäufigkeiten für die Geruchsart „Schwein“ am Projektstandort Nr. 2 (Hohenlohe) (BUCHLEITHER & AHRENS, 2005)

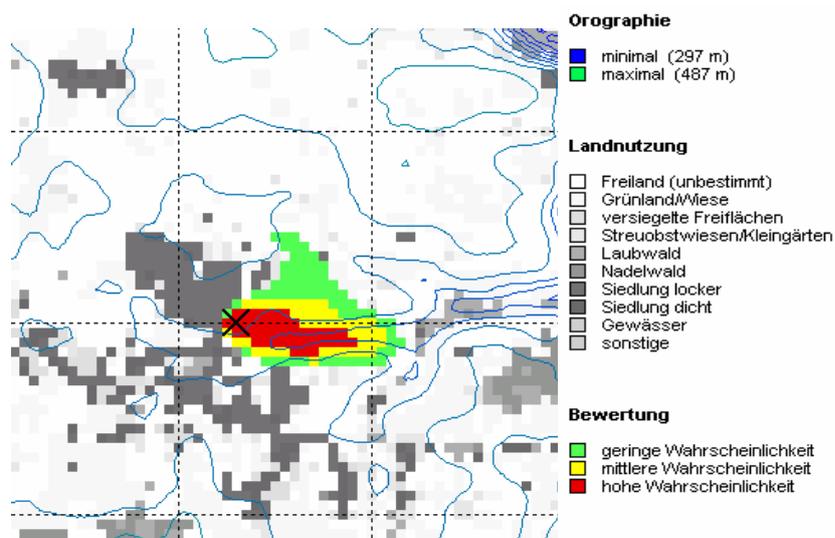


Abbildung 59: Wahrscheinlichkeit von Geruch infolge von Kaltluftabflüssen ausgehend vom Untersuchungsbetrieb (Schweinehaltung) am Projektstandort Nr. 2 (Hohenlohe) (1 km Raster, genordet)

Die Bedeutung einer an die tatsächlichen Gegebenheiten bestmöglich angepassten Modifikation der Eingabeparameter sowie der Berücksichtigung von Kaltluftabflüssen ist im Zuge der Vergleichsbetrachtungen deutlich geworden. Berechnungen mit integriertem Geländeprofil wurden nicht durchgeführt. Zudem stimmte die in der Ausbreitungsrechnung verwendete Meteorologie nicht komplett mit der Situation bei den Begehungen überein. Die Vereinfachungen und die Verwendung des Ausbreitungsmodells AUSTAL2000G im Grenzbereich des hierfür definierten zulässigen Anwendungsrahmens beeinflussen die Ergebnisqualität und Aussagekraft.

Sicherlich stellen Ausbreitungsrechnungen hohe Anforderungen an die Sachkunde des Anwenders. Im Regelfall ist kein „Korrektiv“ durch vorhandene Begehungsdaten gegeben. Dennoch sollte die Sensitivität der Ergebnisse auf verschiedene Berechnungsvarianten überprüft und plausibilisiert werden.

4.2.7 Fazit

Die Gesamtschau der Literaturanalyse und der eigenen Ergebnisse zu den Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung entlang des Ausbreitungspfades von der Emission über die Transmission zur Immission führen zu folgendem Fazit:

- Die human-sensorische Messung von Emissionen und Immissionen ist sehr aufwändig und weist eine nennenswerte Messunsicherheit auf. Es sollte weiter die Verbesserung von Qualitätssicherungsmaßnahmen und Standardisierung von Methoden und Abläufen vorangetrieben werden, um zukünftige Messungen besser vergleichen zu können. Die technisch-sensorische Alternative (Geruchssensoren) können die Olfaktometrie und Begehungen noch nicht ersetzen, sondern bislang nur ergänzen.
- Die Datenbasis im Sinne von Einzelmessungen weist sowohl emissions- als auch immissionsseitig eine hohe Variabilität auf. Flächenquellen, diffuse Quellen und offene Stallsysteme sind deutlich schlechter untersucht. Breit angelegte Messprogramme zur repräsentativen Ableitung von Emissionsfaktoren oder Geruchsschwellenabständen insbesondere für den aktuellen Stand der Tierhaltungstechnik oder gar zur Wirkung von Minderungsmaßnahmen über die gesamte Verfahrenskette fehlen. Insbesondere Immissionsminderungsmaßnahmen sind vorwiegend nur simulationstechnisch untersucht und haben die Problematik, dass ihre Wirksamkeit sehr vom jeweiligen Anwendungsfall und Standort abhängig ist. Entsprechend ist es derzeit nicht zu vertreten, allgemeingültige Aussagen in weiterer Differenzierung zu z.B. Haltungs- und Lüftungsverfahren, Managementmaßnahmen, Minderungsmaßnahmen oder Standortfaktoren zu treffen.

- Bisher ist man für die Beurteilung auf Experteneinschätzungen und Konventionswerte oder eine aufwändige Einzelfallbeurteilung angewiesen. Eine Vielzahl von Mess- und Modellierungsergebnissen zu Emissionen und Immissionen im Rahmen von privaten Gutachten ist nicht zugänglich. Die anonymisierte Sammlung dieser Daten unter Angabe der Rahmenbedingungen und Methoden in einer standardisierten Online-Datenbank und folgender Massendatenanalyse wäre ein erheblicher Erkenntnisgewinn. Um eine gute Akzeptanz von Emissionsfaktoren und Minderungsmaßnahmen zu erreichen, ist eine sehr gute Nachvollziehbarkeit unerlässlich.
- Es besteht weiterer Forschungsbedarf im Hinblick auf die Beurteilung von Geruchsmissionen, welche Werte emissions- als auch immissionsseitig notwendig zu erfassen sind und wie sensitiv das Beurteilungsverfahren dafür ist; sei es eine Durchschnitts- oder Häufigkeitsbetrachtung, eine höhere zeitliche und räumliche Auflösung, eine Zeitreihenanalyse oder Gewichtung von relevanten Geruchsergebnissen.
- Die Ausbreitungsmodellierung ist ein wichtiges Werkzeug, das in die Hände eines erfahrenen Anwenders gehört. Die Aussagekraft bzw. Messunsicherheit der Ergebnisse steht und fällt mit der für den Anwendungsfall passenden Modellstruktur, der Wahl und Modifikation der Eingabeparameter sowie der Datenbasis und implizierten Teilmodelle für die Transmissionsbedingungen (Meteorologie, Geländestruktur).
- Die Einschränkungen bei der Anwendung, denen das derzeitige TA-Luft Modell AUSTAL2000G unterliegt, sind zu beachten und offen zu legen. Eine pragmatische und vereinfachte Anwendung ist wenig zielführend. Insbesondere die Modellierung an bodennahen, diffusen und variierenden Quellen (also der landwirtschaftlichen Tierhaltung) ist eine Herausforderung. Die Interpretation von Modellierungsergebnissen hat mit Sorgfalt und Sachkunde, insbesondere bei der Bewertung von Grenzwertüberschreitungen zu erfolgen.
- Verschiedene Hilfsmittel zur Beurteilung von Kaltluftabflüssen, Winddaten und zur Grobabschätzung von Immissionsrisiken können eine Immissionsbeurteilung ergänzen, aber nicht ersetzen.

4.3 Hedonische Geruchswirkung

Die Beurteilung der hedonischen Wirkung von Gerüchen aus der Tierhaltung kann emissionsseitig (Beurteilung von Stallluftproben am Olfaktometer im überschwelligen Bereich) oder immissionsseitig in der durch eine Geruchsfahne beaufschlagten Außenluft im Rahmen von Begehungen (VDI 3940-3, 2010) erfolgen. Es sind jedoch nur wenige systematische vergleichende Untersuchungen veröffentlicht.

4.3.1 Tierhaltungsgerüche im Vergleich

Die olfaktometrische Intensitäts- und Hedonikbeurteilung einiger weniger Stallluftproben von MANNEBECK & HESSE (1998) zeigt als erste Anhaltswerte in **Abbildung 60** neben der Intensität im Mittel aller Bewertungen eine stärker negative Bewertung von Schweinestallluft als von Kuhstallluft, die eher als neutral im Sinne von weder angenehm noch unangenehm eingestuft wurde.

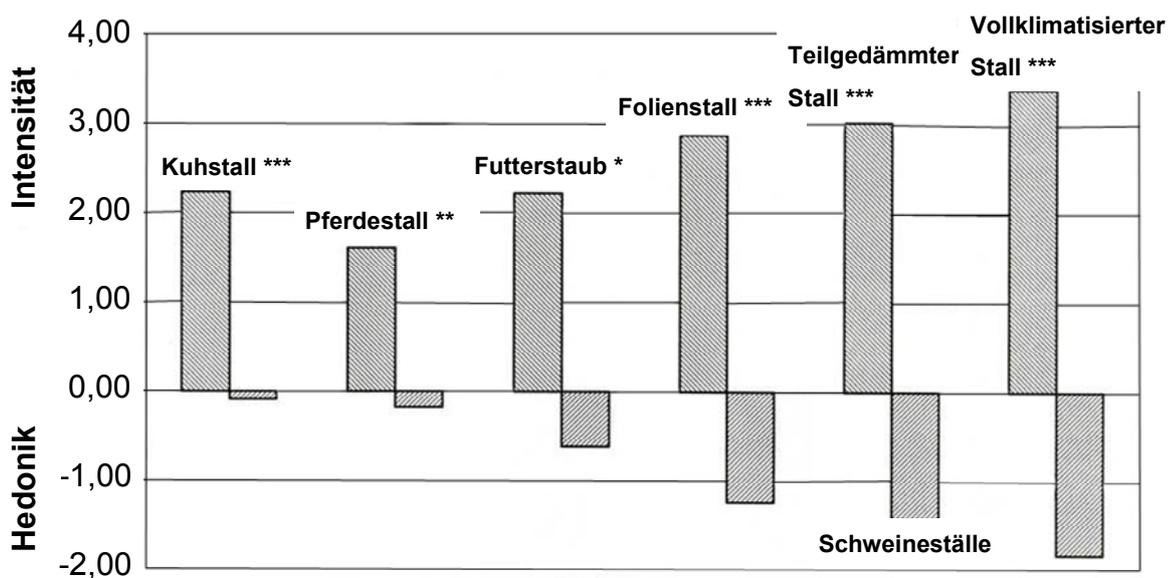


Abbildung 60: Geruchsintensität und hedonische Geruchswirkung verschiedener Stallsysteme und Tierarten (* Anzahl Messtermine 1 bis 3; je Säule ein Stall; Intensitätsskala von 0 bis 6; Hedonikskala von -4 bis +4) (MANNEBECK & HESSE, 1998)

Die Ergebnisse von NIMMERMARK (2006) zum Zusammenhang zwischen Hedonikbewertung und Geruchsstoffkonzentration von Luftproben aus der Schweinemast, Milchviehhaltung (Laufstall), Bodenhaltung von Legehennen sowie einem Schweineflüssigmistauslass zeigt **Abbildung 61**. Die Streuung der Einzelurteile ist sowohl entlang der Hedonikskala als auch über die Spannweite der Geruchskonzentrationen sehr groß. Entsprechend sind die Ergebnisse auch nur zu 17% bis 49% allein durch die Geruchskonzentration erklärbar. Der Trend zu mehr negativen Hedonikurteilen

bei zunehmenden Geruchskonzentrationen ist aber gegeben. In allen Fällen ist eine nennenswerte Anzahl von neutralen Bewertungen und sogar vereinzelt Bewertungen als leicht angenehm zu verzeichnen. Rindergerüche werden auch bei steigenden Geruchskonzentrationen als angenehmer beurteilt als Schweine-, Flüssigmist- und Legehennengeruch, die sich in dieser Untersuchung nicht weiter rangieren lassen. Ein Einfluss der Geruchshistorie und Erfahrung der Probanden auf die Ergebnisse war gegeben.

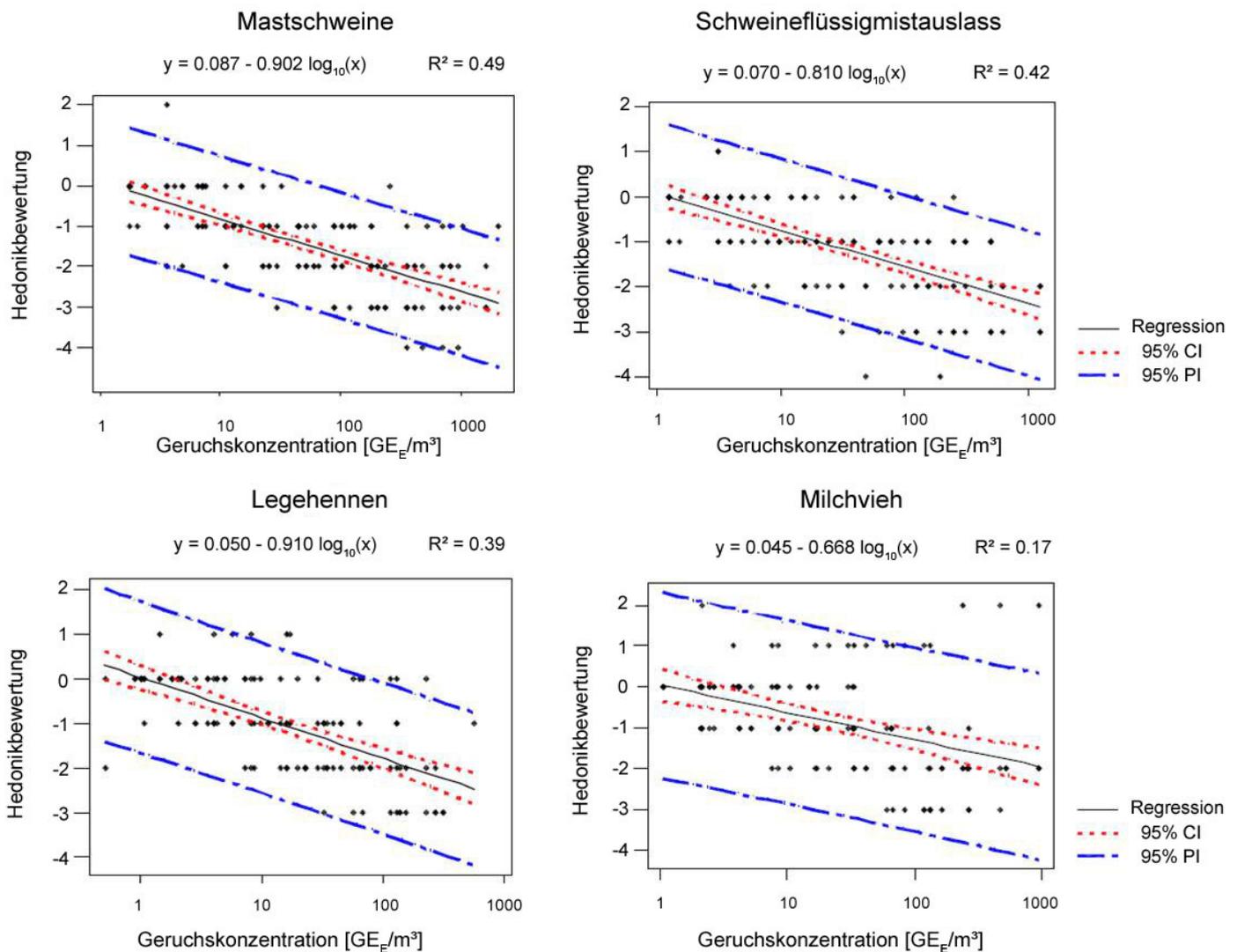


Abbildung 61: Hedonik als Funktion der Geruchsstoffkonzentration mit Regressionslinie und -funktion, sowie 95%-Perzentile des Konfidenzintervalls (CI) und Vorhersageintervalls (PI). Luftproben aus der Schweinemast, Milchviehhaltung (Laufstall), Bodenhaltung von Legehennen sowie einem Schweineflüssigmistauslass. Hedonikskala von -4 (äußerst unangenehm) über 0 (neutral) zu +4 (äußerst angenehm) (NIMMERMARK, 2006)

HÜGLE & ANDREE (2001) untersuchten die Hedonik von Luftproben, die aus dem Luftraum über unterschiedlich temperiertem (10 °C, 20 °C, 30 °C) Schweine- und Rinderflüssigmist entnommen wurden, der in Laborbehältern abgefüllt war. Wie **Abbildung 62** zu entnehmen ist, wurden Proben über angewärmten Flüssigmist als angenehmer eingestuft als die über kühlem Flüssigmist. Rinderflüssigmist erhielt auch bei höheren Geruchskonzentrationen weniger negative Bewertungen als Schweineflüssigmist, wobei speziell die Geruchskonzentrationen über dem kühlen Rinderflüssigmist sehr gering waren.

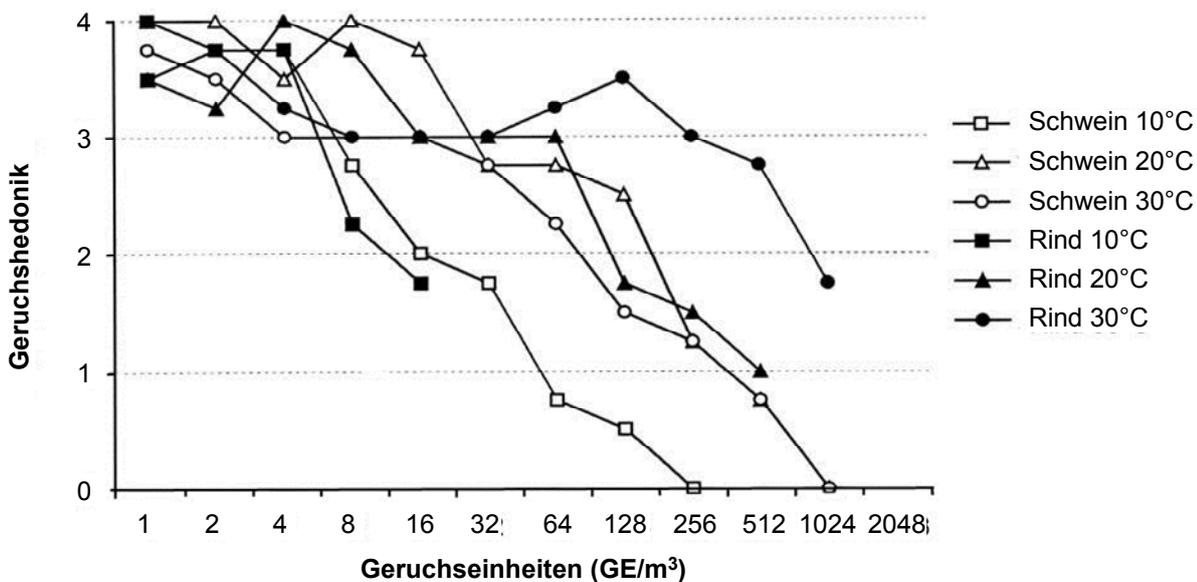


Abbildung 62: Hedonische Wirkung von Schweine- und Rindergülle bei verschiedenen Temperaturen. Hedonikskala von 0 (äußerst unangenehm) über 4 (neutral) zu 9 (äußerst angenehm) (HÜGLE & ANDREE, 2001)

Ein umfangreicher Datensatz für die hedonische Bewertung der Immission von Gerüchen aus der Tierhaltung wurde im Rahmen von Rasterbegehungen im Verbundprojekt „Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft“ erhoben (SUCKER et al., 2006). Die Daten stammen aus elf Untersuchungsgebieten in Nordrhein-Westfalen (drei Gebiete), Baden-Württemberg (vier Gebiete), Niedersachsen (zwei Gebiete), Mecklenburg-Vorpommern (ein Gebiet) und Sachsen (ein Gebiet). In die Gesamtauswertung sind die Daten aus den eigenen Erhebungen (vier Untersuchungsgebiete in Baden-Württemberg), die in Kapitel 4.2.6 differenziert dargestellt werden, eingeflossen. Die Bewertungen der Geruchseindrücke wurden bereits nach dem nun in VDI 3940-3 (2010) beschriebenen Verfahren durchgeführt.

Abbildung 63 zeigt statistisch signifikant, dass mit zunehmender Intensität die Gerüche als unangenehmer eingestuft werden. In der Tendenz, statistisch aber nicht bestätigt, ist eine absteigende Unangenehm-Reihung der Geruchsqualitäten ablesbar

(Rind < Schwein < Geflügel bzw. Silage < Gülle < Mist). Interessant ist aber die Bewertung von Rinder- bzw. Silagegerüchen als eher neutral und nur leicht unangenehm. Dies zeigt sich auch in der hedonischen Klassifikation mit Hilfe von Polaritätenprofilen (**Abbildung 64**).

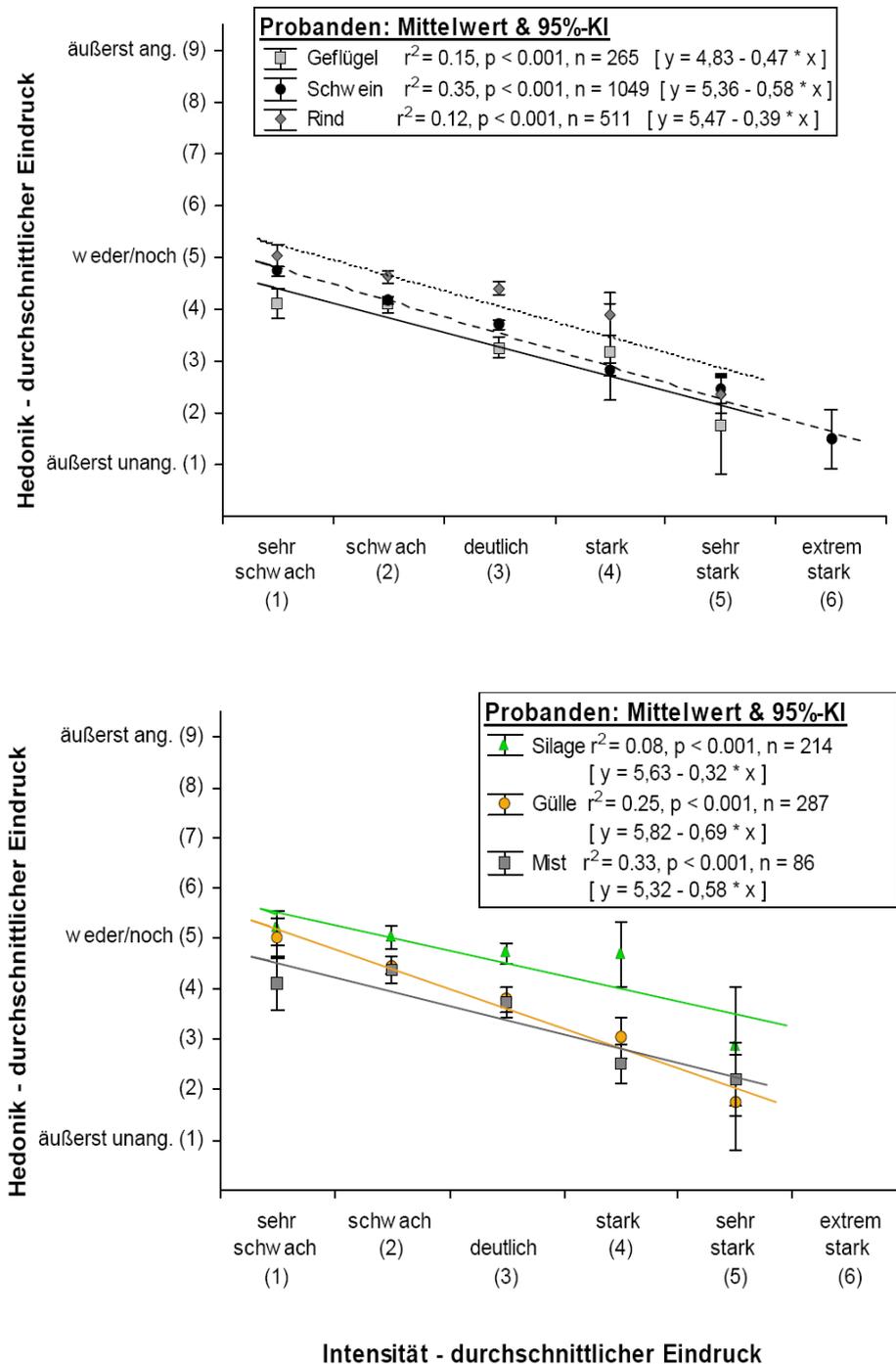


Abbildung 63: Zusammenhang zwischen Intensität und Hedonik für unterschiedliche Geruchsqualitäten (SUCKER et al., 2006). Die Stichprobenanzahl (n) bezeichnet hier die Messzeitintervalle von Rasterbegehungen mit nach Geruchsart differenzierten, erkennbaren Geruchswahrnehmungen, die von Probanden bewertet wurden.

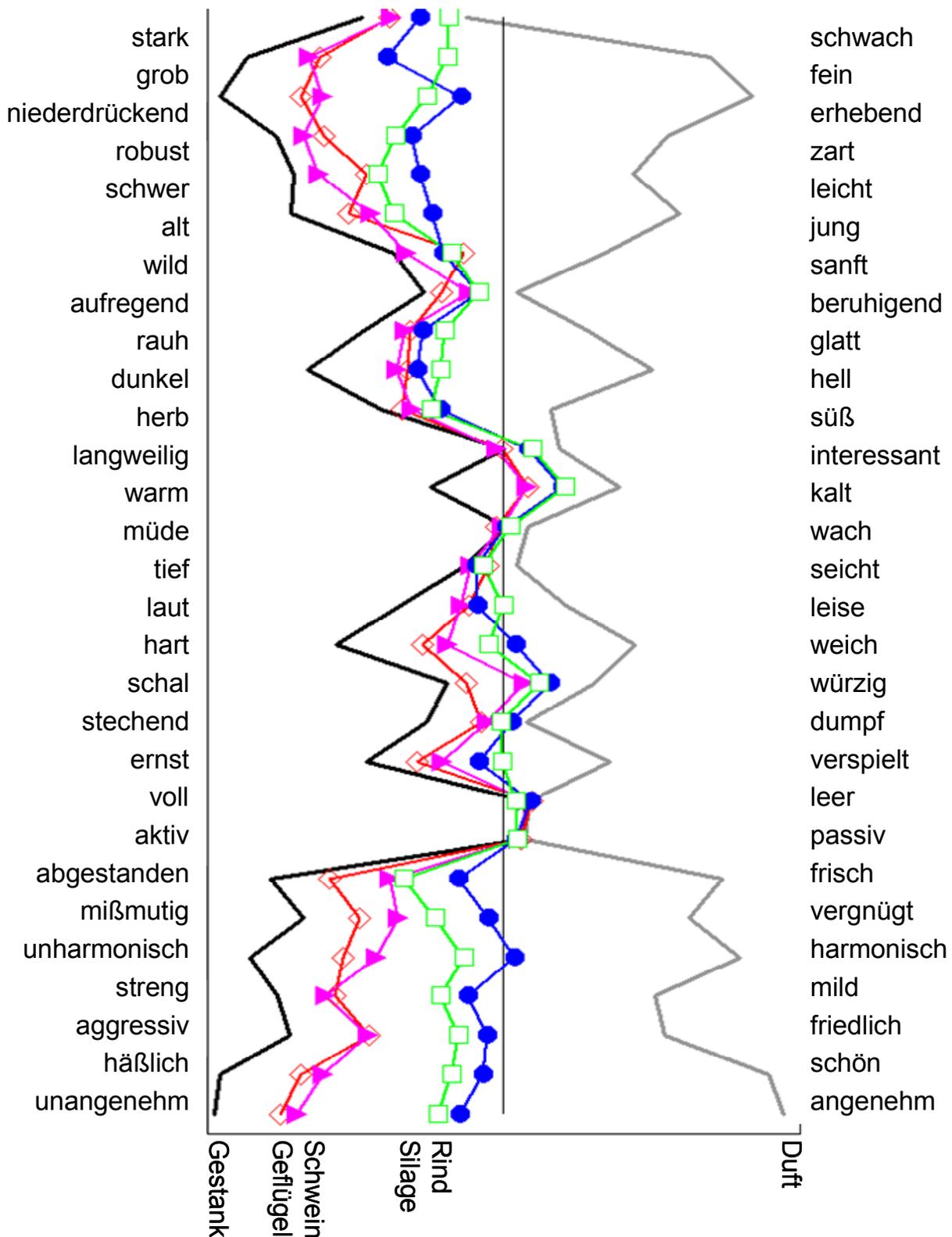


Abbildung 64: Polaritätenprofile für die Geruchsqualitäten „Geflügel“, „Schwein“, „Rind“ und „Silage“ im Vergleich zu den Konzepten „Duft“ und „Gestank“ (nach SUCKER et al., 2006). Anzahl Profile jeweils: Duft (54), Gestank (54), Rind (47), Silage (32), Schwein (55), Geflügel (31)

4.3.2 Ergebnisse eigener Untersuchungen

Die eigenen Untersuchungen umfassen Intensitäts- und Hedonikbewertungen im Rahmen von Rasterbegehungen an vier Standorten mit vorwiegend Schweinehaltung in Baden-Württemberg, die in Kapitel 4.2.6 eingehend beschrieben werden. Die Bewertungen der Geruchseindrücke wurden bereits nach dem nun in VDI 3940-3 (2010) beschriebenen Verfahren durchgeführt.

Zunächst werden beispielhaft die Häufigkeitsverteilungen des Geruchszeitanteils, der Intensitäts- und Hedonikbewertung für den Standort mit der geringsten (**Abbildung 65**) bzw. höchsten Geruchsbelastung (**Abbildung 66**) im Vergleich dargestellt. Die eingegangene Stichprobenanzahl der Intensitäts- und Hedonikbeurteilungen ist entsprechend am hoch belasteten Standort Nr. 3 (Ostalb) mehr als dreifach so hoch als am gering belasteten Standort Nr. 4 (Enzkreis). In dieser Darstellung sind alle Bewertungen berücksichtigt, unabhängig davon, wie viele Takte mit erkennbarem Geruch im beurteilten Messzeitintervall enthalten waren. Ebenso wird im Vergleich ein um 15% höherer Anteil der Intensitäten als „deutlich“ (Stufe 3) und ein geringerer Anteil als „schwach“ (Stufe 2) oder „sehr schwach“ (Stufe 1) beurteilt. Die Häufigkeitsverteilung der Hedonikbewertungen weist am Standort Nr. 3 (Ostalb) mehr Bewertungen als „leicht unangenehm“ (Stufe -1) aus. Der Anteil der als „neutral“ gewerteten durchschnittlichen Eindrücke ist aber gleich. Die Unterschiede entlang der zunehmend Unangenehm Skala (-2; -3; -4) sind nur gering.

Bereits im Vorfeld zur Auswertung des länderübergreifenden Datensatzes zur Tierhaltung (vgl. Kapitel 4.3.1; SUCKER et al., 2006) wurden von SUCKER & BOTH (2005) im Unterauftrag die Daten der eigenen Untersuchungen entsprechend bearbeitet. **Abbildung 67** zeigt den Zusammenhang zwischen Intensität und Hedonik für die Stichprobe aus Baden-Württemberg. Im Gegensatz zur obigen Darstellung der Häufigkeitsverteilungen (Abbildung 65 und 66), wurden in dieser Auswertung nur die Beurteilungen von Messzeitintervallen berücksichtigt, die als Geruchsstunde (mindestens 6 von 60 Takten mit erkennbarem Geruch) gewertet wurden. Obwohl beim Vergleich der Tierarten die Stichprobe entsprechend geringer und durch den Fokus auf die Schweinehaltung eher unausgewogen ist, zeigen sich bereits dieselben Zusammenhänge wie bei der Auswertung des länderübergreifenden Gesamtdatensatzes. Dabei ist natürlich zu berücksichtigen, dass die eigenen Daten aus Baden-Württemberg einen substantiellen Anteil am Gesamtdatensatz des Verbundprojektes ausmachen. Mit steigender Intensität werden die Gerüche mit Ausnahme von Silage meist statistisch signifikant als unangenehmer empfunden. Tendenziell werden Rindergerüche und Silagegerüche angenehmer als Schweine-, Gülle- und Mistgerüche empfunden und wie die als am unangenehmsten beurteilten Putengeruchsimmissionen (nur eine Anlage).

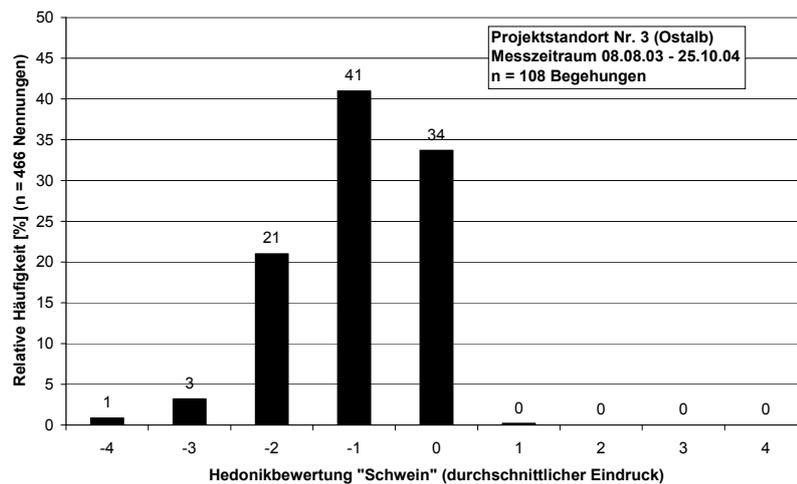
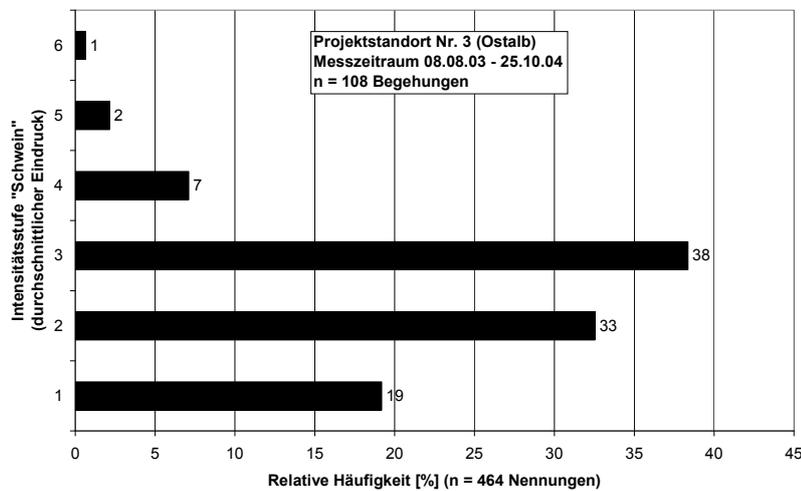
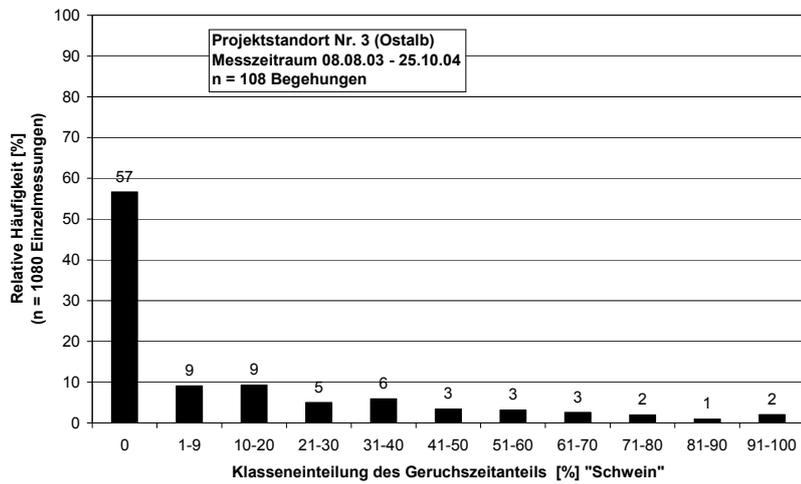


Abbildung 65: Häufigkeitsverteilung des Geruchszeitanteils (Oben), der Intensitätsbewertung (Mitte) und Hedonikbewertung (Unten) von Messzeitintervallen mit der Geruchsart „Schwein“ am Standort Nr. 3 (Ostalb). Intensitätsskala von 1 (sehr schwach) über 3 (deutlich) zu 6 (extrem stark); Hedonikskala von -4 (äußerst unangenehm) über 0 (neutral) zu +4 (äußerst angenehm)

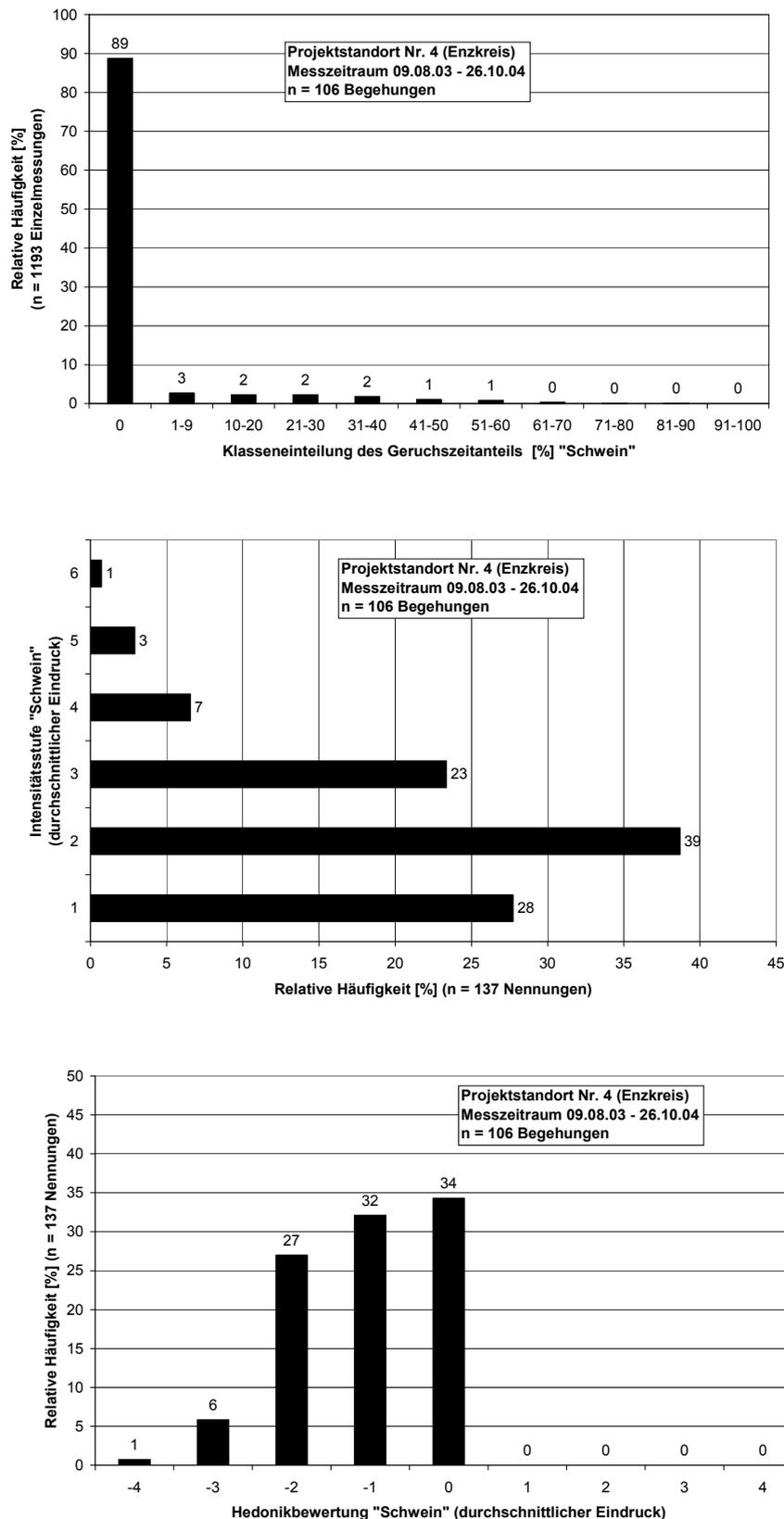


Abbildung 66: Häufigkeitsverteilung des Geruchszeitanteil (Oben), der Intensitätsbewertung (Mitte) und Hedonikbewertung (Unten) von Messzeitintervallen mit der Geruchsart „Schwein“ am Standort Nr. 4 (Enzkreis). Intensitätsskala von 1 (sehr schwach) über 3 (deutlich) zu 6 (extrem stark); Hedonikskala von -4 (äußerst unangenehm) über 0 (neutral) zu +4 (äußerst angenehm)

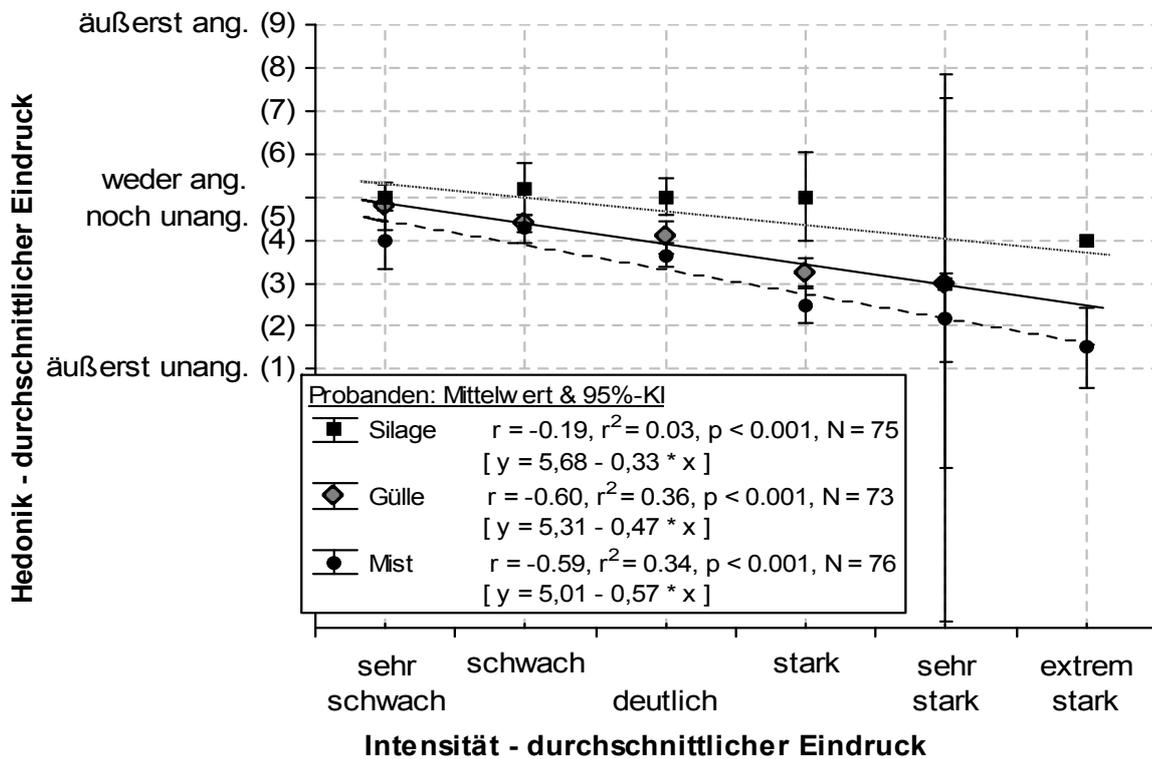
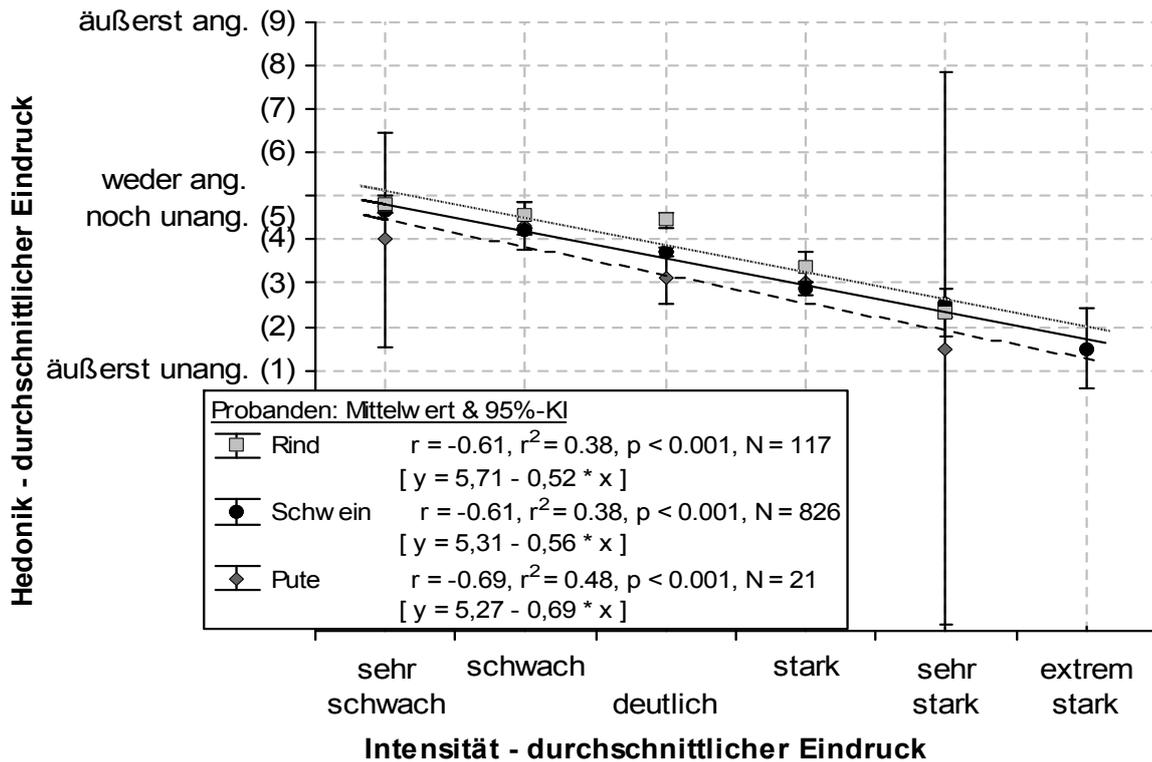


Abbildung 67: Zusammenhang zwischen Intensität und Hedonik für unterschiedliche Geruchsqualitäten (SUCKER & BOTH., 2005). Die Stichprobenanzahl (n) bezeichnet hier die als Geruchsstunde gewerteten Messzeitintervalle von Rasterbegehungen an vier Projektstandorten mit nach Geruchsart differenzierten, erkennbaren Geruchswahrnehmungen, die von Probanden bewertet wurden.

Weiterhin war im Hinblick auf die Beurteilungswerkzeuge für Immissionen zu prüfen, inwieweit die Probandenurteile das Empfinden der Anwohner (potentiell Belästigte) widerspiegeln können. Probanden bewerten aktuelle Geruchseindrücke und sind geschult in Hinblick auf die Differenzierung von Geruchsqualitäten und die Spannweite von Geruchseindrücken entlang der Intensitäts- und Hedonikskala. Anwohner äußern sich im Rahmen von Befragungen meist rückwirkend aus der Erinnerung heraus und ergeben eine vergleichsweise sehr geringe Stichprobe.

Dennoch ist eine gute Annäherung zwischen dem Probanden- und Anwohnerurteil sowohl bei der Einstufung auf der Intensitäts- und Hedonikskala an sich als auch im Zusammenhang zwischen Hedonik und Intensität erkennbar. Für Anwohner ist aber das spezifische Benennen bzw. die Differenzierung von landwirtschaftlichen Geruchsqualitäten schwieriger. Weiterhin können Anwohner subjektiv eine andere Geruchsqualität als vorherrschend empfinden, obwohl die Geruchshäufigkeiten im Vergleich zu weiteren Geruchsqualitäten geringer sind. Beispielsweise stellte am Projektstandort Nr. 2 (Hohenlohe) mit eindeutiger Dominanz von Schweinegerüchen (vgl. Kapitel 4.2.6.3; Abbildung 56 und 57) in der Wahrnehmung der befragten Anwohner der Putengeruch von nur einer Anlage die dominierende Geruchsqualität dar.

4.3.3 Fazit

Die Hedonik und der Zusammenhang zur Intensität und Geruchskonzentration von Tierhaltungsgerüchen sind mittlerweile etwas besser untersucht. Tierartunterschiede, meist aber kaum größer als ein Skalenpunkt auf der neunstufigen Hedonikskala, lassen sich tendenziell aus den Ergebnissen ableiten. Eine weitere Differenzierbarkeit z.B. hinsichtlich Haltungs- Lüftungs- oder Fütterungsverfahren innerhalb einer Tierart ist entsprechend nicht realistisch. Es fehlt an systematischen Untersuchungen auch zur Wirkung von verschiedenen Einflussfaktoren auf die Hedonik der Tierhaltungsgerüche, vor allem im Praxismaßstab. Fraglich ist, ob sich hedonische Unterschiede durch die Probandenurteile, die meist eine sehr hohe Streuung aufweisen, überhaupt nachweisen ließen.

Zu beachten bleibt, dass die immissionsseitige hedonische Wirkung nicht einfach aus einer emissionsseitigen Probe abzuleiten ist. Zum einen können während der Geruchsstoffausbreitung Veränderungen auftreten. Zum anderen erfolgt die Beurteilung mit unterschiedlichen Methoden bei unterschiedlichen Geruchskonzentrationen (Olfaktometer oder Bewertung der Außenluft mit/ohne Feldolfaktometer).

4.4 Belästigungswirkung

Im Folgenden werden verfügbare Untersuchungen zur Belästigungswirkung von Tierhaltungsgerüchen aus Deutschland und den Niederlanden im jeweilig chronologischen Verlauf erörtert. Es wird als wichtig erachtet, die Hintergründe, Unterschiede und Datengrundlage ausführlicher zu beleuchten; auch unter Verwendung der Originalabbildungen der zitierten Quellen. Schließlich stützen sich entsprechende Geruchsmissionsschutzregelungen auf genau diese Quellen.

Zu beachten ist, dass in den Untersuchungen sowohl unterschiedliche Belästigungs- als auch Belastungsmaße verwendet werden. Die Belästigung wird an einer Thermometerskala oder dem prozentualen Anteil Belästigter in unterschiedlichen Ausprägungen (Belästigte, stark Belästigte, sehr stark Belästigte) festgemacht. Als Belastungsmaß dienen in deutschen Untersuchungen zeitliche Geruchsmissionshäufigkeiten ermittelt durch Rasterbegehungen. In den niederländischen Quellen werden Geruchsexpositionswerte als 98-Perzentil der Geruchsmissionshäufigkeit verwendet, die über Ausbreitungsmodelle errechnet wurden.

4.4.1 Exposition und Wirkung

Es liegen nicht sehr viele systematische Untersuchungen zu Expositions-Wirkungsbeziehungen für Gerüche aus der Tierhaltung vor. Die zunächst detaillierter beschriebenen Untersuchungen von STEINHEIDER et al. (1998) und SUCKER et al. (2006) entstammen derselben Schule von Prof. G. WINNEKE am damaligen Medizinischen Institut für Umwelthygiene (MIU) der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf.

Die Übersicht von WINNECKE & STEINHEIDER (1998) der bis dato vorliegenden wichtigsten Erkenntnisse zu Expositions-Wirkungsbeziehungen für unterschiedliche Geruchsquellen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Untersuchungen mit dem mehrdimensionalen Düsseldorfer Fragebogenkonzept demonstrierten eine Eignung zur Quellendifferenzierung und ergaben erste Belege für Expositions-Wirkungsbeziehungen für Geruchsbelästigung.
- Die Belästigungskomponenten sind hoch interkorreliert.
- Eine vereinfachte Belästigungsmessung unter Verwendung eindimensionaler Skalen oder Endpunkte (z.B. % stark Belästigte) zur systematischen Untersuchung von Expositions-Wirkungsbeziehungen scheint aus pragmatischer Sicht gerechtfertigt.
- In den betrachteten Arbeiten zeigte sich trotz deutlicher Unterschiede im Detail und in der Methodik ein durchweg positiver Zusammenhang zwischen der Höhe

der Exposition und der Ausprägung der Belästigungsreaktion bzw. Häufigkeit „stark“ belastigter Personen.

- In manchen Untersuchungen zeigte sich ein belästigungsmoderierender Einfluss der Hedonik, wenn die hedonischen Unterschiede ausreichend groß und deutlich sind.
- Die Variabilität der Steigungskoeffizienten für den Expositions-Wirkungszusammenhang für unterschiedliche Geruchsarten (hier: Chemiewerk, Stahlwerk, Ö raffinerie, Schweinemast) weist auf systematische Quellenunterschiede hin.
- Die Korrelationskoeffizienten sind größer und mit denen aus der Lärmwirkungsforschung vergleichbar, wenn die Expositions-Wirkungszusammenhänge auf Aggregatdatenbasis (Gebietsmittelwerte) bezogen werden und logarithmierte Expositionswerte dargestellt werden.
- Das reine Ablesen bzw. die Identifikation von Grenzwerten (Erheblichkeit) ist durch das Fehlen von Sprungstellen in den Expositions-Wirkungszusammenhängen erschwert.
- In der Gesamtschau und unter Berücksichtigung von Zusatzkriterien (Symptome, Zumutbarkeit, Vergleich mit Lärmwirkungen) wird eine Geruchsbelastung in einem Bereich zwischen 10% und 20% der Jahresstunden als kritisch angesehen und dementsprechend zur Berücksichtigung in der Geruchsimmissionsrichtlinie empfohlen.

STEINHEIDER et al. (1998) führten im Jahr 1993 im Umfeld eines Schweinemastbetriebes mit etwa 2400 Tierplätzen Rasterbegehungen nach VDI 3940, Ausbreitungsrechnungen (Gaußmodell Faktor 10 nach TA Luft) und Befragungen (vergleichbar zu VDI 3883) durch. Die ermittelten relativ geringen Geruchshäufigkeiten pro Beurteilungsfläche variierten zwischen 1,9% und 15,4% der Jahresstunden, wobei die Entfernung der Untersuchungsgebiete zum Betrieb mit 0,8 km bis 1,5 km recht hoch war und den nach TA Luft notwendigen Abstand von 500 m überschritt. Der Grad der Belästigung wurde in persönlichen Interviews bei 322 Anwohnern in der Nähe des Emittenten und in Kontrollgebieten erhoben.

Unter den gegebenen Quellen- und Geländebedingungen zeigten sich vergleichbare signifikante lineare Regressionen zwischen zunehmender logarithmierter Geruchshäufigkeit pro Fläche (Rasterbegehung bzw. Ausbreitungsrechnung) und zunehmender Belästigung (Angaben auf dem Belästigungsthermometer) (**Abbildung 68**). Die Aufklärung der Wirkungsvarianz war nach Ansicht der Autoren mit 17% bzw. 18% sehr gut. Die Geruchsbelastung war hier quellenbezogen spezifisch. Es wird auf die hohen Einstufungen des Belästigungsgrades auf Werte über sechs von zehn auf der Thermometerskala in den Beurteilungsflächen mit höchster Geruchsbelastung

hingewiesen. Entsprechend wird der nach TA Luft notwendige Schutzabstand von 500 m in diesem Fall als vermutlich zu gering gewertet, um erhebliche Geruchsbelästigungen zu vermeiden. Ein weiterer signifikanter Einfluss auf die Geruchsbelästigung zeigte sich für die Störvariable „Gesundheitsunzufriedenheit“. Der Zusammenhang zu weiteren landwirtschaftlichen Gerüchen wie Kleintier-, Schaf- und Pferdehaltung war nicht-linear und die Belästigungswerte nahmen mit zunehmender Häufigkeit sogar wieder ab. Dies wird als ein gewisses Akzeptanzverhalten für landwirtschaftliche Gerüche im dörflichen Umfeld gewertet (STEINHEIDER et al., 1998).

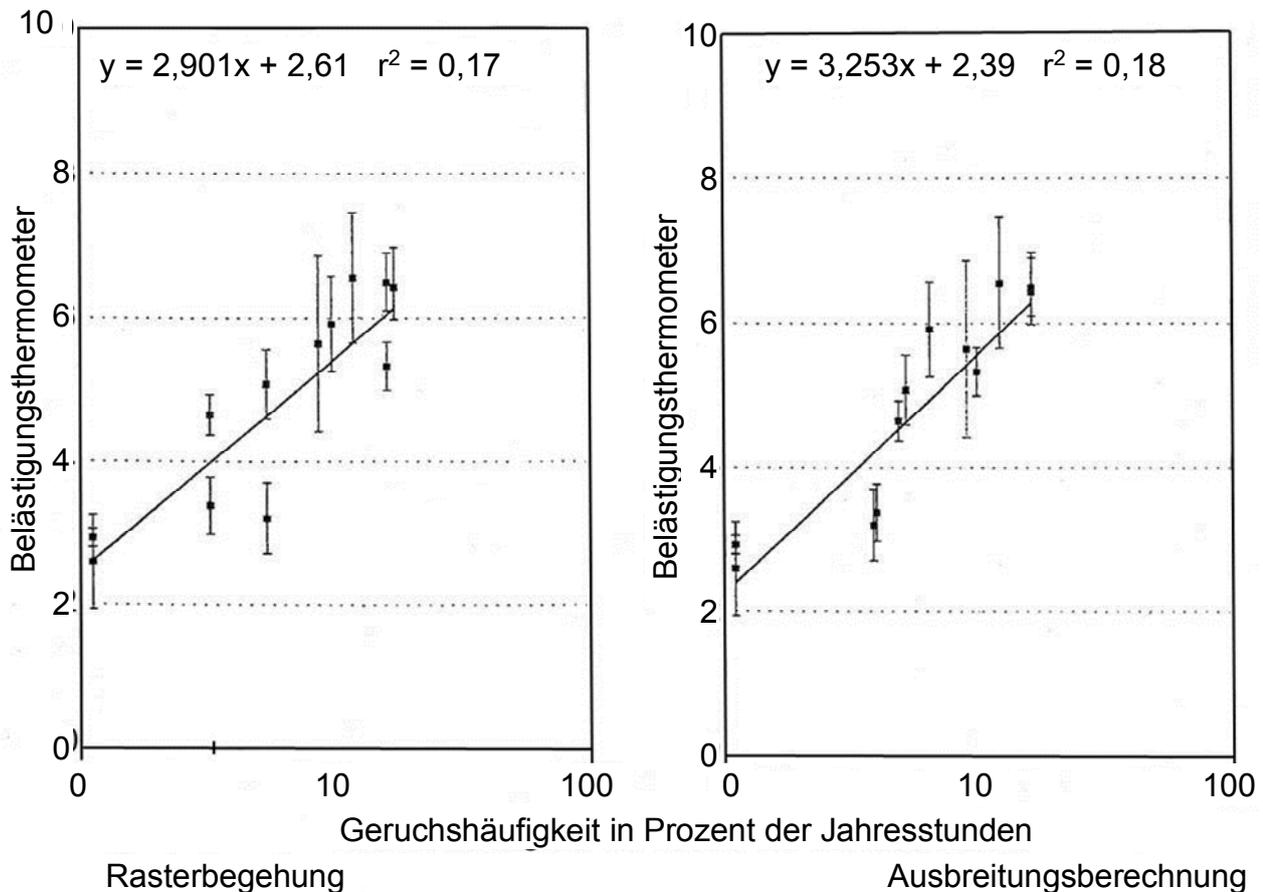


Abbildung 68: Beziehung zwischen der logarithmierten Geruchshäufigkeit aus Rasterbegehung bzw. Ausbreitungsrechnung als unabhängige Variable und der Geruchsbelästigung als abhängige Variable. Mittelwerte und Standardfehler sowie Regressionsgleichung mit der erklärten Varianz (verändert STEINHEIDER et al., 1998).

Die wesentliche Fortführung dieser Fragestellungen, und basierend auf der gleichen Methodik zur Ermittlung von Expositions-Wirkungszusammenhängen, fand im Rahmen des Verbundprojektes „Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft“ statt (SUCKER et al., 2006). Die Geruchsbelastung einschließlich Abfrage der Intensität und Hedonik wurde in elf Untersuchungsgebieten mittels Rasterbegehungen nach VDI 3940-1 und

VDI 3940-3 erhoben. Die Untersuchungsgebiete wiesen eine unterschiedliche Schwerpunktbelastung und Struktur der Tierhaltung auf: Schwein (4x Baden-Württemberg, 1x Mecklenburg-Vorpommern, 1x Niedersachsen), Mastgeflügel (1x Niedersachsen, 1x Nordrhein-Westfalen) und Rind (1x Sachsen, 2x Niedersachsen). In die Gesamtauswertung flossen letztlich aber die eindeutig zugeordneten Daten zu anderen Tierarten und landwirtschaftlichen Geruchsquellen aus allen Untersuchungsgebieten ein.

Die Belästigungsbefragung von insgesamt 950 Anwohnern (davon 433 mit Wahrnehmung von landwirtschaftlichen Gerüchen) erfolgte persönlich anhand eines Fragebogens erweitert nach VDI 3883-1 um Aspekte der Intensität und Hedonik. Der Geruchsbelastung durch „Mastgeflügel“ wurden 259 Anwohner aus vier Gebieten, durch „Rind“ 258 Anwohner aus fünf Gebieten und durch „Schwein“ 433 Anwohner aus neun Untersuchungsgebieten zugeordnet. Im Unterschied zu STEINHEIDER et al. (1998) wurde jedoch keine lineare, sondern eine logistische Regressionsanalyse zur Prüfung des Zusammenhanges von Geruchsbelastung und Belästigungsreaktion unter Berücksichtigung relevanter Einflussfaktoren durchgeführt.

Die wesentlichen Ergebnisse zu den Expositions-Wirkungsbeziehungen (SUCKER et al. 2006) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der mittlere Belästigungsgrad in den einzelnen Untersuchungsgebieten auf der Thermometerskala von Null bis Zehn lag meist zwischen Eins und Drei. An zwei Standorten jedoch signifikant höher, was vermuten lässt, dass hier die Geruchsbelastung durch andere Faktoren als die Geruchsbelastung selbst beeinflusst wurde.
- Mit zunehmender Geruchshäufigkeit nimmt die Belästigung (Thermometerskala) signifikant zu. Im Vergleich zur Einzelfallstudie von STEINHEIDER et al. (1998) waren die mittleren Belästigungswerte geringer, die Streuung aber höher und die Spanne der Geruchshäufigkeiten mit Werten bis zu 80% der Jahresstunden deutlich höher.
- Die logistische Regressionsanalyse beschreibt hier den Expositions-Wirkungszusammenhang zur Zielgröße „(sehr) stark Belästigte“ unter Berücksichtigung von möglicherweise konkurrierenden nicht olfaktorischen Faktoren (Störgrößen). Der Prozentsatz an „Belästigten“ und „sehr stark Belästigten“ nimmt mit steigender Geruchshäufigkeit und tierartabhängig zu, wobei dieser Zusammenhang zum Prozentsatz der „sehr stark Belästigten“ hier nur für Geflügel und Schwein signifikant ist (**Abbildung 69**). Die Faktoren Lärmbelästigung, Gesundheitsunzufriedenheit, Wohnqualität und Wohndauer hatten einen Einfluss.

- Die Belastungsmaße Geruchsintensität und Hedonik ergaben keinen signifikanten Erklärungsansatz für die Belästigungsreaktion. Die hedonischen Unterschiede waren nicht deutlich genug (vgl. Kapitel. 4.3; Abbildung 63). Dennoch zeigen sich wirkseitige Tierartunterschiede, die sich nicht allein durch Hedonik erklären lassen. Die Belästigung scheint mehr von der Gesamtbewertung einer Tierart und den damit verbundenen Assoziationen und dem Akzeptanzniveau für Art und Größe der Produktion beeinflusst zu werden.

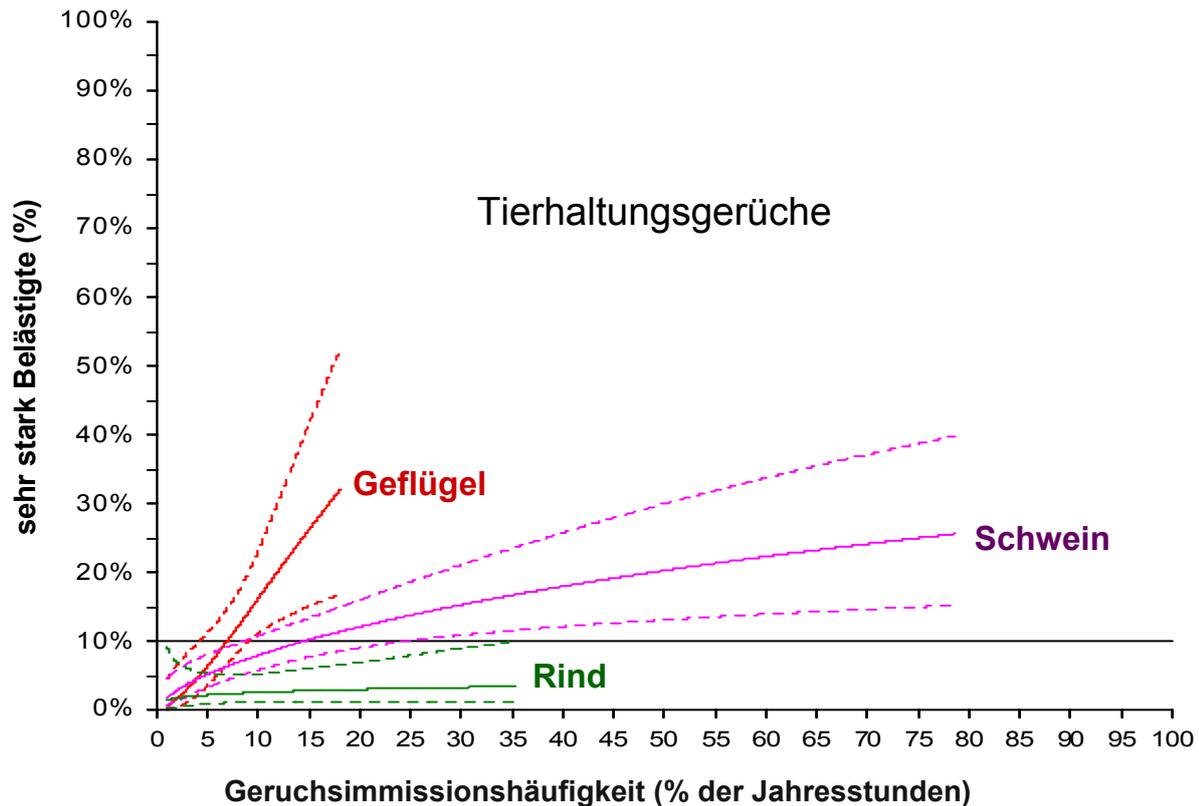


Abbildung 69: Expositions-Wirkungsbeziehung für den Datensatz des Verbundprojektes „Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft“ (SUCKER et al., 2006). Darstellung des prozentualen Anteils an „sehr stark Belästigten“ in Abhängigkeit von der Geruchsbelastung (Geruchshäufigkeit) je Tierart nach Adjustierung für die Störgrößen „Alter“, „Geschlecht“, „Schulbildung“, „Gesundheitsunzufriedenheit“, „Sinusitis“, „schlechte Wohnqualität“, „Lärmbelästigung“ und „Engagement in der Nachbarschaft“. Modellschätzung (durchgezogene Linie) für Rind, Schwein und Geflügel mit jeweiligem 90%-Konfidenzintervall (gestrichelte Linien)

MIEDEMA et al. (2000) unterzogen rückwirkend die Daten aus sieben Belästigungsbefragungen von 1984 bis 1996 an unterschiedlichen (bio)-industriellen Geruchsquellen in den Niederlanden einer erneuten Auswertung. In dieser Datensammlung mit insgesamt 6276 Befragten ist eine Erhebung an einem Schweinestall mit jedoch nur 174 Befragten aus den Jahren 1984/85 enthalten. Der ursprünglichen Quelle (MIEDEMA & HAM, 1988) ist zu entnehmen, dass sich jedoch nur 15 der Befragten durch den Schweinestall belästigt („annoyed“) oder sehr belästigt („very annoyed“) fühlten.

Der Prozentsatz sehr stark („highly annoyed“) Belästigter wird als Funktion des logarithmierten 98-Perzentiles der Geruchsimmissionskonzentration im Jahr ausgedrückt, basierend auf Niederländischen Geruchseinheiten (**Abbildung 70** und **Abbildung 71**). In den niederländischen Untersuchungen wurde die Geruchsexposition aber nicht durch Begehungen oder Messungen ermittelt, sondern ist das Ergebnis von Ausbreitungsrechnungen basierend auf Emissionsmessungen.

Eine gewisse Abhängigkeit von der unterschiedlichen Hedonik der Anlagentypen wurde in der erneuten Auswertung (MIEDEMA et al., 2000) festgestellt, wobei jedoch nicht auszuschließen sei, dass dieses Ergebnis durch andere, mit der Hedonik vermengte Einflussfaktoren, geprägt wurde.

MIEDEMA et al. (2000) bzw. MIEDEMA & HAM (1988) gehen selber nicht weiter auf den schmalen Datensatz für die Schweinehaltung ein. In den Abbildungen 70 und 71 scheint bei aller Vorsicht und auf diese Datenerhebungs- und Auswertemethodik bezogen ein Prozentsatz von 5% bis 10% sehr stark Belästigter in Bezug auf Schweinehaltung bereits bei einem geringeren Geruchskonzentrationsbereich aufzutreten, als dies für die meisten anderen Gerüche der Fall war. Dahingegen ist aber keine Aussage für den Verlauf der Belästigungskurve mit weiter steigender Exposition zu treffen, da für die Schweinehaltung nur wenige Datenpunkte mit sehr geringen modellierten Geruchsimmissionskonzentrationen vorlagen.

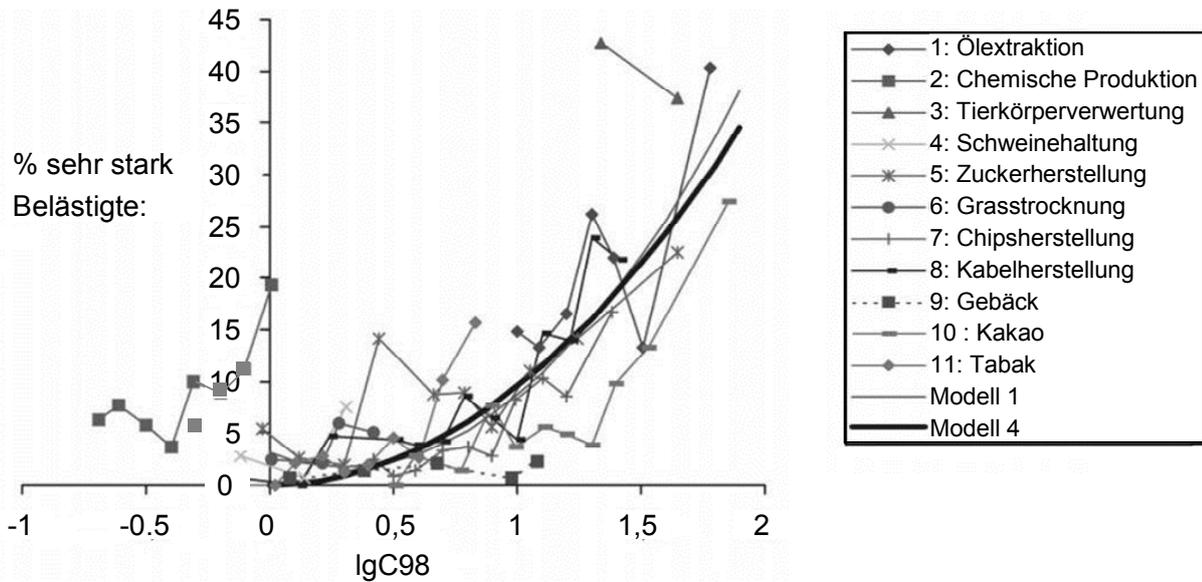
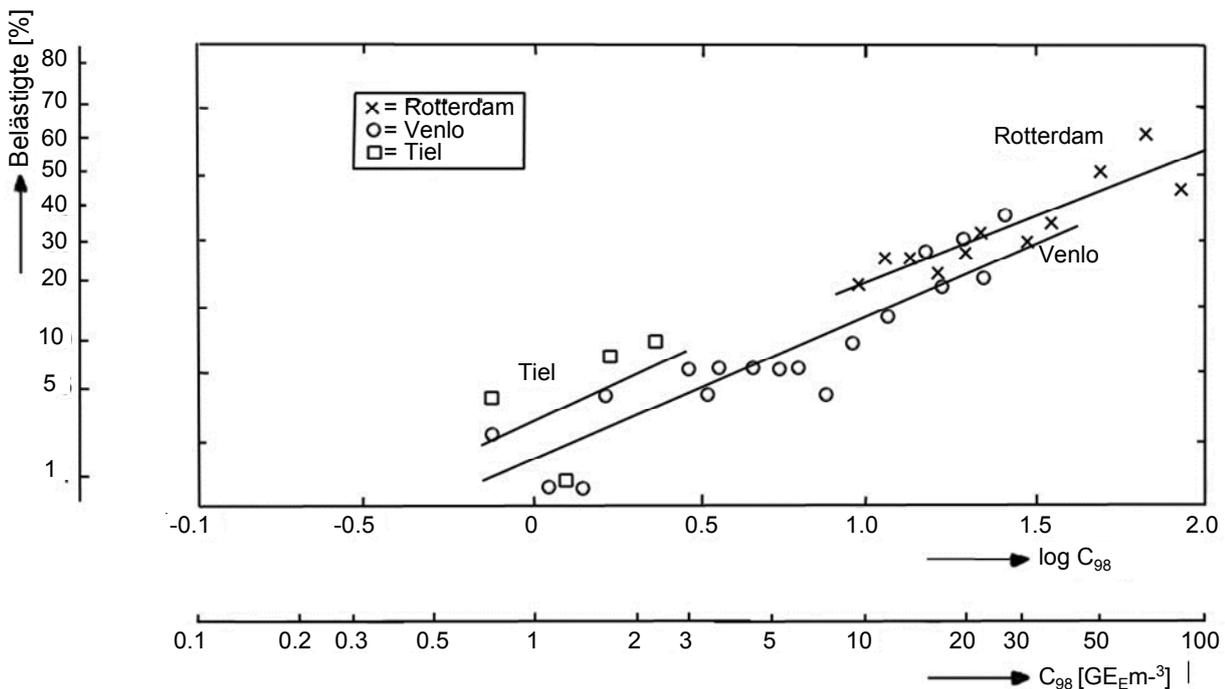


Abbildung 70: Prozentsatz der sehr stark Belästigten als Funktion des Logarithmus des 98-Perzentiles der Geruchsimmissionskonzentrationen im Jahr, das den Befragungen vorangegangen war. Datenpunkte und gewichtete Regressionskurven zweier Modelle (übersetzt nach MIEDEMA et al., 2000) (basierend auf Niederländischen Geruchsein-



heiten)

Abbildung 71: Prozentsatz der Belästigten plus sehr stark Belästigten als Funktion des Logarithmus des 98-Perzentiles der Geruchsimmissionskonzentration im Jahr. Geruchsquellen: Schweinehaltung (Tiel), Raps-ölextraktion (Rotterdam), Kabelisolierung (Venlo) (bearbeitet nach MIEDEMA & HAM, 1988) (basierend auf Niederländischen Geruchsein-

BONGERS (2009) berichtet, dass in den Niederlanden eine Überarbeitung der Geruchsmissionsschutzpolitik notwendig wurde mit dem Ziel, sich mehr am Belästigungspotential der Geruchsmissionen zu orientieren mit flexiblerem Handlungsspielraum für die lokalen Behörden. Die bisherigen Abstandsrichtlinien wurden als zu starr und nicht mehr sachgemäß angesehen. Um die Datenbasis zu den Expositions-Wirkungszusammenhängen zu verbessern, wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes 2001 in der Umgebung von mehreren Schweinehaltungen etwa 2300 Belästigungsbefragungen durchgeführt, an denen BONGERS (2009) selber maßgeblich beteiligt war. Die Geruchsexposition wurde wiederum entsprechend der niederländischen Methodik durch Ausbreitungsrechnungen mit dem damaligen niederländischen nationalen Modell für Ausbreitungsrechnungen (LTFD) abgeschätzt und in Niederländischen Geruchseinheiten ausgedrückt. Die Auswertung des Expositions-Wirkungszusammenhanges erfolgte über eine logistische Regressionsanalyse. (BONGERS et al., 2001).

Folgende Schlussfolgerungen konnten gezogen werden (BONGERS, 2009):

- Mit zunehmender Geruchsexposition steigt auch die Geruchsbelästigung.
- Die Belästigungsempfindlichkeit der jeweiligen Bevölkerung ist bei gleicher Geruchsbelastung unabhängig von der Gebietsnutzungskategorie.
- Die Bevölkerung in den sogenannten Konzentrationsgebieten mit einer vergleichsweise hohen Dichte an Tieren ist weniger sensitiv für Gerüche aus der intensiven Nutztierhaltung als die Bevölkerung in anderen Gebieten. Die Konzentrationsgebiete wurden dabei anhand der Ammoniakemission auf Gemeindeebene definiert.
- Die Geruchsbelästigung kann am Besten von der Immission eines einzelnen Betriebes vorhergesagt werden. Akkumulierung der Gerüche von mehreren Betrieben scheint die Belästigung nicht zu beeinflussen.
- Der Datensatz wurde im Auftrag des Niederländischen Ministeriums für Wohnen, Räume und Umwelt (VROM) von NORDEGRAAF & BONGERS (2007) erneut unter Verwendung des aktuellen niederländischen nationalen Ausbreitungsmodells V-Stacks ausgewertet; dabei wurde nun auch möglichst auf Europäische Geruchseinheiten abgestellt. Die aktualisierten Expositions-Wirkungszusammenhänge sind in **Abbildung 72** dargestellt. Der unterschiedlichen Abhängigkeit der Belästigungsreaktion von der Anzahl Quellen bzw. agrarischen Prägung und Viehdichte wird durch mehrere Kurvenverläufe Rechnung getragen. Die Zusammenhänge gelten in dieser Form nur für die untersuchten Schweinehaltungen, für andere Tierarten können die Beziehungen anders verlaufen (NORDEGRAAF & BONGERS (2007)).

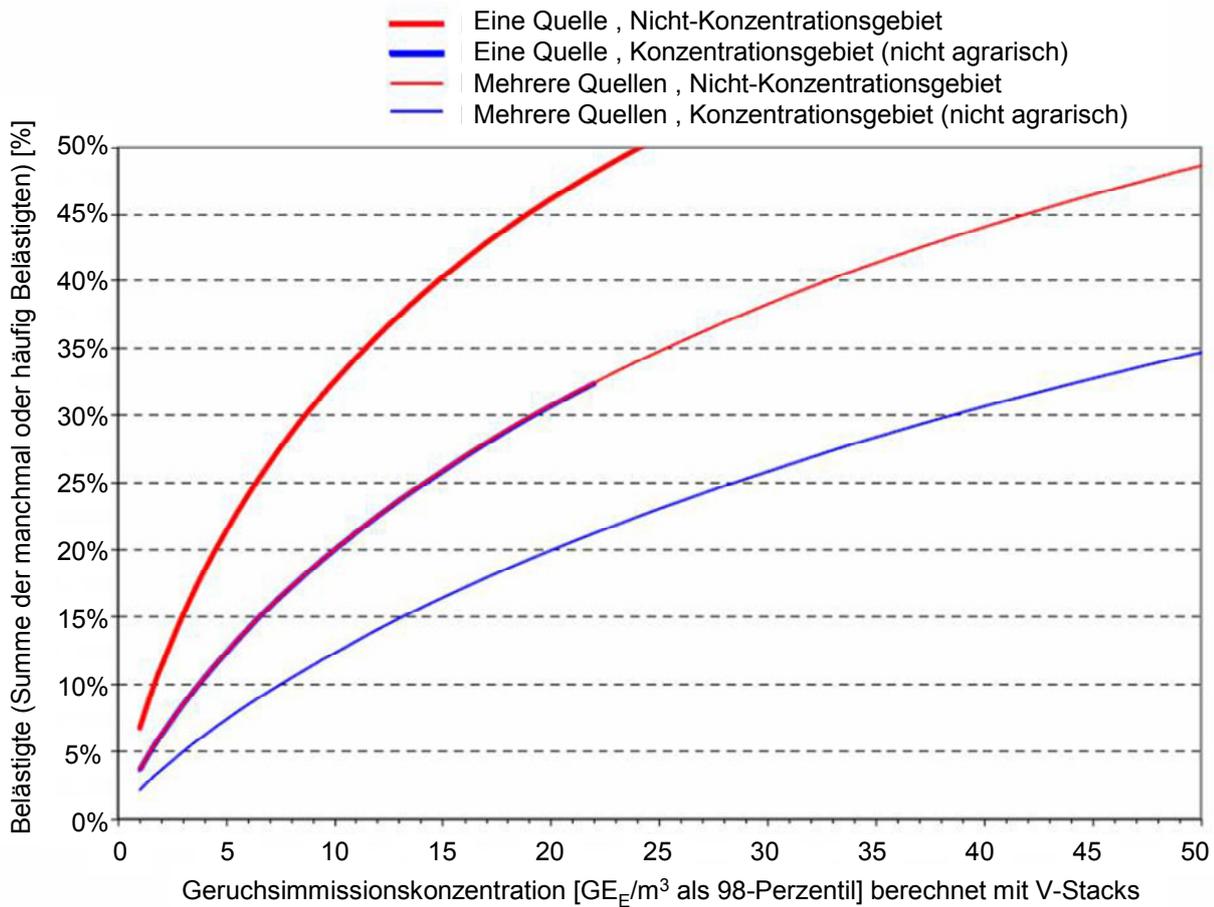


Abbildung 72: Expositions-Wirkungszusammenhänge zwischen dem 98-Perzentil der Geruchsimmissionskonzentration und dem Anteil Belästigter als Summe der manchmal oder häufig Belästigten im Umfeld von Schweinehaltungen (bearbeitet nach NORDEGRAAF & BONGERS 2007)

4.4.2 Ergebnisse eigener Untersuchungen

Im Rahmen der eigenen Untersuchungen zur Anwendung der Geruchsimmissionsrichtlinie unter den speziellen Bedingungen der Baden-Württembergischen Schweineproduktion an vier Projektstandorten in Baden-Württemberg (GALLMANN et al., 2005; Kapitel 4.2.6) wurden ebenso Expositions-Wirkungszusammenhänge ermittelt. Dieser Projektteil wurde mit SUCKER & BOTH (2005) bearbeitet; die folgenden Ausführungen basieren auf dem Abschlussbericht zum Projektteil von SUCKER & BOTH (2005). Die Daten fließen anschließend in die Gesamtbetrachtung mit Erhebungen an weiteren sieben Standorten in Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen und Mecklenburg-Vorpommern ein (SUCKER et al., 2006; Kapitel 4.4.1). Der Datensatz aus Baden-Württemberg ist jedoch bereits als eigenständig verwertbar zu betrachten, da belastbare Expositions-Wirkungszusammenhänge insbesondere für die dortige Schweinehaltung ermittelt werden konnten. Der Stichprobenumfang reichte in den jeweiligen Untersuchungen in den anderen Bundesländern hierfür nicht aus.

Die Belästigungsbefragungen erfolgten persönlich anhand eines Fragebogens (Anhang A6) entsprechend VDI 3883-1 als Gesamterhebung über die vier Projektstandorte (Hohenlohe – 1, Hohenlohe – 2, Ostalb, Enzkreis) in Baden-Württemberg. Die Befragungen wurden erst nach Abschluss von einjährigen Rasterbegehungen zur Erfassung der räumlichen Verteilung der Geruchsbelastung und möglichst unbeeinflusst von aktuellen Ereignissen wie Flüssigmistausbringung durchgeführt. Die Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung wurden vorwiegend durch Schweinehaltung und zusätzlich je nach Standort durch Rinder-, Puten- und Pferdehaltung hervorgerufen. Landwirtschaftliche Gerüche schließen neben den Tierhaltungsgerüchen weiterhin Gerüche aus der Mistausbringung sowie der Lagerung von Mist und Silage ein. Die detaillierten Ergebnisse der Rasterbegehungen an den jeweiligen Projektstandorten sind Kapitel 4.2.6.3 und Anhang A5 zu entnehmen.

Bei der Ausgestaltung des Fragebogens zum allgemein formulierten Untersuchungsgegenstand „Wohn- und Lebensqualität im ländlichen Raum“ sowie während der Durchführung wurde viel Wert auf eine korrekte Methodik gelegt. Zum einen galt es eine erst durch die Befragung erzeugte Sensibilisierung für das Thema Geruchsbelastung durch Tierhaltung zu vermeiden. Zum anderen war es für die weitere Auswertung wichtig, die relevanten Einfluss- und Störgrößen (Moderatorvariablen; vgl. Abbildung 16) auf die Belästigungsreaktion zu erfassen, geeignete Maße für die Belastung und Belästigung sowie ein angemessenes Regressionsmodell zu verwenden und die interne Konsistenz der Antworten überprüfen zu können.

Die soziodemographischen Merkmale der Stichprobe lassen auf eine ausreichende Repräsentativität für den ländlichen Raum bzw. für typische Veredelungsregionen in Baden-Württemberg schließen. Die vier Untersuchungsstandorte waren hinsichtlich der meisten Parameter (Alter, Familien mit Kindern, Dauer der täglichen Anwesenheit zu Hause, Lärmbelästigung, Wohnsituation) vergleichbar. Lediglich der sehr dörflich geprägte Standort Ostalb unterschied sich von den übrigen drei Standorten in den Punkten, dass mehr Frauen als Männer befragt wurden, mehr Anwohner einen Haupt- und Realschulabschluss hatten, die Haltung von Haustieren häufiger und die Wohndauer länger war. Die Möglichkeit einer verzerrten Ergebnisdarstellung aufgrund von Gebietsunterschieden kann dabei auch mit einer Störgrößenkorrektur nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Die Verteilung der Befragungsstichprobe in Abhängigkeit der Geruchsbelastung (**Tabelle 10**) ist mit der Hälfte der auswertbaren Interviews aus sehr gering belasteten Zonen mit bis 10% der Jahresstunden zwar einerseits nicht ganz gleichmäßig. Andererseits ist für diese Untersuchung hervorzuheben, dass über ein Drittel der Daten aus hohen Belastungszonen mit über 30% der Jahresstunden stammen mit einzelnen Werten aus Beurteilungsflächen mit bis zu 80% der Jahresstunden. Im Vergleich zu bisherigen Untersuchungen mit einer geringeren Spannweite der Geruchsbelas-

tungszonen ist das logistische Regressionsmodell zur Abschätzung der Belästigungsreaktion gerade für höher belastete Gebiete entsprechend deutlich besser datenbasiert. Die Antwortrate als Verhältnis zwischen der Zahl der geführten Interviews (289) zur Zahl der Kontaktversuche (1252) betrug zufriedenstellende 23%. Am hochbelasteten Standort Ostalb betrug die Antwortrate sogar 40%. In die weitere Auswertung flossen letztlich die Ergebnisse von 265 bzw. 262 Interviews ein, da bei 24 Interviews keine Zuverlässigkeit der Befragung gewährleistet war und für die Analyse der Expositions-Wirkungszusammenhänge aus inhaltlichen Gründen (Streitsituation) drei weitere Interviews ausgeschlossen werden mussten.

Tabelle 10: Zahl der auswertbaren Interviews pro Belastungszone in Baden-Württemberg, getrennt für die Untersuchungsgebiete und Gesamt

Projektstandort	Belastungszone (Geruchsimmissionshäufigkeit)				Gesamt
	0 – 10%	11 – 20%	21 – 30%	> 30%	
Hohenlohe-1	25	4	9	8	46
Hohenlohe-2	38	9	18	16	81
Ostalb	0	0	0	40	40
Enzkreis	67	13	4	14	98
Interviews	130	26	31	78	265

Eine Wahrnehmung von Gerüchen durch die Anwohner ist in rund 60% (n = 157) der auswertbaren Interviews angegeben. Dabei werden, wie bei den Probanden auch, in der Wahrnehmung der Anwohner die vier Untersuchungsgebiete im Wesentlichen von landwirtschaftlichen Gerüchen (Anteil 84% der erkennbaren Gerüche) geprägt. Somit ist eine Belästigungsreaktion primär Gerüchen aus landwirtschaftlichen Quellen zuzuordnen und das Ergebnis wird nicht bedeutsam durch andere Anlagengerüche und sonstige Gerüche verzerrt. Abweichend von den aus den Rasterbegehungen gewonnenen Belastungsdaten mit eindeutiger Dominanz von Schweinegerüchen an allen Standorten, stellt in der Wahrnehmung der Anwohner in Hohenlohe-2 jedoch der Putengeruch die vorherrschende Geruchsqualität dar. Bei der Betrachtung der Geruchsbeschreibungen zeigt sich zudem, dass das spezifische Benennen bzw. die Differenzierung von landwirtschaftlichen Geruchsqualitäten für die Anwohner schwierig ist.

Die Häufigkeit der Geruchswahrnehmungen im Urteil der Anwohner wurde mit einer Skala von „1-einmal im Monat“ bis „6-mehrmals am Tag“ erfasst. Die Mehrheit der Anwohner (69%), die landwirtschaftliche Gerüche wahrnehmen, gibt an, dass die Gerüche eher selten (nicht mehr als 3 mal im Monat) auftreten. Die Häufigkeitswahrnehmung der Anwohner ist somit deutlich geringer, als die Ergebnisse aus den Ras-

terbegehungen aufzeigen, obwohl etwa ein Drittel der Interviews aus Belastungszonen >20% bzw. >30% der Jahresstunden stammen. Zur Charakterisierung der Geruchsbelastungssituation sind die Häufigkeitsangaben der Anwohner nicht geeignet. Anwohner urteilen aus der Erinnerung heraus, wohingegen Probanden einen aktuellen Geruchsreiz bewerten. Die Diskrepanz in der Häufigkeitswahrnehmung kann auf einen Gewöhnungseffekt der Anwohner hinweisen oder auch als Indiz auf eine höhere Akzeptanzschwelle und eine Bewertung im Sinne einer Ortsüblichkeit gewertet werden.

Ein Zusammenhang von Geruchsbelastung und Geruchsbelästigung zeigt sich anhand der signifikanten Korrelation der Variablen. Die Werte auf dem Belästigungsthermometer als Selbsteinschätzung der Anwohner ihres Belästigungsgrades korrelieren signifikant mit der Geruchsbelastung, ermittelt in den Rasterbegehungen. Die Varianz der Messwerte ist zum Teil sehr hoch, weil pro Belastungsstufe zwischen 1 und 29 Werte zur Verfügung standen. Die Aussagekraft einer Darstellung als Expositions-Wirkungsbeziehung über ein lineares Regressionsmodell ist eingeschränkt, da eine Normalverteilung der Variablen nicht gegeben ist.

Deshalb erfolgt die Prüfung des Zusammenhangs unter Berücksichtigung relevanter anderer Einflussgrößen mit Hilfe der im umweltmedizinischen Bereich üblichen logistischen Regressionsanalyse, die geringere Anforderungen an die Daten stellt. Das Ziel der Regressionsanalyse ist, den funktionalen Zusammenhang zwischen Geruchsbelastung und Belästigungswirkung zu erkennen, die Einfluss- und Störgrößen der funktionalen Beziehung zu bestimmen und die Expositions-Wirkungs-Beziehung darzustellen, sowie fehlende Werte zu interpolieren und dann zukünftige Werte zu prognostizieren. Bei der logistischen Regressionsanalyse wird die Wahrscheinlichkeit berechnet, sehr stark belästigt zu sein. Dabei wird das Chancenverhältnis "Odds-Ratio" (OR) modelliert, das angibt, wie sich z.B. das Anzahlverhältnis von sehr stark Belästigten zu nicht sehr stark Belästigten verhält.

Im Rahmen der logistischen Regressionsanalyse wurde weiterhin geprüft, inwieweit die gefundene Varianz der Geruchsbelästigung durch weitere Größen beeinflusst wird und ob dieser Einfluss quantifizierbar ist. Um eine Wirkung als Immissionswirkung interpretieren zu können, müssen solche konkurrierenden Einflussgrößen (so weit bekannt durch die Erfassung im Fragebogen) im Auswertemodell berücksichtigt werden. Der Einfluss der Geruchsbelastung erscheint immer dann zu groß, wenn wichtige Störgrößen, die im Untersuchungsgebiet unterschiedlich verteilt sind, unerkannt bleiben. Er erscheint hingegen zu klein, wenn Variablen als Störgrößen einbezogen werden, die ihrerseits durch die Geruchsbelastung beeinflusst werden.

In der vorliegenden Untersuchung zeigte sich, dass gemäß der Odds-Ratio-Analyse die Lärmbelästigung ein signifikanter Einflussfaktor ist. Anwohner, die sich durch Lärm gestört fühlen, fühlen sich im Vergleich zu den übrigen Anwohnern bei gleicher Geruchsbelastung stärker belästigt. Das Auswertemodell wurde durch die weiteren Störgrößen „Wohndauer in der Stadt“, „Dauer der täglichen Anwesenheit zu Hause“, „Gesundheits(un)zufriedenheit“, „Engagement in der Nachbarschaft“, „Mitgliedschaft in einem ortsansässigen Verein“, „Alter“, „Geschlecht“ und „Schulbildung“ vervollständigt. Es wird davon ausgegangen, dass die einzelnen Störgrößen die Geruchsbelastung sowohl positiv als auch negativ beeinflussen können. Da die Analyse von Störeinflüssen nicht Gegenstand der Untersuchung war, sondern nur der Abgrenzung und Bewertung von Immissionseinflüssen dient, wurden die Störvariablen nur gemeinsam untersucht und Zusammenhänge nicht quantitativ beschrieben. Wechselwirkungen wurden nicht berücksichtigt.

Die resultierenden Expositions-Wirkungszusammenhänge als Gesamtschau der untersuchten vier Projektstandorte in Baden-Württemberg zeigen, dass der Anteil Belästigter bzw. sehr stark Belästigter mit steigender Belastung durch Gerüche aus der Tierhaltung bzw. im speziellen aus der Schweinehaltung zunimmt (**Abbildung 73**). Da die Schweinehaltung die Tierhaltungsgerüche klar dominiert hat, unterscheiden sich die Kurvenverläufe kaum. Die statistische Aussagesicherheit ist durch die obere und untere Grenze des 90%-igen Konfidenzintervalls gekennzeichnet. Die Mittellinie entspricht der besten Schätzung mit der höchsten Wahrscheinlichkeit für den Anteil der (sehr) stark Belästigten in Abhängigkeit von der Geruchsbelastung. Die breite Aufweitung des Konfidenzintervalls ist durch den begrenzten Stichprobenumfang bedingt.

Vergleicht man die Ergebnisse für die Schweinehaltung in Baden-Württemberg mit der länderübergreifenden Auswertung von elf Standorten (SUCKER et al., 2006) (Abbildung 69) zeigt sich, dass der Kurvenverlauf mit zunehmender Stichprobengröße abflacht. Ein Anteil 10% sehr stark Belästigter war im Mittel in Baden-Württemberg erst ab einer Geruchsbelastung von 25% der Jahresstunden erreicht, wohingegen dies bei der Gesamtauswertung schon ab 15% Geruchsimmissionshäufigkeit der Jahresstunden der Fall war. Zu begründen ist dies zum einen durch den Effekt einer größeren Stichprobe. Zum anderen ist jedoch nicht auszuschließen, dass die speziellen Gegebenheiten in Baden-Württemberg mit kleineren Tierhaltungen im Vergleich zu den Strukturen in den intensiven Veredelungsregionen entsprechend abgebildet wurden und sich in einer höheren Akzeptanz oder Belästigungsschwelle widerspiegeln.

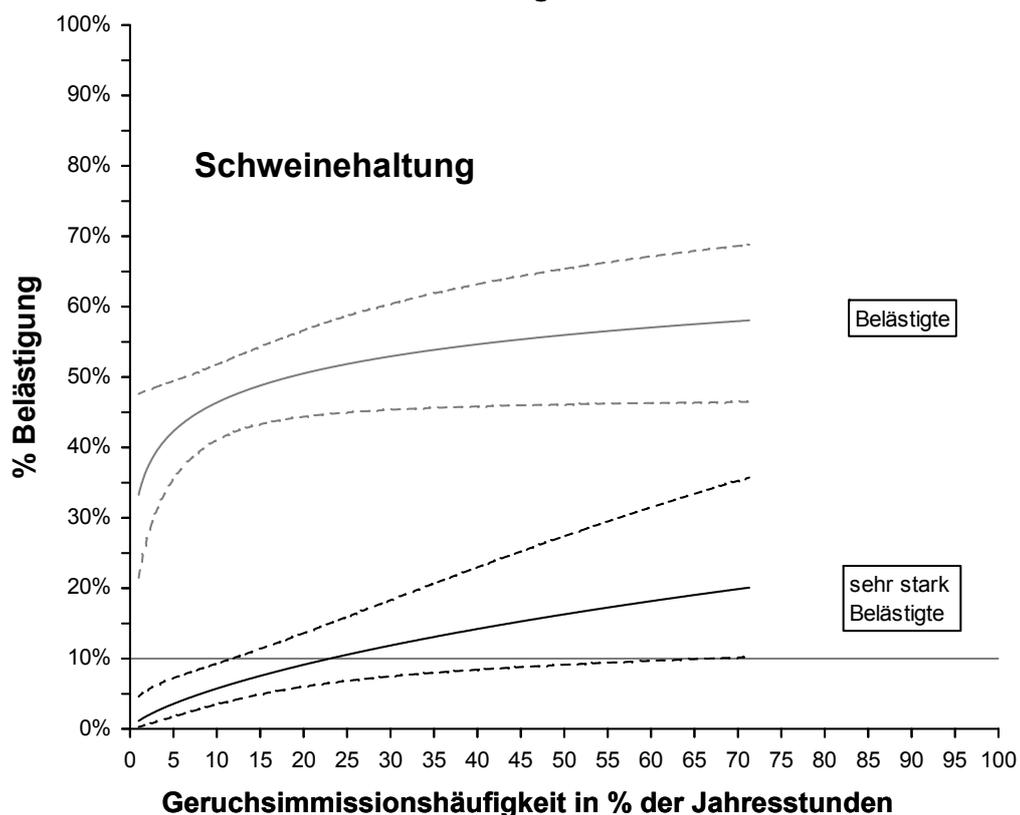
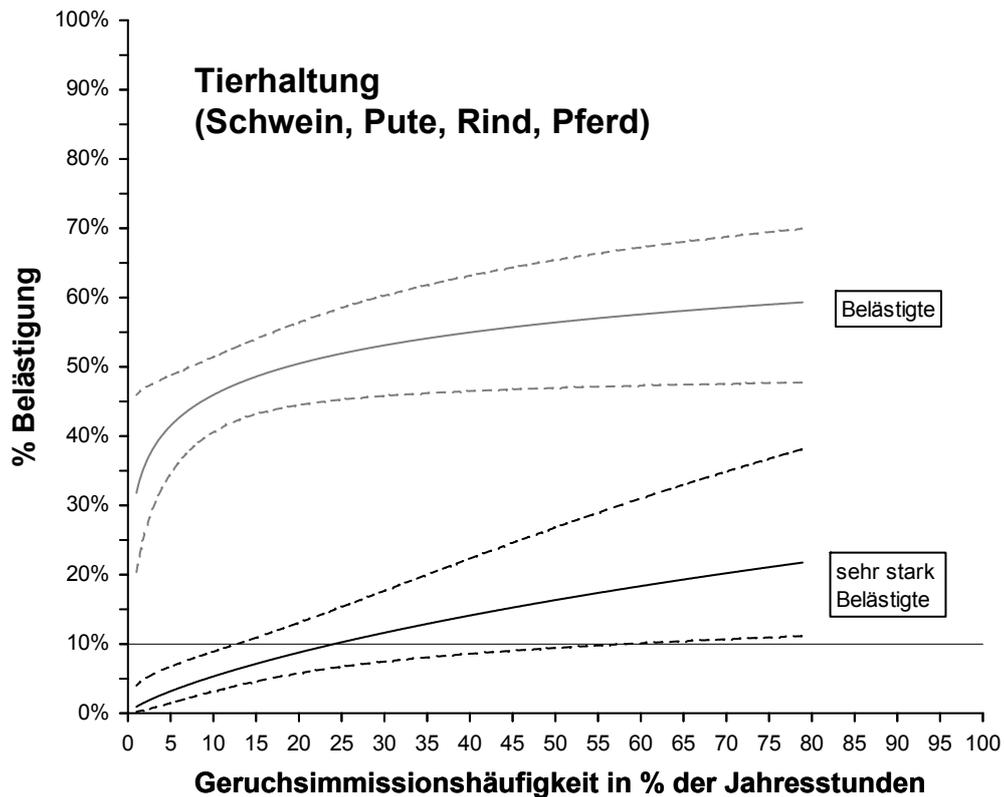


Abbildung 73: Darstellung des prozentualen Anteils an *sehr stark Belästigten* (*Thermometerwerte* > 6) in Abhängigkeit von der Geruchshäufigkeit von Gerüchen aus der Tierhaltung bzw. Schweinehaltung nach Adjustierung für die Störgrößen "Lärmbelästigung", "Wohndauer in der Stadt", "Dauer der täglichen Anwesenheit zu Hause", "Engagement", "Vereinsmitgliedschaft", "Gesundheitsunzufriedenheit", "Alter", "Geschlecht" und "Schulbildung" (verändert nach SUCKER & BOTH, 2005) Modellschätzung (durchgezogene Linie) für Rind, Schwein und Geflügel mit jeweiligem 90%-Konfidenzintervall (gestrichelte Linien)

4.4.3 Fazit

Grundsätzlich ist es richtig und wichtig, die Expositions-Wirkungszusammenhänge zwischen Geruchsbelastung und Belästigungsreaktion für verschiedene Geruchsarten bzw. Anlagentypen zu kennen. Denn dies verspricht, dass entsprechende Immissionsschutzregelungen den tatsächlich relevanten Beurteilungsgegenstand, das Belästigungspotential bestimmter Geruchsmissionen, berücksichtigen. Da der Belästigungsgrad selber nur sehr aufwändig und nur für bereits bestehende Anlagen ermittelt werden kann, wird als Beurteilungsgrundlage die „zahlenmäßige“ Geruchsbelastung als Geruchsmissionshäufigkeit oder Geruchskonzentration herangezogen. Anhand der Expositions-Wirkungszusammenhänge können dann entsprechende Grenzwerte abgeleitet werden, ab denen mit einer erheblichen oder unzumutbaren Belästigung zu rechnen ist. Was in der Theorie sehr logisch und einfach erscheint, bringt jedoch in der Praxis noch deutliche Herausforderungen mit sich:

- Die Ermittlung von Expositions-Wirkungszusammenhängen im Sinne epidemiologischer Studien ist methodisch sehr anspruchsvoll. Jeder Arbeitsschritt beinhaltet entsprechende Messunsicherheiten; sei es bei der Durchführung der Befragungen, der Erfassung und Berücksichtigung relevanter Einfluss- und Störgrößen, der Messung und Modellierung der Geruchsmission, der Wahl der „richtigen“ Belastungs- und Belästigungsmaße und schließlich bei der Regressionsanalyse.
- Die verschiedenen, jedoch nur wenigen systematischen Untersuchungen, sind nur bedingt miteinander vergleichbar und entziehen sich einer Verallgemeinerung.
- Die Interpretation der Ergebnisse epidemiologischer Studien erfordert entsprechende Fachkenntnis und ist abhängig von den zugrundeliegenden Bewertungsmaßstäben.
- Der Untersuchungsaufwand ist erheblich, was zu Lasten der realisierbaren Stichprobenumfänge bzw. der räumlichen und zeitlichen Verteilung der zu beurteilenden Quellen bzw. Anlagen und befragbaren Anwohner geht.
- Die bisherigen Erkenntnisse zu Tierhaltungsgerüchen erlauben höchstens eine Differenzierung nach Tierarten. Inwieweit weitere Quell- oder Geruchseigenschaften wie Haltungssystem, Lüftungssystem, Hedonik oder Intensität das Belästigungspotential beeinflussen, konnte bisher nicht nachgewiesen bzw. nicht untersucht werden.
- Weitere vergleichende Untersuchungen, die methodisch abgestimmt und auf breiter Basis Akzeptanz erfahren, sind wünschenswert.

5 Ansätze zur Beurteilung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung

In den vorangegangenen Kapiteln wurde ausführlich auf den Kenntnisstand, die tatsächliche Datenlage und empirische Grundlagen zur Entstehung, zur Art, zum Ausmaß und zur Wirkung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung eingegangen.

Im Folgenden wird herausgearbeitet, wie die Umsetzung der Erkenntnisse in verschiedenen Regelwerken zum Schutz vor erheblichen Geruchsbelästigungen erfolgt. Es können im Wesentlichen zwei Ansätze unterschieden werden. Zum einen das „Ablesen“ des notwendigen Schutzabstandes aus Abstandsfunktionen in Abhängigkeit des Tierbesatzes und weiterer Faktoren. Zum anderen über die Festlegung von gebietsabhängigen Grenzwerten zur Geruchsimmission über kritische zeitliche Häufigkeiten oder die Immissionskonzentration selbst. Der jeweilige juristische Stellenwert der Regelungen ist den dezidierten Ausführungen in MOHR (2010) zu entnehmen. Es soll weniger auf die einzelnen Richtlinien selbst als mehr auf die zugrundeliegenden methodischen Ansätze zur Beurteilung der Geruchsimmissionen fokussiert werden.

Um direkt an die Fragen zur tierartabhängigen hedonischen Wirkung oder Belästigungswirkung in Kapitel 4.3 und 4.4 anzuschließen, wird der Vergleich, wie Tierartunterschiede in den unterschiedlichen Ansätzen durch Faktorgewichtung der Tiermasse oder Tierzahl oder der Geruchsimmission berücksichtigt werden, der eigentlichen Aufarbeitung der Beurteilungsverfahren vorangestellt.

Die Ansätze werden am Beispiel ausgewählter Regelwerke einer vergleichenden Bewertung unterzogen. Wichtige Aspekte zur Anwendung und Auslegung werden aufgeführt, ohne jedoch auf alle Einzelregelungen im Detail eingehen zu können. Hierzu wird auf die jeweiligen Regelungen und Richtlinien verwiesen.

5.1 Berücksichtigung von Tierartunterschieden in Beurteilungsverfahren

Die Umsetzung der Erkenntnisse zu geruchlichen Unterschieden zwischen den Tierarten (einschließlich Nutzungsrichtung und/oder Haltungsverfahren) in der Richtliniendarbeit bzw. in Beurteilungsverfahren basiert auf unterschiedlichen Ansätzen. Die Betrachtungsebene ist meist nicht allein die hedonische Wirkung der einzelnen Tierart sondern ist mit Blick auf das erwartete Belästigungspotential eher eine Gesamtschau verschiedener Aspekte. Wenn nicht genügend systematische Erhebungen vorliegen, wird auf empirische Erfahrungen zurückgegriffen. Die Herleitungen und Abgrenzungen sind jedoch nicht immer ausreichend transparent.

5.1.1 Faktorgewichtung der Tiermasse oder Tierzahl

KRAUSE (1997) bzw. ECKHOF (1997) beschreiben differenzierte tierartspezifische Geruchsäquivalenzfaktoren, wie sie bereits im Zusammenhang mit den tierartspezifischen Abstandsrichtlinien (VDI 3471 Schwein, VDI 3472 Geflügel, VDI 3473 Entwurf Rinder) zur Anwendung kämen. KRAUSE et al. (2000) betonen, dass der Geruchsäquivalenzfaktor aber keine emissionsseitige Größe darstellt, sondern das Ergebnis der immissionsseitigen Bewertung bei der Ermittlung der Abstände für die jeweilige Tierart im Verhältnis zur Abstandsbeziehung für Schweine ist. Demnach besagt der Geruchsäquivalenzfaktor, wie sich eine Tierhaltungsanlage gegenüber einem Schweinestall mit Zwangslüftung immissionsseitig verhält bzw. welche Tiermasse bei den verschiedenen Tierarten zu derselben Geruchswirkung führt.

De facto wurde die erwartete unterschiedliche Wirkung von Gerüchen aus der Tierhaltung aber durch Faktorgewichtung der Tierlebensmasse (hier in GV) im entsprechenden Richtlinienentwurf zur Diskussion gestellt (VDI 3474-E, 2001). Dieses Prozedere wurde von den bereits vorliegenden differenzierteren Abstandsregelungen in der Schweiz und Österreich übernommen und erweitert (RICHNER & SCHMIDLIN, 1995; SCHAUBERGER ET AL., 1995/2000). Die dort erwähnten tierartspezifischen Faktoren werden jedoch zum Teil auf die Tierzahl und nicht nur Tierlebensmasse bezogen. Die resultierende geruchsrelevante Tiermasse in GV oder Tierzahl ist die Ausgangs- bzw. Bezugsgröße für die Mindestabstandsermittlung. Zumindest im Rechengang werden die Faktoren also an der Quelle (emissionsseitig) berücksichtigt. **Tabelle 11** vergleicht die Vorschläge von KRAUSE (1997) bzw. ECKHOF (1997), VDI 3474-E (2001) sowie der Schweizer und Österreichischen Richtlinien (RICHNER & SCHMIDLIN, 1995; SCHAUBERGER ET AL., 1995/2000).

Hinsichtlich des hedonischen Faktors gemäß VDI 3474-E (2001) ergibt sich eine Reihung mit steigender Lästigkeit von Pferd, Rind, Schwein zu Geflügel. Windinduzierte Quellen wie Mistlager, Laufhöfe und Silageanschnittflächen wurden mit dem hedonischen Faktor 1 gewichtet, ebenso wie die Referenztierart Schwein. Trotz der sehr eingeschränkten Stichprobe leiteten auch MANNEBECK & HESSE (1998) aus dem Hedonikvergleich von Stallluftproben (Abbildung 60) für Milchviehställe einen mittleren Hedonikfaktor von 0,6 ab (Bezugstierart Schwein mit Faktor 1). Die Geruchsäquivalenzfaktoren differenzieren definitionsgemäß stärker innerhalb der Tierarten in Abhängigkeit des Haltungssystems bzw. der Haltungsabschnitte und Besatzdichte. Unterschiede zwischen den verschiedenen Autoren, vor allem für die Sauen- und Geflügelhaltung lassen sich vermutlich darauf zurückführen, dass vielfach auf empirische Erfahrungen zurückgegriffen werden musste.

Tabelle 11: Auswahl von Vorschlägen für tierartspezifische hedonische Faktoren bzw. Geruchsfaktoren

Tierart (GV) VDI 3474-E 2001 KRAUSE 1997 bzw. ECKHOF 1997	Hedonischer Faktor pro GV (Bewertung relative Lästigkeit) VDI 3474-E 2001	Geruchs- äquivalenzfaktor pro GV KRAUSE 1997 bzw. ECKHOF 1997	Geruchs- äquivalenzfaktor pro GV (Immissionsseitige Bewertung) VDI 3474-E 2001	Tierspezifischer Ge- ruchsfaktor hier umge- rechnet und gerundet in GV (Österreich) SCHAUBERGER ET AL., 1995/2000	Geruchsbelastungsfaktoren hier umgerechnet und ge- rundet in GV (Schweiz) RICHNER & SCHMIDLIN, 1995
Mastschweine (0,13)	1	1,0	1,0	~1,7	~1,5
Leere, tragende, ferkelführende Sauen, Eber (0,3)	1	---	0,5	~1,1	~1,0 – 1,1
Ferkelaufzucht (0,03)	1,0	---	1,2	---	---
Kühe und Rinder über 2 Jahre (1,2)	0,7	0,17	0,2	~0,1	0,15
Rinder 1-2 Jahre (Mastrinder) (0,7)	0,7	0,25	0,2	---	0,15
Mastbullen	---	0,25	---	~0,15	0,15
Weibliches Jungvieh 1-2 Jahre (0,6)	0,7	0,17	0,2	~0,3	0,15
Jungvieh und Kälberaufzucht unter 1 Jahr (0,3)	0,7	0,17	0,2	~0,3	0,15
Mastkälber (0,3)	0,7	1,0	1,0	~0,8	~0,6 – 0,8
Legehennen, Nasskot	---	1,69	---	---	---
Legehennen, Trockenkot	---	0,56	---	---	---
Legehennen, Einstreu	---	1,25	---	---	---
Legehennen (0,034)	2,0	---	1,25	~0,3	~0,3
Junghennen (0,0022)	2,0	1,0	1,25	---	---
Masthähnchen Kurzmast (0,0008)	2,0	---	3,5	---	~8
Masthähnchen Langmast (0,0014)	2,0	---	2,5	~8 (Hühnermast)	~5
Enten (0,0038)	2,0	0,94	0,9	~5	---
Puten (0,0079)	2,0	0,39	0,4	~3,7	~1,8
Pferde über 1 Jahr (1,0)	0,3	---	0,17	~0,17	~0,15

5.1.2 Faktorgewichtung der Geruchsimmission

Die Umsetzung der Erkenntnisse aus den Expositions-Wirkungszusammenhängen bei Tierhaltungsgerüchen (Kapitel 4.4.1; SUCKER et al., 2006) erfolgt in der Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL, 2008) über Gewichtungsfaktoren der Geruchsimmissionshäufigkeit. Zu betonen ist, dass die GIRL (2008) im Falle der Tierhaltung nicht direkt auf hedonische Unterschiede abhebt. Dies ist nur bei Industrieanlagen mit eindeutig angenehmen Gerüchen möglich. Tierhaltungsgerüche sind, wie auch die Polaritätenprofile zeigten (Abbildung 64), eindeutig unangenehme Gerüche und die geringen hedonischen Abstufungen zwischen den Tierarten waren nicht wirkungsrelevant. Wie in Kapitel 4.4 beschrieben, war aber eine unterschiedliche Belästigungswirkung der Tierarten zu verzeichnen, die eben nicht allein durch die Hedonik erklärbar war.

Im Falle der Beurteilung von Geruchsimmissionen durch Tierhaltungsanlagen wird nach GIRL (2008) eine belästigungsrelevante Kenngröße berechnet, die anschließend mit den zulässigen, gebietsbezogenen Immissionshäufigkeiten verglichen wird. Die belästigungsrelevante Kenngröße ist die nach GIRL (2008) ermittelte Gesamtbelastung (Geruchshäufigkeit), die mit einem tierartabhängigen Gewichtungsfaktor multipliziert wird (**Tabelle 12**). In Baden-Württemberg wurden per Handlungsempfehlung des Umweltministeriums vom 18.05.2007 etwas abweichende Faktoren in den Vollzug gegeben, die sich auf die Expositions-Wirkungsbeziehungen für die speziellen Bedingungen in Baden-Württemberg stützen, die im Rahmen der eigenen Untersuchungen ermittelt wurden (Abbildung 73; Kapitel 4.4.2).

Wenn die Gesamtbelastung durch mehrere Anlagen mit unterschiedlichen Tierarten verursacht wird, ist ein Rechengang für die Berücksichtigung der jeweiligen Anteile und tierartspezifischen Geruchshäufigkeit vorgegeben, um den Gesamtgewichtungsfaktor ermitteln zu können. Für alle weiteren Tierarten, die nicht in der Tabelle aufgeführt sind, liegen bisher keine belastbaren Expositions-Wirkungszusammenhänge vor, aus denen ein Gewichtungsfaktor abgeleitet werden könnte. Ebenso ist eine Aufgliederung nach Haltungsformen nicht möglich, da weder die Probanden noch die Anwohner die Geruchsimmissionen bzw. den Belästigungsgrad entsprechend differenzieren können.

Die Gewichtungsfaktoren in der GIRL (2008) beinhalten auch eine pragmatische Komponente (GRIMM, 2007). Im Ergebnis des Verbundvorhabens „Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft“ (SUCKER et al., 2006) konnte streng genommen keine Belästigung durch Rindergerüche nachgewiesen werden. Dennoch werden Rindergerüche als Geruchsbelastung in der GIRL berücksichtigt, um ausreichend Vorsorge und Schutz zu treffen. Umgekehrt wurde aus dem Expositions-Wirkungszusammenhang

der untersuchten Mastgeflügelbetriebe ein strenger Gewichtungsfaktor abgeleitet, obwohl die Stichprobe sehr gering war (GRIMM, 2007). Entsprechend werden von den Kritikern weiterführende und überprüfende Untersuchungen speziell für Geflügel und Legehennen eingefordert.

Tabelle 12: Gewichtungsfaktoren für einzelne Tierarten nach GIRL (2008) und Handlungsempfehlung Baden-Württemberg (UM BW, 2007)

Tierartspezifische Geruchsqualität	Gewichtungsfaktor	
	GIRL (2008)	Baden-Württemberg (UM BW, 2007)
Mastgeflügel (Puten, Masthähnchen)	1,5	1,5
Mastschweine, Sauen (bis zu einer Tierplatzzahl von ca. 5000 Mastschweinen bzw. unter Berücksichtigung der jeweiligen Umrechnungsfaktoren für eine entsprechende Anzahl von Zuchtsauen)	0,75	0,6
Milchkühe mit Jungtieren (einschließlich Mastbullen und Kälbermast, sofern diese zur Geruchsimmissionsbelastung nur unwesentlich beitragen)	0,5	0,4
Alle anderen Tierarten	Kein Gewichtungsfaktor (also 1,0)	

Es bleibt anzumerken, dass der Weg zur Umsetzung tierartabhängiger Belästigungswirkungen in der GIRL (2008) auch deshalb über Gewichtungsfaktoren führt, da man an der Systematik der GIRL und den Immissionsgrenzwerten festhalten wollte. Eine Differenzierung und Neufestlegung von Immissionsgrenzwerten für unterschiedliche Geruchsarten und speziell für die Landwirtschaft ist nicht vorgesehen.

Abbildung 74 zeigt exemplarisch an einem Fallbeispiel mit sechs schweinehaltenden Betrieben, wie sich das Ergebnis der Geruchsausbreitungsrechnung mit AUSTAL2000G bei Verwendung eines Gewichtungsfaktors ändert. Die eingekreisten Flächen (gelb-orange), auf denen ein Immissionsgrenzwert von 10% überschritten wurde, sind nun im mittelgrauen bzw. grünen Bereich mit < 10% Geruchsimmissionshäufigkeit.

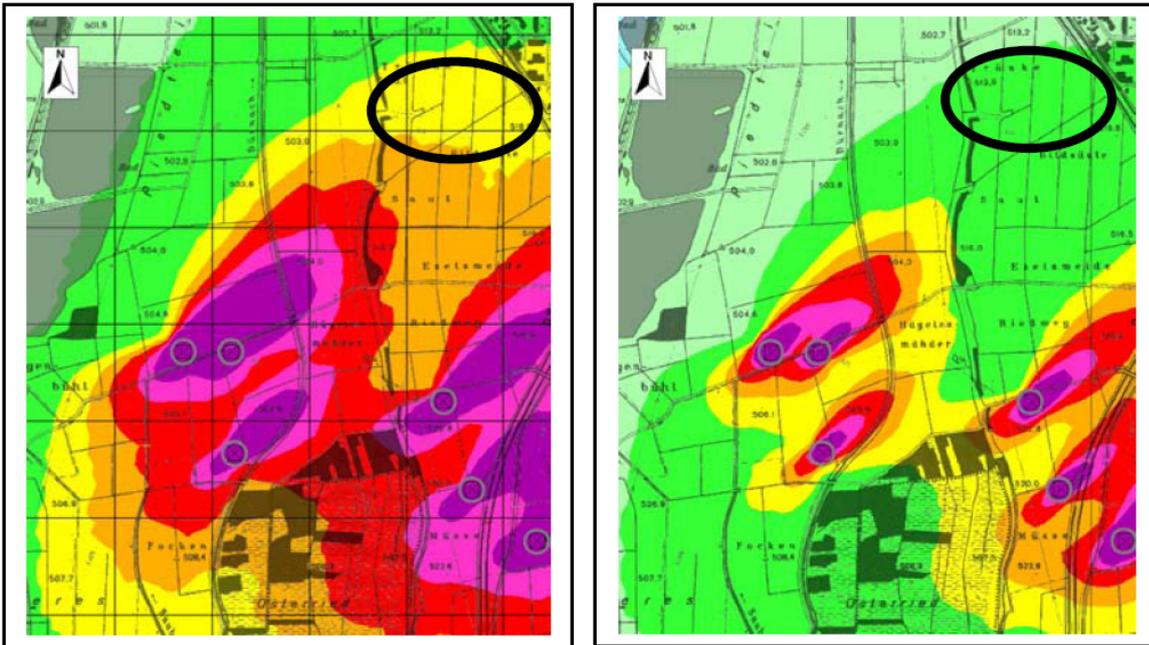


Abbildung 74: Ergebnisse der Geruchsimmissionsprognose ohne (links) bzw. mit (rechts) Berücksichtigung eines Gewichtungsfaktors von 0,6 (Baden-Württembergische Regelung) für Schweinehaltung (sechs Quellen; AUSTAL2000G) (NIELINGER, 2008)

KRAUSE & MUNACK (2009) kritisieren die Platzierung der tierartspezifischen Korrekturen der Geruchsimmissionshäufigkeit in der GIRL und „physikalisch zweifelhafte Verteilungsalgorithmen“ für „vermeintliche“ Mischgerüche. Sie sehen im jetzigen Vorgehen de facto eine physikalisch nicht begründbare Manipulation bereits auf Ebene der Ausbreitungsrechnung und nicht auf Ebene der Bewertung der Geruchsbelastung, „wie man glauben machen will“. Drei Lösungsvorschläge diskutieren KRAUSE & MUNACK (2009):

- In Anlehnung an VDI 3474-E (2001) pragmatisches Vorgehen durch quellseitige tierartspezifische Gewichtung der Geruchskonzentration vor Einstieg in die Ausbreitungsrechnung. Aufwändige Algorithmen für Mischgerüche könnten entfallen.
- Direkte Nutzung der Belastungsfunktionen (Expositions-Wirkungszusammenhänge; Abbildung 69) und Festlegung von gebietsabhängigen Belastungsgrenzen. Die Einzelbeiträge unterschiedlicher Tierhaltungen könnten in konservativer Form addiert werden. Damit ist die Beurteilungsgröße nicht die Geruchsimmissionshäufigkeit sondern direkt die Belastung.
- Weiterentwicklung und Differenzierung der Belastungsfunktionen in einer Approximationsfunktion (Approximieren der subjektiven Urteile von Probanden und Anwohnern durch Einbindung von physikalischen Größen).

In der derzeitigen VDI Arbeitsgruppe zur Neufassung der Abstandsregelung Geruch für die Tierhaltung (VDI 3894-2E, 2011) wird ebenso ein immissionsseitiger Ansatz zur Berücksichtigung von Tierartunterschieden analog zur GIRL verfolgt (HARTUNG, 2010). Die Mindestabstände sollen unter anderem in Abhängigkeit von Geruchsstundenhäufigkeiten ermittelt werden (vgl. Kapitel 5.2), die für das jeweilige schutzwürdige Gebiet festzulegen sind. Zusätzlich soll eine belästigungsrelevante Bewertung von Immissionshäufigkeiten durch Anwendung tierartspezifischer Bewertungsfaktoren nach GIRL (2008) oder Regelungen der Bundesländer vorgenommen werden können. Durch Multiplikation der Geruchsstundenhäufigkeit mit dem tierartspezifischen Gewichtungsfaktor ergibt sich die belästigungsrelevante Geruchsbelastung.

5.1.3 Fazit

In der Weiterentwicklung der Bewertungsverfahren für Immissionen aus der Tierhaltung besteht derzeit weitestgehend Einigkeit darüber, die unterschiedliche Geruchswirkung über Faktorgewichtung relevanter Bemessungsgrößen berücksichtigen zu wollen. Unterschiede bestehen in der Festlegung der Faktoren bzw. Abstufung der Tierartunterschiede sowie der rechnerischen Anwendung dieser.

Die Festlegung und Anwendung der jeweiligen Faktoren erfolgt auch zu einem guten Teil empirisch und folgt einem pragmatischen mathematischen Ansatz, da für viele Fälle keine wissenschaftliche Datenbasis vorhanden ist. In der Umsetzung scheinen die Grenzen fließend, inwieweit die hedonische Wirkung, Geruchsäquivalenz oder Belästigungswirkung als Maßstab alleine oder miteinander verknüpft herangezogen wurden. Die emissions- oder immissionsseitige Platzierung von Gewichtungsfaktoren im Rechengang sollte nicht nur aufgrund pragmatischer Erwägungen erfolgen, sondern den zugrundeliegenden physikalischen und Expositions-Wirkungszusammenhängen entsprechen. Die mangelnde Transparenz geht zu Lasten der Nachvollziehbarkeit und Akzeptanz und wirft die Frage auf, inwieweit ein stark von der subjektiven Wahrnehmung beeinflusster Faktor in Bewertungsverfahren messbar und objektivierbar ist.

5.2 Abstandsregelungen

Die tierartspezifischen und tierartübergreifenden Abstandsregelungen aus dem deutschsprachigen Raum werden erläutert und verglichen. Der historische Rückgriff auf die Anfänge VDI-Abstandsregelungen ist deshalb notwendig, da sich alle weiteren Abstandsregelungen auf diese Datenbasis beziehen.

5.2.1 Tierartspezifische Regelungen

Bereits in den 70er Jahren wurden in Deutschland die ersten VDI-Abstandsrichtlinien für Schweine (VDI 3471) und Hühner (VDI 3472) erarbeitet und 1986 unter Berücksichtigung der Weiterentwicklungen im Stand der Technik als auch der Erkenntnisse zu Art und Ausmaß der Belästigungen überarbeitet (SCHIRZ, 1989). Die VDI-Richtlinien gelten in weiten Bereichen als anerkanntes und bewährtes Verfahren, den Schutzabstand zwischen Tierhaltung und Wohnnutzungen sachgerecht zu ermitteln und werden als antizipierte Gutachten akzeptiert. In SCHIRZ (1989) wird ausführlich auf die Entwicklung, Anwendung und Auslegung der beiden ersten Abstandsrichtlinien eingegangen, worauf die folgende verkürzte Darstellung beruht.

Die ursprüngliche Datenbasis für die Abstandsregelungen waren umfangreiche Begehungen zur Ermittlung der Geruchsschwellenentfernung von Tierhaltungsbetrieben in den 70er Jahren (vgl. Kapitel 4.2.4.1). Aus den Ergebnissen wurden Abstandsdiagramme erarbeitet, die die Zusammenhänge zwischen den angewandten technischen Verfahren der Entmistung, Mistlagerung, Lüftung und Abluffführung sowie Bestandsgröße in GV und dem zur Wohnbebauung einzuhaltenden Abstand grafisch darstellen. Aus dem Datensatz wurde ein Punkteschema zur Bewertung der technischen Verfahren und Standorteinflüsse in Hinblick auf das Emissions- und Immissionspotential abgeleitet, die sich im besten Falle auf 100 Punkte aufsummieren können. Standorteinflüsse können nach diesem Schema mit ± 20 Punkten berücksichtigt werden.

Die Mittelwertkurve der untersuchten Betriebe wurde in der ersten Fassung der VDI-Richtlinien 1977 zur sogenannten 100-Punkte-Kurve erklärt, wie in **Abbildung 75** als ehemalige 100 Punktekurve mit Streubereich der Begehungsergebnisse für Schweinehaltung dargestellt ist. Die Kurven für schlechter zu bewertende Anlagen mit geringerer Punktzahl wurden in einem, sich aus den Untersuchungen ergebenden, Abstand darüber eingezeichnet. Im Rahmen der Überarbeitung für die Richtlinienfassung 1986 wurden alle Kurven nach oben verschoben, das heißt, bei gegebener Bestandsgröße erhöhte sich der notwendige Mindestabstand. Ziel war es u.a. die 100-Punkte Kurve oberhalb des Streubereiches der Begehungsergebnisse einzutragen, was faktisch einem Sicherheitszuschlag von 91% bei größeren bzw. 110% bei kleineren Betrieben auf die gemessenen Geruchsschwellenentfernungen entspricht.

Im Sinne dieser Richtlinien ist es möglich, den ermittelten Mindestabstand gegenüber Dorfgebieten mit geringerem Schutzanspruch zu halbieren. Dies ist nichts anderes, als den Sicherheitszuschlag wieder abzuziehen und sich auf die tatsächlichen Geruchsschwellenentfernungen zu beziehen.

Bewusst wurde ein Bereich für Einzelfallentscheidungen über Sonderbeurteilungen offen gelassen, um der jeweiligen Problematik bei sehr geringen Punktzahlen (größere Emissionsträchtigkeit) oder der Unterschreitung eines Mindestabstandes besser gerecht werden zu können. Die Begrenzung der Abstandsdiagramme auf bestimmte obere Bestandsgrößen ergibt sich aus der Datenbasis, bis zu welchen Bestandsgrößen Geruchsschwellenentfernungen erhoben wurden.

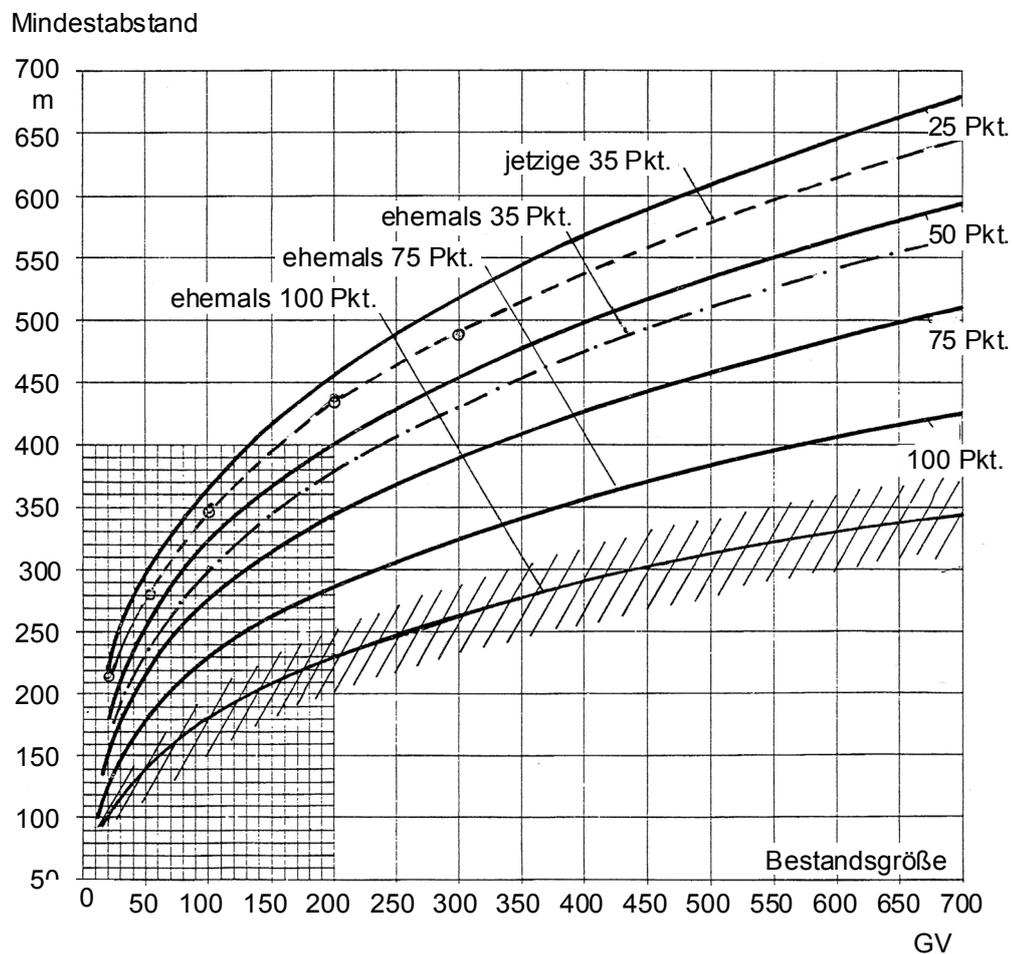


Abbildung 75: Vergleich der Abstandskurven der VDI 3471 (Schweine) in der Fassung von 1977 und 1986 (nach Mannebeck in SCHIRZ, 1989)

Da zunehmend Geruchsprobleme auch im Umfeld von Mastbullenanlagen ab 100 Tieren (70 GV) beobachtet wurden, wird in SCHIRZ (1989) eine hilfsweise Umrechnung der Abstände für Schweine oder Rinder auf Mastbullen anhand von geruchsbezogenen Großvieheinheiten aufgezeigt. :

$$1 \text{ GV}_{\text{GE}} \text{ Schwein} = 0,8 \text{ GV}_{\text{GE}} \text{ Huhn} = 4 \text{ GV}_{\text{GE}} \text{ Mastbulle} \quad (3)$$

Ebenso ist es möglich, Puten in Kurzmast auf Hühner-GV umzurechnen, wenn man davon ausgeht, dass sie wie Masthähnchen gehalten werden und ein Gewicht von 3 kg pro Tier erreichen.

Für alle anderen Tierarten und Tierkategorien gab es zunächst keine expliziten Regelungen.

Die TA LUFT (2002) enthält ebenso nur für Schweine und Geflügel eine Mindestabstandskurve für nach Bundesimmissionsschutzgesetz genehmigungspflichtige Anlagen zur nächsten vorhandenen oder in einem Bebauungsplan festgesetzten Wohnbebauung. Die TA-Luft Kurven setzen Anlagen gemäß dem Stand der Technik voraus und basieren deshalb auf den jeweiligen 100-Punkte-Kurven der VDI-Richtlinien 3471 und 3472 bzw. können mittels einer Umrechnung der Abstandskurve für Schweine anhand von Geruchsäquivalenzfaktoren (vgl. Tabelle 11) berechnet werden. Die zugrundeliegende Abstandfunktion lautet (KTBL, 2006c):

$$R = 48,7 \cdot (f_{\text{eq}} \cdot M_{\text{T}})^{1/3} \quad (4)$$

mit

R	Mindestabstand in Metern
f_{eq}	Geruchsäquivalenzfaktor
M_{T}	Tierlebensmasse in Großvieheinheiten

Für die Beurteilung von Rinderanlagen steht kein Weißdruck einer VDI-Richtlinie zur Verfügung, da sowohl der Entwurf für eine Rinderrichtlinie (VDI 3473-E, 1994) als auch für einen tierartübergreifenden Ansatz (VDI 3474-E, 2001) nicht den Konsens in Fachkreisen fand. In der TA-Luft wird für Rinder auf eine Einzelfallbeurteilung verwiesen. Dies stellt die Genehmigungspraxis vor große Herausforderungen und zwingt bisher zur Verwendung von verschiedenen Hilfsmitteln und Erkenntnisquellen für die Beurteilung von Rinderanlagen, wie z.B.:

- Forschungsergebnisse zur Geruchsschwellenentfernungen von Rinderhaltungen, mit Fragen zur Verallgemeinerbarkeit (vgl. Kapitel 4.2.4.2; Abbildung 30 und 31; JUNGBLUTH & HARTUNG, 1996; HOLSTE et al., 1997; KRAUSE et al., 2000).
- Entwürfe der VDI-Richtlinien 3473-E (1994) und 3474-E (2001) die eigentlich nicht anzuwenden sind, da sie nicht im Weißdruck publiziert wurden.

- Umrechnung der Abstandskurve für Schweine anhand von Geruchsäquivalenzfaktoren, mit Fragen zur Herkunft und Wahl des Faktors (vgl. Kapitel 5.1).
- Länderspezifische Ersatzregelungen falls vorhanden. Zum Beispiel die Rinderregelung für Sachsen (HEIDENREICH et al., 2003), die in der inhaltlichen Struktur an die tierartspezifischen VDI-Abstandsregelungen angelehnt ist. Das Punkteschema für die Emissionsträchtigkeit der Rinderhaltungsverfahren wurde empirisch ermittelt. Die Abstandsregelung ist insbesondere für größere Bestände von 90 GV bis 3000 GV auf Basis der VDI 3473-E (1994) entwickelt worden. Der Nahbereich unter (<100 m) und kleinere Bestände (< 90 GV) fallen unter die Sonderbeurteilung.
- Abstandsrichtlinien aus der Schweiz (RICHNER & SCHMIDLIN, 1995) oder Österreich (SCHAUBERGER et al., 1995/2000), mit Fragen zur Anwendbarkeit und Übertragbarkeit (s.u.).
- Ausbreitungsrechnungen, mit ihrer inhärenten Modellierungsunsicherheit (vgl. Kapitel 4.2.3).
- Bezugnahme auf die Geruchsimmissionsrichtlinie (2008), mit Fragen zur Angemessenheit, Auslegung und Akzeptanz (vgl. Kapitel 5.3).
- Abschätzverfahren anhand der Windverteilung und Standortgegebenheiten, mit Fragen zur Aussagesicherheit (vgl. 4.2.3.5).
- Empirie, mit Fragen zur Nachvollziehbarkeit.

Analog wird auch bei der Beurteilung von diffusen Quellen und Offenställen vorgegangen, wenn diese nicht explizit in den Richtlinien thematisiert werden. Offenställe werden der Einfachheit halber wie zwangsbelüftete Ställe behandelt, unter der Annahme, dass im Sinne des Schutzgedanken der ungünstigste Fall abgebildet wird. In den VDI 3471 und VDI 3472 wird die Seitenwandlüftung und freie Lüftung mit null Punkten bewertet und ein hoher und schneller Abluftaustritt honoriert. Dies steht im Gegensatz zu den mittlerweile differenzierteren Erkenntnissen zu Immissionsminderungsmaßnahmen (vgl. Kapitel 4.2.5).

Folgende Aspekte sind zudem Gegenstand der Anwendung und Auslegung von Abstandsregelungen, die in diesem und den folgenden Kapiteln erwähnt werden. Für die Ausführungen im Detail muss auf die jeweiligen Richtlinien im Original verwiesen werden.

- Beschreibung der technischen Verfahren, des Standes der Technik und der guten fachliche Praxis.
- Definition des Anlagenbegriffes.

- Ermittlung des Emissionsschwerpunktes einer Anlage bzw. Festlegung von welchem Punkt der Anlage die Abstandsbemessung erfolgt.
- Mischbestand von verschiedenen Tierarten auf einem Betrieb.
- Emissionsschwerpunkt-, Mehrquellen- oder Isoplethenverfahren.
- Berücksichtigung von Emissions- und Immissionsminderungsmaßnahmen.
- Bagatellgrenzen, Sonderbeurteilung, Nahbereich.
- Abhängigkeit von der Gebietsnutzung (Schutzanspruch) bzw. Anwendung im Außenbereich, Berücksichtigung der Bauleitplanung.
- Rechtliche Einordnung und Geltungsbereich.

5.2.2 Tierartübergreifende Regelungen

Seitens der Beurteilungspraxis besteht Bedarf nach Abstandsregelungen die für alle Nutztierarten und stärker differenziert nach Nutzungsrichtung, Haltungsabschnitt, Haltungs- und Verfahrenstechnik, Standortbedingungen und meteorologischen Bedingungen sowie Gebietsnutzung eine Berechnung ermöglichen. In Kapitel 4.2 wurde bereits auf die vorhandene eingeschränkte Datenbasis zu Emissionen, Immissionen und Wirkung von Gerüchen aus der Tierhaltung und die Probleme der Verallgemeinerbarkeit und Übertragbarkeit eingegangen.

In der Richtlinienarbeit zeigen sich zwei Wege zum Ziel auf:

- Abstandsermittlung in Abhängigkeit einer gewichteten Tiermasse oder Tierzahl durch mehrere Bewertungsfaktoren, die weitestgehend empirisch und nach Plausibilitätskriterien von Expertengruppen festgelegt wurden. Die Immission wird quantitativ oder qualitativ nicht weiter betrachtet. Der Abstand soll ausreichen, um in den meisten Fällen vor erheblicher Belästigung zu schützen (RICHNER & SCHMIDLIN, 1995; SCHAUBERGER et al., 1995/2000; VDI 3474-E, 2001).
- Abstandsermittlung mithilfe eines empirischen Regressionsmodells in Abhängigkeit der Windrichtungshäufigkeit und der Geruchsimmissionshäufigkeit, basierend auf einer Vielzahl von Szenario-Ausbreitungsrechnungen und Erfahrung. Ein vereinfachtes Abstandsermittlungsverfahren wird mit einem immissionsseitigen Ansatz kombiniert, um quantitative Immissionsgrenzen zur Vermeidung von erheblicher Belästigung einhalten zu können (vgl. Kapitel 5.3) (SCHAUBERGER et al., 2007; VDI 3894-2VE, 2010).

5.2.2.1 Gewichtung von Tiermasse oder Tierzahl und Bewertungsfaktoren

Mitte der 90er Jahre wurden tierartübergreifende Abstandsregelungen mit Bewertungsfaktoren in Österreich (SCHAUBERGER et al., 1995/2000) und in der Schweiz (RICHNER & SCHMIDLIN, 1995) eingeführt. Der spätere Entwurf einer ebenso tierartübergreifenden VDI-Richtlinie (VDI 3474-E, 2001) als Ersatz und Ergänzung für die oben beschriebenen tierartspezifischen Richtlinien VDI 3471 (Schweine) und VDI 3472 (Hühner) von 1986 lehnt sich an das Konzept der österreichischen Richtlinie an. In Deutschland konnte aber kein Konsens über dieses Vorgehen erzielt werden, so dass der Richtlinienentwurf nicht im Weißdruck erschienen ist. Sowohl einzelne Detailregelungen, die Bewertungsfaktoren, die empirische Grundlage, die Ableitung der Kurvenverläufe, der Differenzierungsgrad, die Nachvollziehbarkeit als auch die Größenordnung der resultierenden Abstände wurden kontrovers diskutiert.

Der Aufbau und Verlauf der Abstandsfunktion und die Bewertungsfaktoren selber unterscheiden sich in den drei genannten Richtlinien soweit voneinander, dass die resultierenden Abstände ebenso divergieren (**Abbildung 76**). Insbesondere auf die Frage der Berücksichtigung von Tierartunterschieden wurde bereits in Kapitel 5.1.1 und Tabelle 11 eingegangen. Dies gibt wiederum Anlass für Diskussionen zu Lasten der Nachvollziehbarkeit im Richtlinienvergleich. Inwieweit gibt es sachliche Gründe oder gar Messergebnisse, die es gerechtfertigen z.B. ein Haltungsverfahren oder eine Tierart in Österreich anders zu gewichten als in der Schweiz.

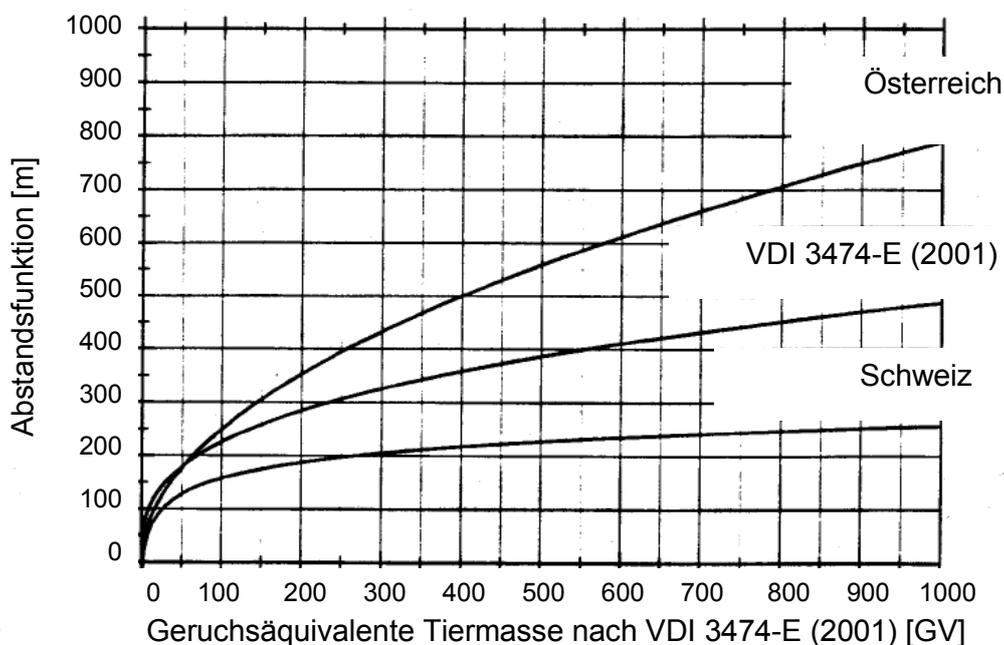


Abbildung 76: Vergleich der prinzipiellen Ansätze der Abstandskurven in Österreich, Schweiz und VDI 3474-E (2001), alle bezogen auf geruchsäquivalente Tiermasse (verändert nach VDI 3474-E, 2001)

In Österreich (SCHAUBERGER et al., 1995/2000) berechnet sich der gebietsabhängige Schutzabstand als richtungsabhängige Entfernung in Abhängigkeit einer Geruchszahl (Bewertung des Emittenten) und von meteorologischen und geländeklimatologischen Ausbreitungsbedingungen sowie des widmungsbezogenen Raumordnungsfaktors. Windinduzierte Flächenquellen werden nur indirekt durch Einschluss oder Ausschluss in die äußeren Begrenzungslinien um die Anlage, von wo aus die Abstandsermittlung erfolgt, berücksichtigt.

$$S = 25 \cdot f_M \cdot f_R \cdot G^{1/2} \quad \text{Geruchszahl } G = Z \cdot f_T \cdot (f_L + f_E + f_F) \quad (5)$$

mit:

S	Schutzabstand [m]
f_M	Meteorologischer Faktor (0,6 – 1,0) (Abgeleitet aus geländeklimatologischer Punktbewertung)
f_R	Raumordnungsfaktor (0,5 – 1,0)
Z	Tierzahl je Tierart
f_T	Tierspezifischer Geruchsfaktor (0,01 – 0,33)
f_L	Lüftungstechnischer Faktor (0,1 – 0,5)
f_E	Entmistungstechnischer Faktor (0,1 – 0,3)
f_F	Fütterungstechnischer Faktor (0,05 – 0,2)

Im Entwurf der VDI 3474-E (2001) wird sich darauf berufen, dass als Grundlage für die Abstandsfunktion die in zahlreichen Begehungen ermittelte 100-Punkte Kurve für Schweinehaltungen nach VDI 3471 diene. Der Normabstand berechnet sich in Abhängigkeit der geruchsrelevanten mittleren Tiermasse und verschiedener Bewertungsfaktoren bei kontinuierlich emittierenden Anlagen wie folgt:

$$R = 16,23 \cdot F_G \cdot (F_L + F_M + F_O) \cdot (f_{eq} \cdot f_h \cdot f_{tech} \cdot M_{T,Mittel})^{1/3} \quad (6)$$

mit:

R	Normabstand [m]
F_G	Gebietscharakteristischer Faktor (Schutzanspruch) (0,25 – 1,0)
F_L	Lüftungstechnischer Faktor (0,7 – 1,2)
F_M	Meteorologischer Faktor (0,5 – 2,0) im Sinne der Windhäufigkeit in Richtung Immissionsort
F_O	Orographischer Faktor (Standard 1,0; sonst Sonderbeurteilung)
f_{eq}	Geruchsäquivalenzfaktor (0,17 – 3,5)
f_h	Hedonischer Faktor (0,3 – 2,0)
f_{tech}	Technologischer Faktor (0,3 – 1,0)
M_T	reale mittlere Tiermasse

Den Erläuterungen in VDI 3474-E (2001) zur Folge, spiegele die in der Abstandsfunktion dargestellte Gewichtung der Einflussfaktoren den Wissensstand bezüglich der Immissionsrelevanz und Belästigungsrelevanz wider. Die Plausibilität und Praxisnähe wurde anhand der Daten von bestehenden Anlagen auch unter Modifikation der Gewichtungen geprüft und es wurde letztlich die Variante mit der geringsten Ergebnisstreuung ausgewählt. Windinduzierte Flächenquellen können nach VDI 3474-E (2001) mit Hilfe einer Umrechnung in eine „flächenspezifische äquivalente Einzel-tiermasse“ in die Abstandsermittlung einbezogen werden.

Die Schweizer Abstandsregelung (RICHNER & SCHMIDLIN, 1995) wurde aus der damaligen Problematik heraus entwickelt, dass es nicht möglich sei, für Geruchsstoffe aus der Tierhaltung Emissions- oder Immissionsgrenzwerte anzugeben. Sie basiert nach eigenen Angaben auf den Untersuchungen zu Geruchsschwellenwerten von deutschen Praxiserhebungen (vgl. Kapitel 4.2.4.1 und 5.2.1). Der Normabstand für Stallgebäude wird nicht anhand einer Exponentialfunktion sondern mittels einer logarithmischen Funktion in Abhängigkeit der mit einem Geruchsbelastungsfaktor gewichteten Tierzahl bestimmt. Der Mindestabstand wiederum ergibt sich aus der Multiplikation des Normabstandes mit Korrekturfaktoren. Windinduzierte Flächenquellen werden nicht gesondert betrachtet, aber teilweise indirekt in den Korrekturfaktoren und bei der Abstandsbemessung berücksichtigt:

$$N = 43 \cdot \ln(GB) - 40 \quad \text{Geruchsbelastung } GB = Z \cdot f_g \quad (7)$$

$$MA = N \cdot f_{KG} \cdot f_{KH\ddot{o}} \cdot f_{KAE} \cdot f_{KH_0} \cdot f_{KS} \cdot f_{KF} \cdot f_{KL} \cdot f_{KGS} \cdot f_{KGF}$$

mit:

N	Normabstand
GB	Geruchsbelastung
Z	Tierzahl je Tierart
MA	Mindestabstand
f_g	Geruchsbelastungsfaktor (0,005 – 0,3)
f_{KG}	Korrekturfaktor Geländeform (1,0 – 1,2)
$f_{KH\ddot{o}}$	Korrekturfaktor Höhenlage (0,8 – 1,0)
f_{KAE}	Korrekturfaktor Aufstallungs-Entmistungssystem (0,5 – 1,0)
f_{KH_0}	Korrekturfaktor Hofdüngerproduktion (0,9 – 1,1)
f_{KS}	Korrekturfaktor Sauberkeit (1,0 – 1,2)
f_{KF}	Korrekturfaktor Fütterung (1,0 – 1,5)
f_{KL}	Korrekturfaktor Lüftung (0,8 – 1,2)
f_{KGS}	Korrekturfaktor Geruchsreduzierung der Stallabluft (0,2 – 1,0)
f_{KGF}	Korrekturfaktor Geruchsreduzierung Flüssigmistlagerung (0,9 – 1,0)

In der Zwischenzeit wurden in der Schweiz weitere Untersuchungen zu Kaltluftabflüssen (KOUTNY et al., 2002), Geruchsschwellenentfernungen von Ein- und Mehrflächensystemen in der Schweinehaltung (KECK et al., 2004) sowie zur Geruchskonzentration von Flächenquellen (KECK et al., 2005) durchgeführt (vgl. Abbildung 20 und Abbildung 29). Die Erkenntnisse gaben Anlass zu einer Anpassung der Korrekturfaktoren und Revision der Abstandsrichtlinie, die bei den zuständigen Behörden als Revisionsentwurf eingereicht wurde. Die neuen Werte würden zu größeren Abständen führen, was insbesondere im Umgang mit vorhandenen Bauten als problematisch angesehen wird. Der Revisionsentwurf wurde zurückgezogen.

NICOLAS et al. (2008) haben sich von den vorgenannten Richtlinien inspirieren lassen und eine entsprechende Abstandsformel für Schweine und Geflügel, angepasst an die Region Wallonie in Belgien, entwickelt. Die Formelstruktur entspricht der österreichischen Variante. Die Gewichtungsfaktoren für die Tierart und Bewertungsfaktoren wurden infolge eigener Geruchsschwellenmessungen (vgl. Abbildung 27) und Plausibilitätsbetrachtungen teilweise modifiziert. Der Ausbreitungsfaktor hatte in der flachen Geländestruktur der Wallonie im Vergleich zu den anderen Faktoren weniger Einfluss auf den berechneten Abstand. Ebenso war die Relevanz der Windrichtungsverteilung bei den homogenen klimatologischen Bedingungen gering. Iterativ wurde mittels Ausbreitungsrechnungen und anhand der Begehungsergebnisse die passende Formelkonstante gesucht, wobei dieses auch von der Wahl des einzuhaltenden Geruchsexpositionsgrenzwertes (vgl. Kapitel 5.3.1) abhing. Umfassende Validierungsuntersuchungen stehen noch aus.

Einerseits werden die Abstandsregelungen in Abhängigkeit einer Vielzahl von Gewichtungs- und Bewertungsfaktoren dem Wunsch nach Differenzierung gerecht, andererseits lösen sie Diskussionen aus, warum der einzelne Faktor wie festgelegt wurde. Es werden sachlich und auch politisch motivierte Modifizierungswünsche vorgebracht. Das Ergebnis muss am Ende plausibel und die Faktorabstufungen sollten in sich konsistent sein. Wie die einzelnen Faktoren sich auswirken, hängt auch von der mathematischen Umsetzung ab, die nicht unbedingt logisch mit dem ursprünglichen Geschehen von der Emission über die Transmission zur Immission zusammenhängt. Je mehr Annahmen und Umrechnungsschritte enthalten sind, desto komplexer und schwerer nachvollziehbar sowie geringer akzeptiert ist die Abstandsregelung. Schließlich muss man sich vor Augen führen, dass die Regelungen sich alle direkt oder indirekt aus der VDI 3471 (1986) und den zu Grunde liegenden Begehungen aus den 70er Jahren ableiten. Die weiteren Modifikationen ergeben sich aus Erfahrungswerten, Plausibilitätsbetrachtungen und Testberechnungen. Es gibt nur wenige neuere Untersuchungen in deutlich geringerem Stichprobenumfang, die Berücksichtigung finden könnten (vgl. Kapitel 4.2.4).

5.2.2.2 Empirische Abstandsmodelle

Der Ansatz basiert auf Regressionsfunktionen zwischen Emission und zeitlicher Geruchsmissionshäufigkeit in Abhängigkeit der Windrichtungsverteilungshäufigkeiten und ggf. weitere Faktoren. Der Mindestabstand reicht bis zu den Immissionsorten, an denen ein kritischer Geruchsmissionsgrenzwert erstmals überschritten wird. Im Gegensatz zu den Abstandsregelungen mit Faktorgewichtung ist eine hohe Anzahl und Ausdifferenzierung der Eingangsgrößen im Sinne der Vereinfachung und Handhabung gerade nicht gewollt.

Als erstes verbreitetes und vereinfachtes Worst-Case-Abschätzverfahren zur Abstandermittlung ist zunächst EMIAK zu nennen (Empirisches Modell zur Abschätzung der Immissionssituation im Umfeld von Tierhaltungsverfahren nach Abshoff und Krause). Es reduziert die Transmission auf die gradlinige Ausbreitung von Geruchsstoffen bei Einbindung der Windrichtungshäufigkeit. Eine laterale Ausbreitung quer zur Windrichtung wird nicht abgebildet. Ein Immissionsort wird nur getroffen, wenn der Wind über die Emissionsquelle in Richtung Immissionsort weht. Alle bodennahen Quellen werden als Flächenquellen behandelt (KRAUSE 1991; KRAUSE 1997). Die Emissionsflächengröße ist abhängig von (RÜHLING & LOHMEYER, 1998):

- Stallbesatz in GV
- Stallqualität als Verhältnis von tierspezifisch erforderlicher Fläche zu tatsächliche bereitstehender Fläche
- Geruchsäquivalenzfaktor je nach Tierart
- Emissionshäufigkeit
- Tierspezifischer Emissionsfläche

RÜHLING & LOHMEYER (1998) kritisieren, dass die Windgeschwindigkeit nicht berücksichtigt wird, sondern immer Geruchswahrnehmungen angesetzt werden, wenn der Wind aus Richtung der Quelle weht. Andererseits würden Geruchsbeiträge durch weitere Windrichtungen außerhalb des definierten Betrachtungssektors vernachlässigt. Zudem würden die Ableitbedingungen über Art und Höhe der Quelle nicht beachtet. Eine Validierung der Ergebnisse sei nicht gegeben.

Bereits im Kontext des Kapitels 4.2.3.3 zu Anwendungen von Ausbreitungsmodellen wurde auf die Arbeiten zu einem empirischen Abstandsmodell von SCHAUBERGER et al. (2007) im Rahmen der Richtlinienarbeit in Österreich und zur VDI 3894 hingewiesen. Als Datengrundlage dienten über 4000 Abstandsberechnungen für 1°-feine Windrichtungsklassen, drei Quellstärken und vier Überschreitungshäufigkeiten der Geruchswahrnehmung mit dem österreichischen Modell AODM.

Als allgemeines Regressionsmodell wurde von SCHAUBERGER et al. (2007) eine Potenzfunktion gewählt:

$$\text{Schutzabstand } S = a \cdot Q^b \quad Q = \text{Quellstärke Geruchsemission [GE/s]} \quad (8)$$

Die beiden veränderlichen Koeffizienten a und b für das Regressionsmodell ergeben sich aus der Windrichtungshäufigkeit und der Überschreitungshäufigkeit der Geruchswahrnehmung an der Wahrnehmungsschwelle (1 GE/m^3). Untersucht wurde mit Hilfe der Ausbreitungsrechnungen, wie sich die Koeffizienten in Abhängigkeit von den Bedingungen und Quellenarten veränderten und mit welcher Auswirkung auf die Abstandsbestimmung.

Die diskrete, klassenweise Anpassung der Koeffizienten wies eine gute Modellgüte auf, die nur geringfügig durch meteorologische Parameter beeinflusst wurde. Die Trefferquote innerhalb eines Fehlerintervalls der durch das empirische Modell berechneten Schutzabstände im Vergleich zur Ausbreitungsrechnung lag bei Punktquellen bei 65% und Flächenquellen bei 69%. Im Vergleich zur bisherigen Österreichischen Abstandskurve wurden mit dem empirischen Modell im Mittel um den Faktor 1,24 bis 2,42 höhere Schutzabstände berechnet (SCHAUBERGER et al., 2007).

Dieser Ansatz wurde von der VDI-Arbeitsgruppe zur Erarbeitung einer neuen richtungsabhängigen Abstandsregelung für Tierhaltungsanlagen ebenso verfolgt (VDI 3894-2VE, 2010). Die Richtlinie beruht auf einer vereinfachten, schematischen Betrachtung der Emissions-, Standort- und Ausbreitungsbedingungen, was in vielen Fällen für eine konservative Beurteilung von Geruchsimmissionen ausreicht. Die Richtlinie soll den Abstand einer Tierhaltungsanlage, auch mit gemischten Tierbeständen, einschließlich Lagerstätten und außen gelegene Laufflächen liefern, bei dem die gewählte Geruchsstundenhäufigkeitsgrenze mit hinreichender Genauigkeit eingehalten wird.

Die Abstandsfunktion berechnet sich wie folgt:

$$R = a \cdot Q^b + d_r \quad Q = \text{Quellstärke Geruchsemission [GE/s]} \quad (9)$$

mit:

R	Richtlinienabstand in Transportrichtung
a	Koeffizient abhängig von Windrichtungs- und Geruchsstundenhäufigkeit
b	Koeffizient abhängig nur von der Geruchsstundenhäufigkeit
d_r	Zusatzabstand in Abhängigkeit von der Quellgeometrie

Die Parametrisierung der Koeffizienten erfolgte anhand umfassender Sensibilitätsuntersuchungen mit Hilfe von Ausbreitungsrechnungen.

Es wurden über 7000 Berechnungen mit AUSTAL2000G durchgeführt; für über 20 unterschiedliche standortspezifische Windstatistiken sowie mehrere Windrichtungssektoren, Emissionsmassenströme und Geruchsimmissionshäufigkeiten (HARTUNG, 2010). Die Berechnung der Quellstärke erfolgt mit Hilfe der mittleren Tiermasse bzw. Größe der Flächenquellen und den Konventionenwerten für Emissionsfaktoren im Anhang bzw. Blatt 1 der Richtlinie (VDI 3894-1E, 2009). Die Windrichtungshäufigkeiten in 10°-Sektoren sind aus einer für den Standort und die Aufgabenstellung geeigneten 36-teiligen Windrose zu entnehmen. Vereinfacht kann für eine erste Abschätzung von einer Windrichtungshäufigkeit von ca. 50% ausgegangen werden, wobei es in Transportrichtung zu Unterschätzungen kommen kann. Die Abstände variieren je nach Richtung und Ausdehnung der Quelle. Der Abstand hängt letztlich davon ab, welche gebietsbezogenen Grenzwerte für die Geruchsstundenhäufigkeit angesetzt werden (vgl. Kapitel 5.3.1). Eine tierartspezifische Gewichtung der Geruchsstundenhäufigkeit analog zu GIRL (2008) ist möglich (vgl. Kapitel 5.1.2). Auch ist die umgekehrte Berechnung von Geruchsstundenhäufigkeiten an Immissionspunkten in bestimmten Entfernungen zur Anlage durchführbar.

Abbildung 77 zeigt grafisch den Verlauf des Richtlinienabstandes bei vereinfachter Annahme einer Windhäufigkeit von 50‰ und in Abhängigkeit der Geruchsstundenhäufigkeit bzw. der Quellstärke.

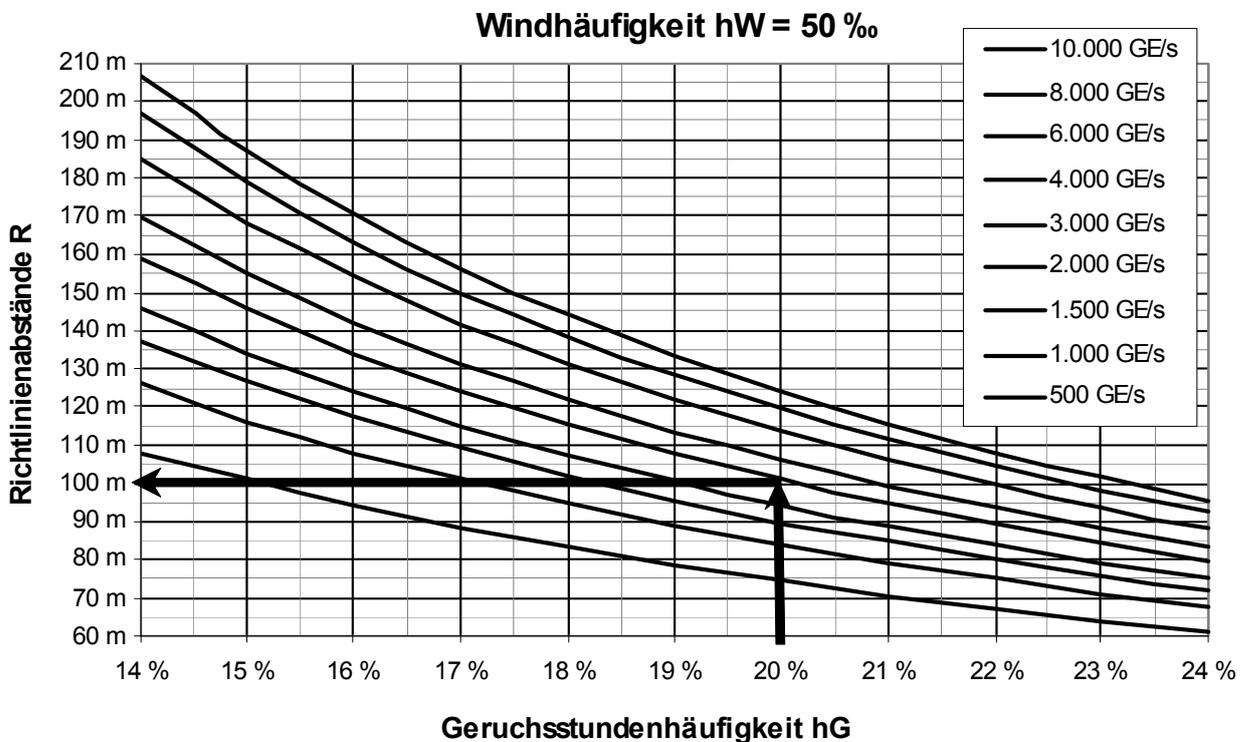


Abbildung 77: Verlauf des Richtlinienabstandes bei vereinfachter Annahme einer Windhäufigkeit von 50‰ und in Abhängigkeit der Geruchsstundenhäufigkeit bzw. der Quellstärke (VDI 3894-2VE, 2010)

Der Richtlinienabstand für eine Beispielanlage (120er Boxenlaufstall, Trauf-First Lüftung, offene Seitenwände) und reale Windrichtungshäufigkeitsverteilung für einen Geruchsstundenhäufigkeitsgrenzwert von 20% ist in **Abbildung 78** visualisiert. Je nach Windrichtung beträgt der Richtlinienabstand in diesem Fallbeispiel 73 m bis 125 m. Die Windrichtungshäufigkeit der 10°-Sektoren rangiert zwischen 15‰ und 50‰.

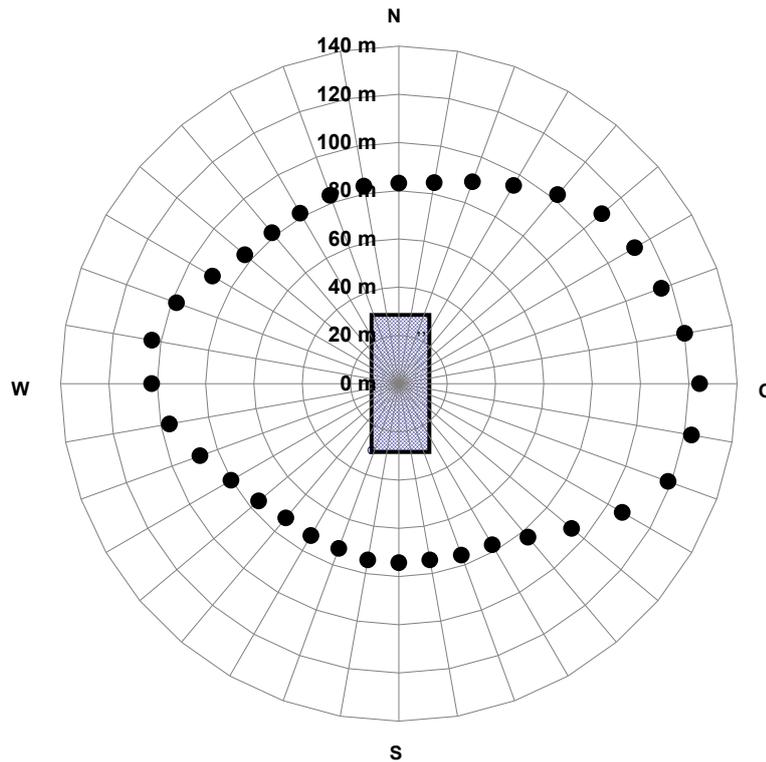


Abbildung 78: Richtlinienabstand für einen Boxenlaufstall für 120 Milchkühe und eine reale Windrichtungshäufigkeitsverteilung für einen Geruchsstundenhäufigkeitsgrenzwert von 20% (VDI 3894-2VE, 2010)

Die Berechnung des Mindestabstandes nach den faktorgewichteten Abstandsregeln für dasselbe Fallbeispiel ergibt für günstige und ungünstige meteorologische bzw. geländeklimatologische Bedingungen die in **Tabelle 13** aufgeführten Werte. Angesichts der unterschiedlichen Ansätze kann eine größere Übereinstimmung der Wertebereiche nicht erwartet werden. Es zeichnet sich keine deutliche Unterschätzung der notwendigen Abstände mit dem empirischen Abstandsmodell ab. Die Ergebnisse aus Untersuchungen zu Geruchsschwellenentfernungen in Hauptwindrichtung von Rinderställen liegen für diesen Beispielstall in einem Bereich zwischen 100 und 200 m (vgl. Kapitel 4.2.4.2).

Tabelle 13: Exemplarischer Vergleich der mit verschiedenen Ansätzen berechneten vollen Mindestabstände für einen Boxenlaufstall für 120 Milchkühe für günstige bzw. ungünstige meteorologische bzw. geländeklimatologische Bedingungen

Abstandsregelung Österreich SCHAUBERGER et al. (1995/2000)	Abstandsregelung Schweiz RICHNER & SCHMIDLIN (1995)	VDI 3474-E (2001)	VDI 3894-2VE (2010) (für 20% zulässige Geruchs- immissionshäufigkeit)
59 bzw. 98 m Bei Berechnungen mit einem empirischen Abstandsmodell womöglich etwa 1,2 bis 2,4-fach höher (SCHAUBERGER et al., 2007)	67 bzw. 101 m	89 bzw. 145 m	73 bzw. 125 m (bis ~ 150 m bei nur 15% zulässiger Geruchs- immissionshäufigkeit)

Der Beurteilungsansatz, mit Hilfe eines empirischen Abstandsmodells als Regressionsfunktion der Windrichtungshäufigkeit und Geruchsstundenhäufigkeit die Abstände vereinfacht zu ermitteln, ist leicht nachzuvollziehen. Je besser die standortbezogene Windstatistik, desto treffsicherer werden auch die Ergebnisse sein. Hier liegt dann auch das größte Risiko für Fehlbetrachtungen, wenn unpassende oder zu gering aufgelöste Windrosen verwendet werden. Das Verfahren ist voraussichtlich konservativer und suggeriert im Vergleich zu den faktorgewichteten Abstandsregelungen auch keine Detailtreue, Genauigkeit und Differenziertheit, die die Datenbasis für Emissionen und Immissionen aus der Tierhaltung derzeit nicht hergibt. Die Abstandsfunktion basiert jedoch nicht mehr auf Erhebungen zu Geruchsschwellenentfernungen, sondern wird iterativ aus einer Vielzahl von Modellrechnungen für verschiedene Faktorkombinationen ermittelt. Die Anzahl der Modellrechnungen übertrifft um ein Vielfaches die realisierbaren Stichprobenumfänge für Begehungen.

5.2.3 Fazit

Abstandsregelungen haben in Deutschland über die VDI-Richtlinienarbeit eine lange Tradition und gelten als anerkanntes und bewährtes Verfahren. Ziel einer Abstandsregelung sollte sein, für eine Vielzahl von Fällen mit hinreichender Genauigkeit und einfachen Mitteln den notwendigen Schutzabstand festlegen zu können. Die Abstandsregelungen haben sich von tierartspezifischen zu tierartübergreifenden Ansätzen mit Bewertungsfaktoren, oder als empirische Abstandsmodelle weiterentwickelt. In allen Phasen haben Expertengruppen nach bestem Wissen und Gewissen anhand von Daten, Erfahrungen und Plausibilitätsbetrachtungen Festlegungen für die Ab-

standsregelung getroffen, die nicht immer den Konsens in Anwenderkreisen fanden. In Abstandsregelungen muss, dem Zweck entsprechend, das richtige Maß zwischen Pauschalierung und Differenzierung bzw. Pragmatismus und Präzision gefunden werden, damit sie nachvollziehbar und handhabbar bleiben. Es wird immer „Beurteilungslücken“ geben, die über Sonderbeurteilungen gelöst werden müssen. Die Beurteilungspraxis ist auf das Werkzeug Abstandsregelung angewiesen. Ansonsten wird die Lücke durch eine Vielzahl eigener, mehr oder weniger geeigneter Beurteilungsverfahren gefüllt und ein einheitliches Vorgehen ist nicht mehr gegeben, wie das Beispiel der Beurteilung von Rinderhaltungen in den letzten Jahren gezeigt hat.

5.3 Begrenzung von Geruchsimmissionen

Bei der Begrenzung von Geruchsimmissionen geht es um die Festlegung, ab welchen Häufigkeiten, Konzentrationen oder Intensitäten die Geruchseinträge für den zu schützenden Rezeptor unzumutbar werden und zu einer erheblichen Belästigung führen. Die Beurteilung von Geruchsimmissionen erfolgt direkt anhand von gebietsabhängigen kritischen Geruchsstundenhäufigkeiten oder der Auftretenswahrscheinlichkeit von Immissionskonzentrationen selbst als Geruchsexpositionsgrenzwerte, ohne dass das Vorgehen mit einer expliziten Abstandsfunktion verknüpft ist. Die Grenzwertfestlegung erfolgt auf Basis der Erkenntnisse zum Belästigungsgeschehen (vgl. Kapitel 3.3) und unter Berücksichtigung von Expositions-Wirkungsbeziehungen von Gerüchen (vgl. Kapitel 4.4).

Zur Erfassung der Geruchsimmission können Begehungen durchgeführt werden, oder wie in den meisten Fällen, Ausbreitungsrechnungen dienen. Beurteilungsgröße ist die Immission und nicht die Emissionsseite. Indirekt fließen aber die Quellcharakteristika und Quellstärke in die Modellierung der Immission als Eingabegrößen für die Ausbreitungsrechnung ein. Auf die Vor- und Nachteile und jeweilige Messunsicherheit der Mess- und Modellierungsmethoden wurde ausführlich in Kapitel 4.2.3 und 4.2.4 eingegangen.

5.3.1 Begrenzung der Geruchsstundenhäufigkeit

Der Ansatz, als Beurteilungsgröße die Geruchsstundenhäufigkeit zu wählen, wird vor allem in Deutschland mit der Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL) verfolgt. Die GIRL erhebt den Anspruch, als Gesamtkonzept zur Vereinheitlichung der Bewertung von Geruchsimmissionen beizutragen. Sie wurde auf Basis von Vorgängerrichtlinien zur Handhabung von Geruchsimmissionen in der Verwaltungspraxis von Nordrhein-Westfalen entwickelt, 1993 in einer ersten Fassung vorgelegt und seitdem mehrfach ergänzt und aktualisiert. Anlass war, dass in der TA Luft keine konkreten Vorschriften zum Schutz vor erheblichen Geruchsbelästigungen enthalten waren. Entsprechend

bezieht sich die GIRL vornehmlich auf genehmigungspflichtige Anlagen, die in den Geltungsbereich der TA Luft fallen würden. Es wird aber auch ein Anwendungsbereich für nicht genehmigungspflichtige Anlagen gesehen. Ob eine Beurteilung nach GIRL notwendig ist, liegt im Ermessen der Behörde. Der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen kann in vielen Fällen bereits mit Abstandsregelungen oder Methoden des Konfliktmanagements sichergestellt werden.

In der aktuellen Fassung der GIRL (2008) mit Begründung und Auslegungshinweisen wurden die Erkenntnisse zur unterschiedlichen Belästigungswirkung von Industrieerüchen in Abhängigkeit der Hedonik und von Tierhaltungsgerüchen in Abhängigkeit der Tierart (vgl. Kapitel 4.4 und 5.1; Tabelle 12) in die Bewertungssystematik implementiert. Die GIRL (2008) legt nicht nur Immissionsgrenzwerte fest, sondern enthält konkrete Vorgaben, wie die Kenngrößen der Geruchsimmission im Genehmigungs- oder Überwachungsverfahren über Rasterbegehungen (VDI 3940-1, 2006) und Ausbreitungsrechnungen (TA Luft Modell, AUSTAL2000G) zu ermitteln ist. In den Auslegungshinweisen zur GIRL (2008) wird unter anderem ausführlich auf die Anwendung für landwirtschaftliche Anlagen sowie die Ermittlung, Zuordnung und Anwendung der Immissionsgrenzwerte (vgl. Kapitel 2.3, 4.2.4.3, Abbildung 51) eingegangen.

Die GIRL (2008) begrenzt die Geruchsstundenhäufigkeit auf definierten Beurteilungsflächen eines Beurteilungsgebietes in Abhängigkeit der Gebietsnutzung (**Tabelle 14**). Zwischenwerte sind an den Übergängen zwischen den Gebietnutzungskategorien möglich. In der Systematik der GIRL wird die Tierart berücksichtigt, indem die Geruchsstundenhäufigkeiten der Vor- oder Zusatzbelastung mit Gewichtungsfaktoren (vgl. Tabelle 12) in eine belästigungsrelevante Kenngröße umgerechnet werden, die dann mit den Grenzwerten verglichen werden. Es wurde eine, von der Verfahrensweise in der GIRL abweichende, Tabellendarstellung gewählt, um die Größenordnungen bei zusätzlicher Beachtung der Tierart besser veranschaulichen zu können. Beträgt die Zusatzbelastung einer geplanten Anlage weniger als 2%, kann von der Ermittlung der Gesamtbelastung abgesehen werden. Im Außenbereich kann die Kumulation von vielen Tierhaltungsanlagen dazu führen, dass keine weitere Zusatzbelastung zu tolerieren ist. Es sei denn, eine Erweiterung und Änderung einer Anlage verursacht im Vergleich zum Istzustand eine Reduktion der Geruchbelastung. Für Tierhaltungsanlagen untereinander besteht kein oder ein geringer Schutzanspruch.

Das Konzept der GIRL ist wiederholter Kritik ausgesetzt, der in den verschiedenen Überarbeitungsschritten und in neueren Untersuchungen zu Expositions-Wirkungsbeziehungen teilweise begegnet wurde. Die Kritik bezieht sich entweder auf die Methoden zur Ermittlung der Kenngrößen, das Geruchsstundenkriterium, die Rechengänge, die Höhe und Herleitung der Grenzwerte und Gewichtungsfaktoren, der unzureichenden Berücksichtigung von Intensität und Hedonik, oder die Anwendbarkeit auf

die Landwirtschaft und nicht genehmigungsbedürftige Anlagen (UM BW, 2007; KRAUSE, 1997; KRAUSE & MUNACK, 2009; GRIMM, 2007) (vgl. Kapitel 4.2.4.3; 5.1).

Tabelle 14: Regelungen in der Geruchsimmissionsrichtlinie GIRL (2008) zur Begrenzung der Geruchsstundenhäufigkeit von landwirtschaftlichen Gerüchen (*von GIRL abweichende Darstellungsweise; Tierartgewichtung auf Grenzwerte übertragen, umgerechnet und abgerundet*)

Grenzwerte Geruchsstundenhäufigkeit	Wohn- und Mischgebiete	Gewerbe- und Industriegebiete	Dorf- gebiete	Außen- bereich
Immissionsgrenzwert (auch für alle unten nicht genannten Tierarten)	10%	15%	15% (bis zu 20%)	25%
<i>Bei Gewichtung Mastgeflü- gel</i>	6%	10%	10%	16%
<i>Bei Gewichtung Mast- schweine und Sauen (nur bis 5000 Mastplätze und etwa 700-750 GV Sauen)</i>	13%	20%	20%	33%
<i>Bei Gewichtung Milchkühe mit Jungtieren (incl. Mast- bullen und Kälbermast bei unwesentlichem Geruchs- beitrag)</i>	20%	30%	30%	50%
Irrelevanzkriterium „Kleine Irrelevanz“	2% (aber keine Anwendung der Tierartgewich- tung)			Je nach Ku- mulation 0,4%
Tierhaltungsbetriebe unter- einander	Keine Begrenzung bei gleicher Tierart oder deutlich geringe- rer Schutzanspruch bei unterschiedlichen Tierarten			
Kontigentierung	Im Genehmigungsverfahren sollte eine Anlage den zulässigen Grenzwert nicht voll ausschöpfen.			
Ermittlung Vorbelastung	Kann entfallen, wenn abzuschätzen ist, dass die Vorbelastung < 50% der Grenzwerte ist.			

GRIMM (2007) arbeitet in Bezug auf die Anwendung der GIRL im landwirtschaftlichen Bereich u.a. folgende Kritikpunkte heraus:

- Geringe Datenbasis für Mastgeflügel bzw. Notwendigkeit für weitere Untersuchungen oder Festlegung von Gewichtungsfaktoren für Legehennen, Aufzuchtferkel, Mastbullen.

- Unplausible Gleichstellung von Legehennen mit anderen weniger geruchsträchtigen Tierarten wie Pferde, Schafe und Ziegen.
- Begrenzung der Anwendung des Gewichtungsfaktors für Schweine und Sauen auf eine obere Stallplatzgröße. Größere Betriebe würden benachteiligt, solange nicht nachvollziehbar aufgezeigt wird, dass eine größere Anlage anders wirkt.
- Faktische Verschärfung der Irrelevanzregel für Schweine und Rinder, wenn der Gewichtungsfaktor nicht anwendbar ist.

Die GIRL hat sich in den letzten Jahren weiterentwickelt. Sie verfolgt einen klaren immissionsseitigen Ansatz und bietet einen Weg zur (einheitlichen) Beurteilung von Geruchsimmissionen an. Die Vorgaben zu den Methoden bei Rasterbegehung und Ausbreitungsrechnung sind mit den Regelungen außerhalb der GIRL harmonisiert worden (VDI-Richtlinien, TA Luft). Als Datenbasis für die Grenzwertfestlegung dienen die Erkenntnisse aus Expositions-Wirkungsbeziehungen. Die Expositionsgröße „Häufigkeit“ hat sich dabei als hauptsächlich wirkungsrelevant erwiesen. Es wird eine zunehmende Akzeptanz der GIRL in der Beurteilungspraxis und in der Rechtsprechung verzeichnet. Die neue VDI-Abstandsregelung (VDI 3894-2VE, 2010) nimmt ebenso Bezug auf die Grenzwerte zur Geruchsstundenhäufigkeit und Tierartgewichtung nach GIRL (2008).

In Österreich werden im Nationalen Umweltplan strengere Grenzwerte für die Häufigkeit von Geruchsstunden empfohlen. Im Gegensatz zur deutschen GIRL, die auf Gerüche ab ihrer Erkennbarkeit abstellt, wird in Österreich nach „wahrnehmbar“ (1 GE/m³) und „stark wahrnehmbaren“ (3 GE/m³) Gerüchen unterschieden. Des Weiteren beziehen sich die Grenzwerte der Geruchsstundenhäufigkeit bereits auf zumutbare und nicht erst erhebliche Geruchsbelastungen (HAIDER et al., 1994):

Stark wahrnehmbare Gerüche	3%
Gesamtgeruchsbelastung (wahrnehmbar und stark wahrnehmbar)	8%

5.3.2 Begrenzung der Geruchsimmissionskonzentration

In den meisten anderen Ländern dient ein Geruchsexpositionsgrenzwert als Geruchsbelastungskriterium. Sie sind indikativ für eine durchschnittliche Immissionskonzentration (meist Einstunden-Mittelwert), deren Auftreten wahrscheinlich ist für einen spezifizierten Prozentsatz (z.B. 98%-Perzentil) der Jahresstunden eines durchschnittlichen meteorologischen Jahres. Für die restliche Zeit (hier 2% der Jahresstunden) werden die mittleren Immissionskonzentrationen höher oder gleich der Grenzwertkonzentration sein. Die Immissionskonzentration wird dabei meist nicht direkt gemessen, sondern anhand von Emissionsmessungen bzw. Emissionsfaktoren und Ausbreitungsrechnungen ermittelt. Geruchsexpositionswerte sind wahrscheinlichkeitsbasiert und deshalb keine absoluten Grenzwerte. Die Grenzwerte

wurden aus Expositions-Wirkungsbeziehungen abgeleitet, mit dem Ansatz, den Anteil stark belästigter Personen zu begrenzen (vgl. Kapitel 4.4.1, Abbildung 70 bis 72).

MELSE et al. (2009) und BONGERS (2009) erläutern, dass in den Niederlanden die Ziele des Immissionsschutzes von 1975 bis 2006 mit rigiden und statischen Abstandsregelungen für Gerüche aus der Tierhaltung durchgesetzt wurden. Seit 2007 ist eine neue gesetzliche Regelung in Kraft („Wet geurhinder en veehouderij“ INFOMIL, 2007). Demnach erfolgt die Beurteilung nun über Ausbreitungsmodellierung, die die Geruchsexposition (98-Perzentil) in sensitiven Objekten im Umfeld einer Geruchsquelle berechnet. Es wurden vier Gebietskategorien definiert, je nachdem ob das Schutzobjekt innerhalb oder außerhalb der geschlossenen Bebauung und ob es innerhalb oder außerhalb eines Konzentrationsgebietes für Tierhaltung liegt (**Tabelle 15**). Das zur Ausbreitungsberechnung zu verwendende Fahnenmodell V-Stacks wird vom Umweltministerium vorgegeben. Die Konzentrationsgebiete werden dabei anhand der Ammoniakemission auf Gemeindeebene definiert. Es gilt Bestandsschutz für bestehende Anlagen. Die lokalen Behörden haben einen größeren Handlungsspielraum erhalten und können von den Geruchsexpositionsgrenzwerten und Mindestabständen abweichen.

Für bestimmte Tierkategorien (insbesondere Schweine und Geflügel) werden Geruchsemissionsfaktoren per ministeriellem Dekret festgelegt. Sie werden an der Geruchsimmission, die sie verursachen, beurteilt. Andere Tierarten wie Milchkühe, für die keine Emissionsfaktoren vorgegeben sind, werden anhand eines Mindestabstandes beurteilt. Dieser beträgt für den Innenbereich meist 100 m und im Außenbereich 50 m (INFOMIL, 2007; BONGERS, 2009).

Tabelle 15: Geruchsexpositionsgrenzwerte ($C_{98, 1h} < X \text{ GE}_E/\text{m}^3$) in den Niederlanden mit dem damit verbundenen Anteil Belästigte (INFOMIL, 2007)

	Innenbereich		Außenbereich	
	Richtwert	Maximal	Richtwert	Maximal
Konzentrationsgebiet	3	14	14	35
Anteil Belästigte	≥ 8%	≥ 25%	≥ 25%	≥ 41%
Nicht-Konzentrationsgebiet	2	8	8	20
Anteil Belästigte	≥ 11%	≥ 29%	≥ 29%	≥ 46%

Im Außenbereich mit einer sehr hohen Dichte von tierhaltenden Betrieben werden in den Niederlanden nennenswerte Geruchsbelastungen bzw. ein recht hoher Anteil belästigter Personen in Kauf genommen (vgl. auch Abbildung 72). Auch im Innenbereich kann eine lokale Entscheidung die mögliche Ortsüblichkeit von Gerüchen aus

der Tierhaltung berücksichtigen. Der tolerierte Anteil Belästigter geht über das Maß in anderen umweltmedizinischen Regelungen hinaus (vgl. Kapitel 3.3; Tabelle 2).

In England wurden im Vorfeld der Neufassung der sogenannten H4-Richtlinie zur Umsetzung der europäischen Immissionsschutzregelungen fundierte Literaturstudien zur Charakterisierung von Gerüchen und Geruchsschwellen sowie Ausbreitungsmodellen für Geruchsprognosen erstellt (PULLEN, 2007; PULLEN & VAWDA, 2007). Im Juni 2009 wurde ein neuer Entwurf für eine technische Richtlinie Geruchsmanagement zur Beratung vorgelegt (ENVIRONMENTAL AGENCY 2009). Als Grundlage der Grenzwerte wird angenommen, dass nicht mehr als 10% der Bevölkerung über Geruchsbelästigungen berichten. Die Geruchsexpositionsgrenzwerte sind hier nicht abhängig von der Gebietsnutzung, sondern von der hedonischen Geruchsqualität (offensiveness) (**Tabelle 16**). VAN HARREVELD (2009) hinterfragt, ob die Hedonik ein geeigneter Maßstab ist, angesichts der Messunsicherheit und fehlender Validierungsuntersuchungen. SUCKER (2008) konnte eine unterschiedliche Belästigungswirkung nur bei großen hedonischen Unterschieden zwischen eindeutig angenehmen oder eindeutig unangenehmen Gerüchen nachweisen.

Tabelle 16: Geruchsexpositionsgrenzwerte in England in Abhängigkeit der Geruchsqualität (offensiveness)

Hoch (highly offensive)	Moderat (moderately offensive)	Weniger (less offensive)
$C_{98, 1h} < 1,5 \text{ GE}_E/\text{m}^3$	$C_{98, 1h} < 3 \text{ GE}_E/\text{m}^3$	$C_{98, 1h} < 6 \text{ GE}_E/\text{m}^3$
z.B. Futtermittelherstellung, Fleisch- und Fischverarbeitung, Kläranlage	z.B. Intensive Tierhaltung, Zuckerrübenverarbeitung, Gerüche die nicht eindeutig den anderen Kategorien zuzuordnen sind	z.B. Rösterei, Brauerei, Bäckerei

In weiteren Ländern werden unterschiedliche Ansätze verfolgt, von welchen Faktoren die Geruchsexpositionsgrenzwerte abhängen, wie differenziert und für welche Mittelungszeit und Überschreitungshäufigkeit die Grenzwerte definiert sind. Weitere Beispiele sind in **Tabelle 17** den Angaben in NICELL (2009) und VAN HARREVELD (2009) entnommen.

VAN HARREVELD (2009) beschreibt den Vergleich an vier Anlagen von Rasterbegehungen nach VDI 3940 mit Ausbreitungsrechnungen zur Zielgröße Geruchsexpositionswert ($C_{98, 1h}$). Demnach entsprach eine 10% Geruchsstundenhäufigkeit einem

Geruchsexpositions-kriterium von 3 bis 7 GE_E/m^3 . Er empfindet die Beurteilung nach GIRL als etwas milder als die Regelungen zur Begrenzung der Geruchsexposition.

Tabelle 17: Weitere Beispiele für Geruchsexpositions-grenzwerte [GE_E/m^3] in verschiedenen Ländern nach Angaben in NICELL (2009) und VAN HARREVELD (2009).

Land	Grenzwert für:	Expositionsgrenzwert		Perzentil & Mittelungszeit
Frankreich	Produktions-sektor	5	z.B. Kompostierung Tierkörperverwertung	98 & 1h
Irland	Tierhaltung (Schweine)	1,5	Ziel	98 & 1h
		3	neue Anlagen	
		6	bestehende Anlagen	
Dänemark	Tierhaltung	5	dichte Bebauung	99 & 1min
		7	aufgelöste Bebauung	
		15	Einzellage	
Süd-Australien	allgemein	2	2000 Anwohner	99,9 & 3 min
		4	350-1999 Anwohner	
		6	60-349 Anwohner	
		8	12-59 Anwohner	
		10	< 12 Anwohner	
Neuseeland	allgemein	1-2	hoher Schutzanspruch	99,5 & 1h
		5	mittlerer Schutzanspruch	
		5-10	geringer Schutzanspruch	

5.3.3 Fazit

Ein immissionsseitiger Ansatz zur Begrenzung von Geruchsbelästigungen hat sich in vielen Ländern durchgesetzt. Die Begrenzung von Geruchsstundenhäufigkeiten mit Differenzierungsmöglichkeit nach Tierarten ist ein speziell deutscher Weg. In der Regel wird anhand von Geruchsexpositions-grenzwerten eine Beurteilung vorgenommen. (Zum Vergleich: die Geruchsstundenhäufigkeit 20% entspricht einem 80%-Perzentil-Geruchsexpositions-wert von $C_{80, 1h} = 1 \text{ GE}/\text{m}^3$).

Die meisten Regelungen stützen sich, in Ermangelung eigener Untersuchungen, vor allem auf die niederländischen Expositions-Wirkungsbeziehungen. In den Niederlanden können weniger geruchsträchtige Tierarten weniger streng beurteilt werden. Hauptbeurteilungswerkzeug sind Ausbreitungsrechnungen, deren Aussagekraft stark von der Qualität des Modells und der Eingangsdaten abhängen. Von einer einheitlichen Vorgehensweise kann nicht gesprochen werden, dazu unterscheiden sich die

Regelungen in Details der Grenzwertfestsetzung und in den Modellierungswerkzeugen noch zu stark. Dies wird noch durch die Tendenz verstärkt, den lokalen Behörden wieder größere Entscheidungsspielräume zu gewähren.

6 Schlussfolgerungen

Die Beurteilung von Gerüchen aus der Tierhaltung erfolgt anhand von Parametern mit Hilfe verschiedener Methoden und meist eingebettet in Beurteilungsverfahren. Um diese drei Aspekte und ihre Eignung für den Beurteilungszweck einordnen zu können, wurde eingehend der jeweilige Wissensstand anhand einer Literaturlauswertung und der Ergebnisse eigener Untersuchungen aufgearbeitet und bereits an gegebener Stelle in einem Fazit bewertet.

An dieser Stelle dient eine übergeordneter Betrachtungsebene der zusammenfassenden Bewertung der Wege zur Beurteilung von Gerüchen aus der Tierhaltung, ohne erneut auf die einzelnen Aspekte im Detail einzugehen. Die Arbeit findet ihren Abschluss mit der Formulierung des weiteren Forschungsbedarfs und im Ausblick.

6.1 Wege zur Beurteilung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung

Die Beurteilung von Geruchsimmissionen kann anhand eines quellseitigen Ansatzes oder wirkungsbezogenen Ansatzes erfolgen. Der quellseitige Ansatz leitet aus der Anlagengröße und –charakteristik als Beurteilungsgegenstand ein Immissions- und Belästigungsrisiko ab. Der wirkungsbezogene Ansatz zielt auf die immissionsseitige Erfassung von Parametern, die sich anhand von Expositions-Wirkungsbeziehungen als belästigungsrelevant erwiesen haben. Schließlich besteht die Möglichkeit einen rezeptor- bzw. personenbezogenen Ansatz zu wählen, indem die entscheidende Beurteilungsgröße in der Tat „nur“ der Belästigungsgrad der Anwohner ist. Die Grenzen zwischen den drei Ansätzen sind fließend, da die Ursache Emission über die Transmission mit der Immission und Wirkung verbunden ist. Deshalb müssen Modellierungs- und Berechnungsverfahren zur Ermittlung der entscheidenden Beurteilungsgröße die beeinflussenden Parameter entlang des Ausbreitungspfadcs berücksichtigen. Eine direkte immissionsseitige Messung oder Befragung der Anwohner ist angenommen weniger auf weitere Messgrößen angewiesen, wenn es vor allem um die Wirkungsfrage und weniger um eine Anlagenbeurteilung geht.

Geeignete Parameter für die Beurteilung von Geruchsimmissionen sollten sich einerseits als wirkungs- und belästigungsrelevant erwiesen haben und andererseits möglichst objektiv und reproduzierbar bestimmbar sein. Letzterem Anspruch kann bei der Geruchsmessung noch nicht zufriedenstellend genügt werden, da alle Messverfahren und Modellierungsansätze mit deutlichen Messunsicherheiten und einem größeren Anwendereinfluss behaftet sind. In **Tabelle 18** wird die Eignung verschiedener Parameter und Methoden, hier vorwiegend bezogen auf den Zweck der Immissionsbeurteilung, eingeschätzt.

Tabelle 18: Einschätzung der Eignung von Parametern und Methoden zur Beurteilung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung

Quelle	Methoden	Eignung	Bemerkung
Emissionsbedingungen			
Anlagenbeschreibung	Erhebung	gut	notwendige Zusatzinformation
Abluftkonzentration	Olfaktometrie Elektronische Geruchssensoren Leitkomponentenanalytik	mittel bis gut mittel bis gut ungeeignet	je nach Qualitätsstandard des Labors; nur Einzelproben stark abhängig von Sensor und Referenzierung, kontinuierliche Messung keine nachhaltige Aussagekraft für Geruch
Intensität	Olfaktometrie	ungeeignet	da keine Aussagekraft für Immissionswirkung
Hedonik	Olfaktometrie	ungeeignet	da keine Aussagekraft für Immissionswirkung
Abluftvolumenstrom	Abschätzung aus Ventilator Kennlinie Strömungsprofilmessung Messventilator	ungenau gut sehr gut	bei Beachtung der Messvorschriften; Einzelmessung kontinuierliche Messung
Konventionswerte Emissionsfaktoren	Expertenfestlegung	ausreichend	für den gedachten Zweck; keine Abbildung zeitlicher Emissionsvariabilität und tatsächlicher Emission
Quelltermrückrechnung	Fahnenbegehung und Modellierung	mittel	abhängig von Anwenderkompetenz und Modellierungsbedingungen; Einzelsituation
Minderungsmaßnahmen	s.o.	gut bis ungeeignet	Wirkung und Quantifizierbarkeit stark abhängig von Maßnahme

Fortsetzung Tabelle 18:

Einschätzung der Eignung von Parametern und Methoden zur Beurteilung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung

	Methoden	Eignung	Bemerkung
Transport			
Transmissionsbedingungen			
Ableitbedingungen	Erhebung	gut	
Abluffbahnenüberhöhung	Berechnung und Modellierung	mittel	da Effekt nicht immer so eintritt wie gewünscht
Minderungsmaßnahmen	Messung, Simulation, Modellierung	gut im Einzelfall	allgemein aber schlecht quantifizierbar und auf andere Fälle übertragbar
Meteorologie	Messung	gut für Messzeitraum	aber keine Langzeitstatistik
	Übertragung von Messdaten anderer Standorte	mittel	fehlerbehaftet; begrenzte Verfügbarkeit; dafür eher Langzeitstatistik
	Synthetische Windrosen	mittel	Hilfsmittel; fehlerbehaftet da Modell
Topographie und Orographie	Erhebung	gut	
	Modellierung	mittel	abhängig von Modellgrundlagen und Anwender
Kaltluftabflüsse	Erhebung, Messung	gut	
	Abschätzung Modellierung	mittel	Hilfsmittel; nicht überall verfügbar, begrenzte Ausflösung
turbulenter Transport insgesamt	Modellierung (Turbulenz, Gelände, Windfeld)	eingeschränkt bis gut	stark abhängig von Modellstruktur, Anwendungsfall und Anwenderkompetenz (je komplexer die Geländestrukturen, desto schwieriger und ungenauer)

Fortsetzung Tabelle 18:

Einschätzung der Eignung von Parametern und Methoden zur Beurteilung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung

	Methoden	Eignung	Bemerkung
Eintrag			
Immissionsbedingungen			
Häufigkeit	Rasterbegehung	mittel bis gut	abhängig von Anwenderkompetenz, Richtliniekonformität, Stichprobenumfang, Prüfergebnung etc.
Konzentration	Begehung elektronischer Geruchssensor	mittel eingeschränkt	grobe Ausflösung alles Schwellenüberschreitung bzw. über Intensitätsstufen abhängig von Kalibrierung und Auswertalgorithmen; Immissionsseitig für Tierhaltungsgerüche noch nicht etabliert
Häufigkeit und Konzentration	Modellierung Nahbereich Modellierung außerhalb Nahbereich	eingeschränkt mittel bis gut	abhängig von Anwendungsfall, Modellgrundlagen und Anwender abhängig von Anwendungsfall, Modellgrundlagen und Anwender
Fluktuation, Peak to Mean Ratio	Modellierung	eingeschränkt bis gut	hohe Wirkungsrelevanz; aber Berücksichtigung in Modellierung oft nur als konstanter Faktor
Intensität	Begehung	mittel bis gut	keine direkte Wirkungsrelevanz
Hedonik	Begehung	mittel bis gut	keine direkte Wirkungsrelevanz
	Methoden	Eignung	Bemerkung
Wirkung			
Rezeptor			
Beschwerdehäufigkeit	Sammlung von Beschwerden	mittel bis gut	abhängig vom Zugang zu Beschwerdemöglichkeiten; Beschwerdeverhalten individuell sehr unterschiedlich
Belästigungsgrad	Fragebogen, Interview	mittel bis gut	direkte Wirkungserfassung; Störvariablen zu beachten; abhängig von Befragungsmethodik und -umfang
Häufigkeit, Intensität, Hedonik	Geruchstagebücher	mittel bis gut	Belästigung einkreisbar auf bestimmte Geruchsereignisse; löst evtl. erst eine Sensibilisierung auf Gerüche aus

In vielen Fällen ist kein abschließendes Urteil möglich, da die Eignung sehr stark von den verfügbaren Methoden, dem Anwendungsfall und den Anwendern selber abhängt. Sowohl in Forschung als auch Beurteilungspraxis ist man zunehmend sensibilisiert für die Fragen der Messunsicherheit und notwendigen Maßnahmen zur Qualitätssicherung und Harmonisierung der Methoden und Vorgehensweisen. Des Weiteren ist bewusst zu machen, dass ein sehr differenziertes Vorgehen mit Erfassung von vielen Faktoren und unter Einsatz von vermeintlich hochgenauen Methoden nicht unbedingt ein genaueres Ergebnis in Hinblick auf die Beurteilung von Geruchsimmissionen erbringt. Die vielfältigen Messunsicherheiten entlang der Messkette können sich im Rechengang ungünstig multiplizieren. Ein eher einfaches Vorgehen kann bei der derzeitigen Methodenverfügbarkeit sogar zielführender und besser nachzuvollziehen sein, wenn eine konservative Entscheidungsgrundlage zum Schutz vor Belästigungen angestrebt wird.

Beurteilungsverfahren bedienen sich einer Kombination aus verschiedenen Methoden und Parametern, um daraus eine Entscheidung abzuleiten, ob eine vorhandene oder zu erwartende Geruchsbelastung die Grenze zur Erheblichkeit überschreitet oder nicht. Wo diese Grenze zu ziehen ist, wird anhand grundsätzlicher Überlegungen abgewogen, wie hoch der Anteil (stark) Belästigter in einer Gesellschaft sein darf (meist etwa 10% bis 20%), angesichts der Erkenntnis, dass ein 100%-iger Schutzzumfang kaum realisierbar ist. Die Ansprüche sind international unterschiedlich, sicherlich auch in Abhängigkeit der bereits vorhandenen Dichte der Tierhaltung und Zieldefinitionen für die Luftreinhaltung.

Abstandsregelungen ermitteln in unterschiedlichem Differenzierungsgrad den notwendigen Schutzabstand in Abhängigkeit von Emissions-, Transmissions- und Immissionsbedingungen. Sie basieren ursprünglich auf Geruchsschwellenmessungen und sollen sicherstellen, dass an der Abstandsgrenze keine erheblichen Gerüche mehr wahrnehmbar sind. Empirische Abstandsmodelle nutzen einen Datensatz zur Ermittlung einer verallgemeinerbaren Abstandsfunktion, die aus einer Vielzahl von Ausbreitungsrechnungen für verschiedene Szenarien und insbesondere Windrichtungshäufigkeitsverteilungen generiert wurde. Der Abstand hängt dann davon ab, in welcher windrichtungsabhängigen Entfernung eine kritische Häufigkeit oder Konzentration überschritten wird.

Beurteilungsverfahren direkt auf Grundlage der Immissionshäufigkeit (Deutschland, ggf. Österreich) oder Konzentration (die meisten anderen Länder) leiten quantitative Immissionsgrenzwerte aus Expositions-Wirkungsbeziehungen in Abhängigkeit des Prozentsatzes tolerierbarer Belästigter ab. In allen in Deutschland genutzten Verfahren wird der unterschiedlich hohe Schutzanspruch der Gebietskategorien im Sinne einer Ortsüblichkeit berücksichtigt. Eine Berücksichtigung der Tierart ist ebenso vorgesehen. Die Ermittlung erfolgt meist mittels Ausbreitungsrechnungen, seltener

durch Begehungen. Die Ausbreitungsrechnung hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die Modellansätze wurden optimiert und bessere Rechenleistungen haben neue Möglichkeiten eröffnet. Die Modellierung kann ein Vielfaches von Szenarien berechnen, die mittels Messungen nicht zu bewältigen wären. Dennoch handelt es sich um ein komplexes Werkzeug, das eine hohe Sorgfalt und fachliche Kompetenz bei der Anwendung erfordert und auf den Input von realen und zutreffenden Daten angewiesen ist. Insbesondere bei der Interpretation von Modellierungsergebnissen im Zusammenhang mit Grenzwertentscheidungen ist die Messunsicherheit und Sensitivität der Ergebnisse für Parametervariationen zu beachten.

Tabelle 19 zeigt einen Vorschlag, wie die verschiedenen Beurteilungsverfahren (vgl. Kapitel 5.2. und 5.3) im Vergleich beurteilt werden können. Die Betrachtung erfolgt im Rahmen dieser Arbeit losgelöst von regulatorischen und rechtlichen Rahmenwerken oder Beschränkungen, da hier die Beurteilungsmöglichkeiten prinzipiell betrachtet werden. Es hat sich gezeigt, dass sich viele denkbare Einflussfaktoren nicht in dem Differenzierungsgrad als wirkungsrelevant und messbar erwiesen haben, wie es Vielfach gewünscht wird. Deshalb zielt der Vergleich auf die Angemessenheit der Beurteilungsverfahren angesichts des derzeit machbaren und auf eine einfache Handhabbarkeit in der Anwendung über folgende Kriterien:

- Geringes Risiko der Fehlanwendung: Eine Verfahren mit einfachen Mittel wird besser bewertet als eine sehr komplexe Anwendung, die eher zu Missverständnissen und Fehlanwendungen führen kann.
- Reproduzierbarkeit und Robustheit der Ergebnisse: Kommt ein anderer Anwender zum ähnlichen Ergebnis oder ist der Auslegungsspielraum bzw. die Messunsicherheit sehr groß?
- Unabhängigkeit von Ausbreitungsrechnungen: Kann eine Beurteilung ohne spezielle Kenntnisse in der Ausbreitungsrechnung erfolgen?
- Unabhängigkeit von Emissionsdaten: Kann eine Beurteilung unabhängig von Emissionsdaten erfolgen?
- Unabhängigkeit von Windstatistiken: Kann eine Beurteilung ohne standortspezifische Winddaten erfolgen?
- Güte der Datenbasis, auf der Regelung basiert: Wie umfangreich, aktuell und aussagekräftig ist die Datenbasis?
- Nachvollziehbarkeit und Konsensfähigkeit der Regelungsinhalte: Sind die Inhalte plausibel und mit normalem Sachverstand nachzuvollziehen?
- Geringer Bedarf für Einzelfallbeurteilungen: Der Anwendungsbereich ist so weit, dass ein Großteil der Anlagen beurteilt werden kann.

Tabelle 19: Vergleich von Beurteilungsverfahren anhand von Kriterien im Hinblick auf eine einfache Anwendbarkeit

Einfachheitskriterien 1 = erfüllt 2 = teilweise erfüllt 3=kaum erfüllt	Beurteilungsverfahren				
	Tierartspezifische Abstandsregelungen	Abstandsregeln mit Faktorgewichtung	Empirische Abstandsmodelle	Begrenzung Geruchsstunden- häufigkeiten (Ausbreitungsrechnung)	Geruchsexpositions- grenzwerte (Ausbreitungsrechnung)
Geringes Risiko der Fehlanwendung	1	2	1	2	2
Reproduzierbarkeit und Robustheit der Ergebnisse	1	2	1	2	2
Unabhängigkeit von Ausbreitungsrechnungen	1	1	2	3	3
Unabhängigkeit von Emissionsdaten	1	1	3	3	3
Unabhängigkeit von Windstatistiken	1	2	3	3	3
Umfang und Güte der Datenbasis	2	2	2	2	2
Nachvollziehbarkeit und Konsensfähigkeit	2	3	1	2	2
Geringer Bedarf für Einzelfallbeurteilungen	2	2	2	2	2
Im Mittel Einfachheitskriterien erfüllt	vorwiegend erfüllt	teilweise erfüllt	teilweise erfüllt	eher nicht erfüllt	eher nicht erfüllt

Die Zuordnung der Regelungsprinzipien entspricht der Systematik in Kapitel 5.2 und Kapitel 5.3. Tierartspezifische Abstandregelungen beziehen sich auf die bestehenden VDI-Richtlinien für Schweine (VDI 3471, 1986) und Hühner (VDI 3472, 1986) bzw. den Entwurf für Rinder (VDI 3473-E, 1994). Abstandsregelungen mit Faktorge- wichtung sind tierartübergreifend, wie es in der Schweiz (RICHNER & SCHMIDLIN, 1995) in Österreich (SCHAUBERGER et al., 1995/2000) und im Entwurf der VDI 3474-E (2001) praktiziert wird. Empirische Abstandsmodelle sind in SCHAUBERGER et al., 2007 und im Vorentwurf zur neuen VDI Richtlinie VDI 3894-2VE (2010) beschrieben. Das Konzept zur Begrenzung der Geruchsstundenhäufigkeit findet sich vor allem in der GIRL (2008). Geruchsexpositionsgrenzwerte werden in anderen Ländern ver- wendet, hier wird sich auf das Beispiel der Niederlande bezogen (INFOMIL, 2007).

Welche Bedeutung nachher den einzelnen Kriterien zukommt, muss letztlich der An- wender selber in Abhängigkeit seiner Möglichkeiten, verfügbaren Mittel und des An- wendungszwecks abwägen.

Generell wird empfohlen, bereits die Standortwahl mit einfachen Beurteilungswerk- zeugen vor allem in Hinblick auf Wind- und Kaltluftverhältnisse zu begleiten. Zudem hat es sich bewährt den Planungs- und Beurteilungsprozess transparent unter Ein- bindung der Betroffenen zu gestalten und die Methoden des Konfliktmanagements von Anfang an zu nutzen. Die Notwendigkeit, Angemessenheit und der Nutzen von Emissions- und Immissionsminderungsmaßnahmen ist zu prüfen. Beschwerdefälle erfordern einen sensiblen Umgang mit den Betroffenen und gegenseitiges Entge- genkommen. Die multifaktoriellen Einflüsse auf das Belästigungsempfinden sind zu beachten.

6.2 Forschungsbedarf und Ausblick

Kurz- und mittelfristig ist es Aufgabe, die bestehenden Beurteilungsverfahren und Methoden hinsichtlich der Reproduzierbarkeit und Präzision sowie die Qualität und Verfügbarkeit der Eingangsdaten zu verbessern. Die Weiterentwicklung der Beurtei- lungsverfahren hängt eng mit den Fortschritten bei Messverfahren und Modellie- rungswerkzeugen zusammen. Es ist davon auszugehen, dass die Entwicklung auf technisch-sensorischer Seite sowie bei der Datenverarbeitung noch am Anfang der denkbaren Möglichkeiten steht. Folgende Aspekte sollten zukünftig stärker betrachtet werden:

- Differenzierte Quantifizierung der Emissionen insbesondere von Offenställen und diffusen Quellen sowie von Emissions- und Immissionsminderungsmaßnahmen. Harmonisierung der Messverfahren und Verringerung der Messunsicherheit.
- Abgestimmtes flächendeckendes Messprogramm zur Bestimmung von Emissi- onsfaktoren.

-
- Sammlung von bisher nicht veröffentlichten Daten aus Gutachten und Messprogrammen in einer zentralen Datenbank und Auswertung mit Methoden der Masendatenanalyse. Die Daten wären zum einen als Grundlage für die Ableitung von Emissionsfaktoren und zum anderen als Validierungsdatensatz für Ausbreitungsrechnungen nutzbar.
 - Weiterentwicklung von technisch-sensorischen Verfahren auch für die Erfassung von Immissionen aus der Tierhaltung. Entwicklung von Sensorik, die über einen längeren Zeitraum die Geruchsmissionen bei den Anwohnern detektieren kann, so dass aufwändige Begehungen ergänzt oder ersetzt werden könnten.
 - Weiterverfolgung von mehr dynamischen Ansätzen in der Ausbreitungsmodellierung durch Berücksichtigung von Emissionszeitreihen, Transmissionszeitreihen sowie variierender Fluktuationsmodelle und die Gewichtung von besonderen Geruchsereignissen. Optimierung von Modellierungswerkzeugen für den Nahbereich.
 - Entwicklung von Werkzeugen zur Ausbreitungsberechnung und Strömungssimulation „für jedermann“.
 - Entwicklung von kurzfristig anwendbaren Geruchsmanagementmaßnahmen in direkter Rückkopplung auf Grenzwertüberschreitungen bei den Anwohnern. Online Überwachung der Emission und Immission durch parallel laufende kontinuierliche Ausbreitungsrechnung und Früherkennung von kritischen Situationen.
 - Weitere Untersuchungen zu Expositions-Wirkungsbeziehungen für fehlende Tierarten, Tierkategorien sowie in Abhängigkeit von weiteren multifaktoriellen Belastungsmaßen oder technisch-sensorisch gemessener Geruchsmissionen.

7 Zusammenfassung

Gerüche aus der Tierhaltung können erhebliche Belästigungen hervorrufen, so dass im Sinne des Immissionsschutzes geeignete Verfahren zur Beurteilung und Begrenzung bereitzustellen sind. Die Herausforderung besteht in der Objektivierung des Bewertungsgegenstandes Geruch, obwohl die Geruchsempfindung eine sehr individuelle, subjektive und emotionale Angelegenheit des Einzelnen ist. Die Arbeit leistet einen Beitrag zur Einordnung und Weiterentwicklung von Bewertungsverfahren für Geruchsmissionen aus der Tierhaltung.

Der Wissensstand zu den verschiedenen Aspekten der Messung und Bewertung von Geruchsmissionen aus der Tierhaltung wird anhand einer eingehenden Literaturauswertung und Ergebnissen eigener Untersuchungen detailliert ausgewertet. Zunächst werden die relevanten Begrifflichkeiten zur Definition und Beschreibung von Geruch, Geruchsschwellen, quantitativen und qualitativen Merkmalen, der Umweltwirkung und von Messverfahren systematisiert und erläutert. Anschließend wird auf die Grundlagen der Geruchswahrnehmung und des Belästigungsempfindens eingegangen. Eine Vielzahl von reizseitigen, kontextbezogenen und personenbezogenen Variablen bestimmen das Belästigungsempfinden. Die wirkseitige Erfassung kann über psychometrische Befragungen erfolgen. Inwieweit eine Belästigung für ein Kollektiv als erheblich einzustufen ist, wird per Konvention am Anteil der belästigten Personen, der toleriert wird, festgemacht.

Die Gerüche aus der Tierhaltung im speziellen werden anhand der Untersuchungen und Daten zu Geruchsstoffen und der Emission, Transmission und Immission behandelt. Mittlerweile sind über 400 Geruchsstoffe bekannt, die unabhängig von der jeweiligen Konzentration unterschiedlich zum Geruchseindruck beitragen. Die Vorhersagbarkeit von Geruchskonzentrationen oder der Geruchswirkung anhand von Leitkomponenten und Einzelstoffanalytik ist noch nicht verallgemeinerbar gegeben. Die Datenlage wie auch die eigenen Messungen zu Geruchsemissionen weisen eine hohe Streuung auf, die zum einen durch die Vielfalt der Einflüsse auf das Emissionsgeschehen und andererseits auch durch die Messunsicherheit der Olfaktometrie bedingt ist. Die Quantifizierbarkeit von Minderungsmaßnahmen unterliegt Einschränkungen.

Die Ausbreitungsmodellierung ist ein wichtiges Werkzeug für die Beurteilung von Geruchsmissionen, die aber auch mit Unsicherheiten behaftet ist, wie Validierungs- und Sensitivitätsuntersuchungen gezeigt haben. Insbesondere die angemessene Abbildung der Transmission und die Wahl und Modifikation der Modellstruktur und Eingabeparameter sind entscheidend. Die Modellierung von bodennahen, diffusen

und variierenden Quellen bleibt eine Herausforderung. Die Berücksichtigung von Kaltluftabflüssen bei der Immissionsbeurteilung ist unerlässlich.

Die Größenordnung von Geruchsschwellenabständen von Schwein- und Rinderhaltungen mit Hilfe von Fahnenbegehungen wird am Beispiel mehrerer Untersuchungen diskutiert. Die Ergebnisse der eigenen Rasterbegehungen an vier Standorten werden detailliert auch in Hinblick auf die Auswirkung einer Plausibilitätskontrolle, die Variation des Geruchsstundenkriteriums und im Vergleich mit Ausbreitungsrechnungen dargestellt. Rasterbegehungen helfen, die Immissionssituation differenziert zu erfassen. Bei der Interpretation der absoluten Werte ist der Unsicherheitsbereich um den wahren Wert zu beachten. Der Effekt von Immissionsminderungsmaßnahmen ist kaum quantifizierbar und verallgemeinerbar. Die Erkenntnisse basieren vor allem auf Strömungssimulationen und Erfahrungen. Hauptansatzpunkte sind die Abluftverdünnung, Ableitbedingungen und Standortgegebenheiten.

Die immissionsseitige Hedonik von Tierhaltungsgerüchen im Vergleich wurde für die eigenen Untersuchungen und im Rahmen des Verbundprojektes „Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft“ erfasst. Die hedonischen Unterschiede waren aber nicht belästigungsrelevant, wie die Auswertung der Expositions-Wirkungsbeziehungen im selben Untersuchungsrahmen ergeben hat. Die Tierartunterschiede an sich sind hingegen relevant. Die Ergebnisse verschiedener epidemiologischer Studien werden ausführlich aufgearbeitet, da sich an diesen die immissions- und wirkseitigen Beurteilungsverfahren orientieren.

Die Ansätze zur Beurteilung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung lassen sich in eher quellenorientierte Abstandsregelungen oder Immissionsregelungen zur Begrenzung der Geruchsstundenhäufigkeit oder Geruchskonzentration unterscheiden. Beide Ansätze sehen Möglichkeiten zur Berücksichtigung von Tierartunterschieden über Faktorgewichtung der Tiermasse, Tierzahl oder der Immissionskenngröße vor. Das Beurteilungsprinzip von tierartübergreifenden Abstandsregelungen mit Faktorgewichtung von Quell-, Transmissions- und Immissionsparametern oder als empirische Abstandsmodelle wird an Beispielen aus der Schweiz, Österreich und Deutschland erläutert und bewertet. Die Vorgehensweise und Faktorfestlegungen sind mit zunehmendem Grad der Differenzierung weniger gut nachzuvollziehen. Die Festlegungen in der Geruchsimmissionsrichtlinie werden den Regelungen zu Geruchsexpositionsgrenzwerten in den Niederlanden und in weiteren Ländern gegenübergestellt.

Die Beurteilungsgrundlagen und Beurteilungsverfahren werden abschließend hinsichtlich ihrer Eignung auch für die Beurteilungspraxis bewertet und es werden Vorschläge für Weiterentwicklungen erarbeitet.

8 Literatur

(Bücher sind durch ● gekennzeichnet)

- Aarnink, A.J.A.; D.P. Le and M.W.A. Verstegen (2007): Nutrition affects odor emission from pig manure. In CD-Rom Proceedings of the International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture, 16.-19.09.2007, Broomfield, Colorado, ASABE Publication Number 701P0907cd
- AltraSens (Hrsg.) (2010): Info-Flyer AltraSens OdourVector™ Geruchsmesssystem für die kontinuierliche Überwachung ‚Elektronische Nase‘. Abruf von der Firmenhomepage www.altrasens.de am 27.03.2010, P. Boeker, Institut für Landtechnik, Universität Bonn
- Bächlin, W., A. Rühling, A. Lohmeyer (2003): Bereitstellung von Validierungsdaten für Geruchsausbreitungsmodelle – Naturmessungen. Forschungsbericht FZKA-BWPLUS, Förderkennzeichen BWE 2003, 187 S., Fachdokumente zu Umweltforschung des Landes Baden-Württemberg, <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/>
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2008): Gerüche und Geruchsbelästigungen. Publikation des Infozentrums Umwelt/Wissen. Autorin Dr. Katharina Stroh (2005), Aktualisierung der Links 02/08, Augsburg, 14 S.
- Berg, W.E. und S. Kraatz (2009): Emission Reduction by Brown Coal Powder. An ASABE Meeting Presentation at Reno, Nevada, 21.06.-24.06.2009, Paper No. 097187, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan, USA
- BGB (2009): Bürgerliches Gesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. Januar 2002 (BGBl. I S. 42, 2909; 2003 I S. 738), das zuletzt durch das Gesetz vom 28. September 2009 (BGBl. I S. 3161) geändert worden ist. Drittes Buch 3, Sachenrecht, § 906 Zuführung unwägbarer Stoffe.
- BImSchG (2009): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge ("Bundesimmissionsschutzgesetz") in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 11. August 2009 (BGBl. I S. 2723) geändert worden ist
- Bjerg, B.; P. Kai, S. Morsing, H. Takai (2004): CFD Analysis to predict close range spreading of ventilation air from livestock buildings. Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript BC 03014. Vol. VI, August 2004
- Blanes-Vidal, V.; M.N. Jansen, A.P.S. Adamsen, A. Feilberg, S.O. Petersen, B.B. Jensen (2009): Characterization of odor released during handling of swine slurry: Part I. Relationship between odorants and perceived odor concentrations. Atmospheric Environment 43, pp.2997-3005

- Bockreis, A. und I. Steinberg (2004): Vom Geruch zum Gestank. 71. Darmstädter Seminar – Abfalltechnik am 24. Juni 2004: Geruch Messung – Wirkung – Minderung. Schriftenreihe WAR 157, Verein zur Förderung des Institute WAR (Hrsg.), Technische Universität Darmstadt, ISSN 0721-5282, S. 1-8
- Boeker, P. (2003): Die Objektivierung des Geruchseindrucks. Messung und Modellierung. Habilitationsschrift Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn, 210 S.
- Boeker, P. und T. Haas (2007): Die Messunsicherheit der Olfaktometrie. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, Jg. 67, Nr. 7/8, S. 331 – 340
- Boeker, P.; O. Wallenfang, B. Dieckmann, P. Schulze-Lammers (2000): Ausbreitungsmodellierung von Gerüchen mit zeitaufgelösten Modellen. Landtechnik (55), H. 4, S. 290-291
- Boeker, P., B. Dieckmann, P. Schulze Lammers (2009): Methoden und Problemfelder bei der Durchführung und Auswertung von technisch-sensorischen Geruchsmessungen (Elektronische Nasen). 3. VDI Fachtagung Gerüche in der Umwelt. Baden-Baden, 25.-26.11.2009, VDI-Berichte 2076, VDI Verlag Düsseldorf, ISSN 0083-5560, S. 249-253
- Bongers, M. (2009): Recent developments in odour nuisance policy for livestock farming in The Netherlands. In: Odour, VOCs: Measurement, Regulation and Control. Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft der Universität Kassel, Wasser – Abwasser – Umwelt, Nr. 31, pp. 169-178
- Bongers, M.E., A.P. van Harreveld, N. Jones (2001): Recent developments in research supporting pig odour policy reviews in The Netherlands and in Ireland. Proceedings of the 1st IWA International Conference on Odour and VOCs: Measurement, Regulation and Control techniques (Ed. J.K. Jiang). University of New South Wales, Sydney, Australia, 25.-28. März 2001, pp. 427-434
- Both (1997): In: Protokoll der Expertenanhörung am 02.10.1997 im Stuttgarter Ministerium für Umwelt und Verkehr zur Geruchsimmissionsrichtlinie. Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, 107 S. mit Anlagen
- Both, R. (1998): Grundlagen der Methode der Raster- und Fahnenmessung nach VDI 3940 und Geruchsimmissions-Richtlinie. VDI-Tagung Gerüche in der Umwelt, 4.-6. März 1998 Bad-Kissingen, VDI Berichte 1373, VDI-Verlag Düsseldorf, ISBN 3-18-091373-8, S. 273-286
- Both, R. (2010): „In den 60er Jahren wurden zur Bestimmung der Stichprobenlänge SO₂ Konzentrationsmessungen in Nordrhein-Westfalen mit gigantischem Aufwand durchgeführt.“ Kommentar anlässlich der 3. VDI-Fachtagung Gerüche in der Umwelt, 25.-26.11.2009, Baden-Baden
- Brehme, G. und K.-H. Krause (2005): Emissionsverhalten von zwangsbelüfteten Ställen. Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft FAL Braunschweig, Download 03.09. 2005, 3 S. www.tb.fal.de/Forschungsthemen/Umwelt_Vorsorge/brehme.htm

- Broer, L.; T. Becker, A. Degenhardt, F. Lorenz (2006): Messmethodik und Beurteilung der Emissionsminderung von Ammoniak und Geruch in der Geflügelhaltung durch Einbringung eines Additives über das Tränkwasser und die Sprühvernebelung in den Stallraum. In KTBL-Schrift 449 Emissionen der Tierhaltung. KTBL-Tagung 05.-07.12.2006, Kloster Banz. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.), Darmstadt
- Brose, G.; E. Hartung, T. Jungbluth (2002): Dynamik der Geruchsfreisetzung aus einem Schweinestall – Teil 2. Ergebnisse der parallelen Messungen mit der Olfaktometrie und der elektronischen Nase. Agrartechnische Forschung 8, Heft 3, S. 38-46
- Buchleither, Y. und D. Ahrens (2005): Ergebnisbericht Ausbreitungsrechnungen für Standorte in Baden-Württemberg. 78 S. In: Gallmann, E.; E. Hartung, T. Jungbluth (2005): Abschlussbericht „Wissenschaftliche Untersuchungen zur GIRL-Anwendung unter den speziellen Bedingungen der Baden-Württembergischen Schweineproduktion (GIRL-Projekt BW)“ (O. Nr.: U-43-02.04). Institut für Agrartechnik, Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme, Universität Hohenheim, 361 S.
- Bulliner, E.A.; J.A. Koziel, L. Cai, D. Wright (2006): Characterization of Livestock Odors using Steel Plates, Solid-Phase Microextraction, and Multidimensional Gas Chromatography-Mass Spectrometry-Olfactometry. Journal of the Air & Waste Management Association Vol. 56, October 2006, pp. 1391-1403, ISSN 1047-3289
- Burlingame, G. A.; I.H. Mel Suffet, D. Khiari, A.L. Bruchet (2002). Development of an Odor Wheel Classification Scheme for Wastewater. Presentation slides. Sixth IWA Symposium on Off-Flavours in the Aquatic Environment, Barcelona, Spain. 07.-10.10.2002
- Butterworth, J. and J. Cooke (Hrsg.) (1826): The ninth part of the reports of Sir Edward Coke, Vol. V. London. Verfügbar als digitalisiertes Buch (<http://books.google.com>), 512 S.
- Cai, L.; J.A. Koziel, Y-Ch. Lo, S.J. Hoff (2006): Characterization of volatile organic compounds and odorants associated with swine barn particulate matter using solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry. Journal of Chromatography A, 1102, pp. 60-72
- Chen, L. und S.J. Hoff (2009): Mitigating Odors from Agricultural Facilities: A Review of Literature concerning Biofilters. Applied Engineering in Agriculture, Vol. 25 (5), pp. 751-766
- Czerny, M.; P. Schieberle, B. Maier, G. Riess, A. Gronauer, H. Schön (2001): Identifizierung von Geruchsstoffen in Schweinestall-Luft. Landtechnik H. 5, Jg. 56, S. 342-343

- Defoer, N. and H. Van Langenhove (2003): Determination of odour emissions from pig farms for regulatory purposes in Flanders. In: Proceedings of the International Symposium Gaseous and Odour Emissions from Animal Production Facilities. Horsens, Denmark, 01.-04.06.2003, ISBN 87-88976-66-1, pp. 152-160
- DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.) EN 13725 (2003): Luftbeschaffenheit – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie. Deutsche Fassung, Deutsche Norm, Juli 2003. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- Eckhof, W. (1997): Diskrepanz zwischen wissenschaftlicher Erkenntnis und Verwaltungspraxis. In: Freisetzung, Eintrag und Bewertung von Gerüchen in der Landwirtschaft. FAL/KTBL-Fachgespräch „Geruchsfreisetzungen in der Landwirtschaft, Geruchseinträge und Geruchsbewertungen“, 14.-15. Oktober 1997, Braunschweig. KTBL Arbeitspapier 253, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.), Darmstadt, S. 27-48
- Eckhof, W. und E. Grimm (2000): Emissionen – der Anfang allen Übels, Spannweite der Messungen. In: Bewertung von Geruchsbelastungen aus der Landwirtschaft. KTBL/FAL-Fachgespräch am 24./25.10.2000 Braunschweig, KTBL Sonderveröffentlichung 031, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.), Darmstadt, S. 39-51
- Environment Agency (Hrsg.) (2002): Technical Guidance Note IPPC 4. Horizontal Guidance for Odour Part 1 – Regulation and Permitting. Draft for consultation October 2002. Author L. Powell. Environment Agency, Bristol, United Kingdom
- Environment Agency (Hrsg.) (2009): Environment Agency Technical Guidance Note. H4-Odour Management. Consultation Draft, Version 1.2, 26.06.2009, Consultation final. 43 S.
- Gärtner, A.; A. Gessner, F. Müller, R. Both (2009): Ermittlung der Geruchsemissionen einer Hähnchenmastanlage. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 69, Nr. 11/12, S. 485-489
- Gallmann, E.; E. Hartung, T. Jungbluth (2005): Abschlussbericht „Wissenschaftliche Untersuchungen zur GIRL-Anwendung unter den speziellen Bedingungen der Baden-Württembergischen Schweineproduktion (GIRL-Projekt BW)“ (O. Nr.: U-43-02.04). Institut für Agrartechnik, Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme, Universität Hohenheim, 361 S.
- GIRL (Geruchsimmissions-Richtlinie) 2008: Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen in der Fassung vom 29. Februar 2008 und einer Ergänzung vom 10. September 2008 mit Begründung und Auslegungshinweisen in der Fassung vom 29. Februar 2008
- Grimm, E. (1997): Beurteilung und Vermeidung von Geruchsemissionen und –immissionen. In: Geruchsemissionen aus der Landwirtschaft. Tagung des Instituts für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 26.02.1997, KTBL-Arbeitspapier 244, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.), Darmstadt, S. 85-93

- Grimm, E. (2007): Stellungnahme zum GIRL-Eckpunktepapier vom 15.05.2007. Schreiben für das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 16.08.2007, 5 S.
- Guo, H.; Z. Yu, C. Lague (2006): Livestock Odour Dispersion Modelling. A Review. Annual Conference of the Canadian Society of Bioengineering. 16.-19.07.2006, Edmonton, Canada, Paper No. 06-170, 31 p.
- Hahne, J. (2006): Bewertung der Geruchsminderung durch Abluftreinigungsanlagen. Landtechnik (61), H. 1, S. 38-39
- Haider, M.; R. Cervinka, E. Groll-Knapp, P.K. Pfeiffer (1994): Geruch. Kapitel 5 in: Umweltwissenschaftliche Grundlagen und Zielsetzungen im Rahmen des Nationalen Umweltplans für die Bereiche Klima, Luft, Geruch und Lärm. Österreichische Akademie der Wissenschaften – Kommission für Reinhaltung der Luft. Zweite Auflage, Juni 1994, Wien. S. 5.1. – 5.36
- Hamilton, D.W. (2007): A Novel Method to Describe and Discuss Livestock Odors. International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture. 16.-19.09.2007, Broomfield, Colorado, ASABE Publication Number 701P0907cd, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan
- Hangartner, M. (2009): Bewertung von Gerüchen. Vortragsunterlagen im Rahmen des Lehrganges „Odorvision 2009 – Geruchsbekämpfung“ an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Schweiz, 18.-19. Juni 2009
- Hartung, E. (2010): Persönliche Mitteilungen zum Diskussionsstand der Vorentwürfe der VDI 3894-2 (Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen, Blatt 2, Abstandsregelung Geruch).
- Hasel, M.; W.-J. Kost, J. Nielinger (2009): Ausbreitungsrechnungen in steilem Gelände – Prognostische Windfeldbibliotheken. In VDI Berichte 2076 zur 3. Fachtagung Gerüche in der Umwelt, Baden-Baden, 25.-26.11.2009, VDI Verlag Düsseldorf, S. 81-87
- Heber, A.J.; D.S. Bundy, T.T. Lim, J. Ni, B.L. Haymore, C.A. Diehl, R.K. Duggirala (1998): Odor emission rates from swine finishing buildings. In Proceedings I of the International Conference Animal Production Systems and Environment, 19.-22.07.1998, Des Moines, Iowa, S. 305-310
- Heidenreich, T., S. Mau, U. Wanka (2003): Immissionsschutzrechtliche Regelung – Rinderanlagen. Hrsg.: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden, 43 S.
- Heidenreich, T., J. Lippmann, C. Höfert, U. Wanka † (2008): Quantifizierung von Emissionen in der Rinderhaltung. Schriftenreihe des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 33, ISSN 1867-2868, 32 S.
- Henning, H. (1916): Der Geruch. Verlag Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 533 S.

- Hölscher, M. (2008): SMOD/ESOFIN Neue Rechenmodelle für die Geruchsbewertung. Vortragsunterlagen Fortbildung im Umweltsektor, Bildungszentrum Rauschholzhausen, 02.-03.06.2008
- Holste, D.; H. Mannebeck, V. Meins (1997): Geruchsschwellenentfernungen größerer Milchviehbestände. In: Beiträge zur 3. Internationalen Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung., 11.-12.03.1997, Kiel. Hrsg.: Institut für landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Christian-Albrechts-Universität Kiel, S. 377-383
- Hügler, T. und H. Andree (2001): Temperatur und Geruchsemissionen aus Flüssigmist. Landtechnik (56), Heft 1, S. 36-37
- Hutter, H.-P. und P. Wallner (2010): Geruch – Gefahr für Mensch und Umwelt. Vortragsunterlagen St. Pölten, 11.01.2010, Veranstaltung des Umweltmanagement Austria
- Hutter, H.-P.; D. Altenburger, R. Cervinka, K. Kociper, M. Kundi, H. Moshhammer, E. Neudorfer, P. Wallner (2007): Medizinische Fakten zur Beurteilung von Geruchsimmissionen – Endbericht. Leitfaden im Auftrag des Landes Steiermark. Ärztinnen und Ärzte für eine gesunde Umwelt AGU, Institut für Umwelthygiene, Medizinische Universität Wien, 90 S.
- InfoMil (Informationszentrum für Umwelt der Niederlande) (2007): Handreiking bij wet geurhinder en veehouderij. Versie 1.0, 6 maart 2007, 56 S. met Bijlagen & Aanvulling: Bijlagen 6 en 7. Versie 1,0, aanvulling van 1 mei 2007, 12 S.
- ISO 20988 (2007): International Standard. Air quality – Guidelines for estimating measurement uncertainty. Hrsg: ISO Office, Genf, Schweiz
- Jacobsen, L.D.; C.J. Clanton, D.R. Schmidt, C. Radman, R.E. Nicolai, K.A. Janni (1997): Comparison of Hydrogen Sulfide and Odor Emissions from Animal Manure Storages. In: Proceedings of the International Symposium "Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities", EurAgEng, Vinkeloord, The Netherlands, 6.-10.10.1997, pp. 405-412
- Janes, K.R., S.X. Yang, R.R. Hacker (2004) : Single-component Modelling of Pig Farm Odour with Statistical Methods and Neural Networks. Biosystems Engineering 88 (3), pp. 271-279
- Janicke, L. und U. Janicke (2007): Die Entwicklung des Ausbreitungsmodells AUSTAL2000G. Berichte zur Umweltphysik Nr. 5, Auflage 2., Hrsg. Ingenieurbüro Janicke, Dunum. ISSN Internet 1439-8303, 122 S.
- Jungbluth, T. und E. Hartung (1996): Ermittlung von Geruchsschwellen bei Rinderställen und Neufestlegung von Geruchsäquivalenzfaktoren. Endbericht für das Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg, Förderkennzeichen 27-95.2, 26.02.1996, 32 S.

- Keck, M. und A. Schmidlin (1998): Vergleich der Geruchsschwellen bei Rinderställen mit und ohne Laufhofnutzung. VDI-Tagung Gerüche in der Umwelt, 4.-6. März 1998 Bad-Kissingen, VDI Berichte 1373, VDI-Verlag Düsseldorf, ISBN 3-18-091373-8, S. 336-341
- Keck, M.; L. Koutny, A. Schmidlin, R. Hilty (2004): Minimum distances in Switzerland for pig housing systems with exercise yards and natural ventilation. International Conference Environmental Odour Management, 17.-19.11.2004, Cologne, VDI-Berichte 1850, VDI Verlag Düsseldorf, ISSN 0083-5560, pp. 229-238
- Keck, M., L. Koutny, A. Schmidlin, R. Hilty (2005): Geruch von Schweineställen mit Auslauf und freier Lüftung. AGRARForschung 12 (2), S. 84-89
- Keidel, W.D., H.W. Schlipköter, U. Brandl, J. Kastka, G. Kobal, K.-H. Plattig und G. Winneke (1980): Objektivierung von Belästigungswirkungen auf den Menschen durch Geruch. Forschungsbericht 79-104 01 002, Umweltbundesamt, Berlin, 175 S.
- König, J., I. aus der Mark, I. Walter (2003): Quarks & Co „Die Welt der Düfte“. Begleitheft zur Sendung vom 15.07.2003, Hrsg. Westdeutscher Rundfunk Köln, 30 S.
- Kost, W.-J. und C.-J. Richter (2009): Bestimmung der Geruchsimmission (Rastermessung) nach VDI 3940 Blatt 1. Ist es möglich, eine Unsicherheit je Beurteilungsfläche anzugeben? Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft (69), Nr. 7/8, S. 315-317
- Kost, W.-J., M. Hasel, W. Kunz (2009a): Schwierigkeiten bei der Fahnenbegehung nach der Richtlinie VDI 3949 Blatt 2. Gibt es eine Alternative? Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft (69), Nr. 6, S. 235-238
- Kost, W.-J., J. Nielinger, X. Secanella (2009b): Determination of odour impact by field inspections. 20 years experience – Advantages, problems and opportunities. In: Odour, VOCs: Measurement, Regulation and Control. Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft der Universität Kassel, Wasser – Abwasser – Umwelt, Nr. 31, pp. 232 - 236
- Koutny, L. (2002): Geruchsausbreitung aus der Tierhaltung: Standorteinfluss. Agrar-Forschung 9 (8), S. 346-351
- Kowalewsky, H.-H. (1981): Chemische und sensorische Bestimmung des Geruchs in der Umgebung von Ställen, offenen Güllebehältern und begüllten Feldern. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen, Landwirtschaftliche Fakultät, 205 S.
- Krause, K.-H. (1991): Gegenüberstellung unterschiedlicher Immissionsprognoseverfahren. In: Geruchs- und Schadgasemissionen aus der Tierhaltung. KTBL-Arbeitspapier 174; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.), Darmstadt, S. 50-62

- Krause, K.-H. (1997): Methodologie zur praxisgerechten Beschreibung und Quantifizierung von Ausbreitungsvorgängen von Gerüchen. In: Freisetzung, Eintrag und Bewertung von Gerüchen in der Landwirtschaft. FAL/KTBL-Fachgespräch „Geruchsfreisetzung in der Landwirtschaft, Geruchseinträge und Geruchsbewertungen“, 14.-15. Oktober 1997, Braunschweig. KTBL Arbeitspapier 253, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.), Darmstadt, S. 27-48
- Krause, K.-H. und S. Linke (2002): Windeinfluss auf die Geruchsausbreitung. Landtechnik (57), H. 3, S. 184
- Krause, K.-H. und S. Linke (2003): Vorverdünnung bei Geruchsemissionen. Landtechnik (58). H. 6, S. 400
- Krause, K.-H. und S. Linke (2004): Minimierung der Geruchsauswirkungen. Landtechnik (59), H. 2, S. 120
- Krause, K.-H. und A. Munack (1995): Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen. Landtechnik (50), H. 5, S. 268-269
- Krause, K.-H. und A. Munack (2009): Tierartspezifische Korrekturen in der GIRL falsch platziert – Vorschläge für eine Neufassung. Landtechnik (64), H. 4, S. 276-280
- Krause, K.-H. und A. Munack (2010): Mit der richtigen Anfangskonzentration steht und fällt jede Immissionsberechnung. Landtechnik (65), H. 2, S. 124-128
- Krause, K.-H., H.-J. Müller, E. Grimm (2000): Geruchsemissionen und –immissionen aus der Rinderhaltung – Beurteilungsgrundlagen und Ableitung von Emissionsminderungsmaßnahmen. Forschungsbericht, 75 S.
- KTBL (2006a) Nationaler Bewertungsrahmen Tierhaltungsverfahren. KTBL-Schrift 446, 2006. Hrsg. Kuratorium für Bauwesen und Technik in der Landwirtschaft e.V. Darmstadt, ISBN 978-3-939371-13-7, 778 S.
 - KTBL (2006b): Abluftreinigungsanlagen für Tierhaltungsanlagen. KTBL-Schrift 451, 2006. Hrsg. Kuratorium für Bauwesen und Technik in der Landwirtschaft e.V. Darmstadt, ISBN 3-939371-15-7, 86 S.
 - KTBL (2006c): Handhabung der TA Luft bei Tierhaltungsanlagen. KTBL-Schrift 446, 2006. Hrsg. Kuratorium für Bauwesen und Technik in der Landwirtschaft e.V. Darmstadt, ISBN 13: 978-3-939371-14-4, 244 S.
- Le D.P.; A.J.A. Aarnink, N.W.M. Ogink, M.W.A. Verstegen (2004): Dietary Manipulation to Reduce Odour from Pig Production Facilities. Environmental Odour Management. International Conference, 17.-19.11.2004, Cologne, VDI-Berichte 1850, ISSN 0083-5560, pp. 319-331
- Lin, X.-J.; S. Barrington, D. Choinière, S. Prasher (2007). Simulation of the effect of windbreaks on odour dispersion. Biosystems Engineering 98, pp. 347-363

- Lyngbye, M., M.J. Hansen, A.L. Riis, T.L. Jensen, G. Sørensen (2006): 1000 Olfactometry Analyses and 100 TD-GC/MS Analyses to Evaluate Methods for Reducing Odour from Finishing Units in Denmark. In: Proceedings Workshop on Agricultural Air Quality: State of the Science. Potomac, Maryland, USA, 05.-08.06.2006, pp. 138-152
- Maier, B.; B. Rathmer, G. Riess, H.-D. Zeisig, A. Gronauer (2001): Messung von Geruchsemissionen. Einsatz von Olfaktometrie und Chemo-Sensorarrays zum Vergleich von Haltungssystemen in der Schweinemast. Agrartechnische Forschung 7, Heft 1, S. 6-10
- Mannebeck, H. und D. Hesse (1998) : Einfluss der unterschiedlichen Lästigkeit von Gerüchen verschiedener Tierarten auf die Mindestabstände zur Wohnbebauung. Aktuelle Arbeiten aus Landtechnik und landwirtschaftlichem Bauwesen, KTBL-Arbeitspapier 250, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup
- Martinec, M., E. Hartung, T. Jungbluth (1998): Daten zu Geruchsemissionen aus der Tierhaltung. Zusammenfassung und Analyse veröffentlichter Daten. Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg. KTBL-Arbeitspapier 260. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.), Darmstadt, ISBN 3-7843-1988-2, 60 S.
- Massé, D.J., J. Lavoie, G. Barnet, F. Croteau, E. Topp, L. Massé (2003): The development of experimental procedures for the evaluation of additives to attenuate manure odour, and the impact of these additives on workers, animals and the environment. In Proceedings of the 2nd International Conference on Odour and VOCs: Measurement, Regulation, and Control Techniques, International Water Association, 14-17 September, 2003, Singapore
- Maxeiner, B. (2009): Ringversuch zur dynamischen Olfaktometrie gemäß DIN EN 13725:2003. In VDI Berichte 2076 zur 3. Fachtagung Gerüche in der Umwelt, Baden-Baden, 25.-26.11.2009, VDI Verlag Düsseldorf, S. 63-71
- McCorry, D.F. and P.J. Hobbs (2001): Additives to Reduce Ammonia and Odor Emissions from Livestock Wastes: A Review. Journal of Environmental Quality (30), pp. 345-355
- McGinley, M.A. and P.E. McGinley (2003): Comparison of Field Olfactometers in a Controlled Chamber using Hydrogen Sulfide as the Test Odorant. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Odour and VOCs: Measurement, Regulation, and Control Techniques, International Water Association, 14-17 September, 2003, Singapore
- Melse, R.W.; N.W.M. Ogink, W.H. Rulkens (2009): Overview of European and Netherlands' regulations on airborne emissions from intensive livestock production with a focus on the application of air scrubbers. Biosystems Engineering 104, pp. 289-298
- Miedema, H.M.E., J.M. Ham (1988): Odour Annoyance in Residential Areas. Atmospheric Environment 22, No. 11, pp. 2501-2507

- Miedema, H.M.E., J.I. Walpot, H. Vos, C.F. Steunenbergh (2000): Exposure-annoyance relationships for odour from industrial sources. *Atmospheric Environment* 34, pp. 2927-2936
- Mohr, K. (2010): Die Bewertung von Geruch im Immissionsschutzrecht. *Schriften zum Umweltrecht* 167, Duncker und Humblot, Berlin, ISBN 978-3-428-83164-7, 419 S.
- Moises, A. (20.10.1994): Schreiben an Familie Rapp im Zuge der Geruchsstreitigkeiten mit Anwohnern bzw. der Genehmigungsbehörden um den Ziegenstall der Familie Rapp. Persönliche Unterlagen Dr. Walter Rüprich, Filderstadt; übergeben an Dr. Eva Gallmann, Universität Hohenheim im März 2010
- Müller, F.; M. Bischoff, R. Both (2009a): The measurement uncertainty of olfactometry – Determination based on the direct approach with duplicate analyses according to the international standard ISO 20988. In: *Odour, VOCs: Measurement, Regulation and Control*. Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft der Universität Kassel, *Wasser – Abwasser – Umwelt*, Nr. 31, pp. 18-25
- Müller, F., A. Sowa, R. Both (2009b): Uncertainty of grid measurements with panels in the field – Results of parallel measurements. In: *Odour, VOCs: Measurement, Regulation and Control*. Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft der Universität Kassel, *Wasser – Abwasser – Umwelt*, Nr. 31, pp. 254-261
- Münchmeyer, W. und A. Walte (2004): Luftüberwachung mit Gassensorarrays. 71. Darmstädter Seminar – Abfalltechnik am 24. Juni 2004: Geruch Messung – Wirkung – Minderung. Schriftenreihe WAR 157, Verein zur Förderung des Institute WAR (Hrsg.), Technische Universität Darmstadt, ISSN 0721-5282, S. 129-140
- Munack, A. (1997): Geruch – mehr als nur die Reaktion auf Reizstoffe. In: Freisetzung, Eintrag und Bewertung von Gerüchen in der Landwirtschaft. FAL/KTBL-Fachgespräch „Geruchsfreisetzungen in der Landwirtschaft, Geruchseinträge und Geruchsbewertungen“, 14.-15. Oktober 1997, Braunschweig. KTBL Arbeitspapier 253, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.), Darmstadt, S. 7-10
- Mußlick, M., K.-H. Krause, S. Linke, J. Müller (2006): Aktuelle Ergebnisse einer Studie von Emissionsminderungsmaßnahmen im Umfeld einer größeren Tierhaltungsanlage in Thüringen. In: *Tagungsunterlagen Aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen für die Tierhaltung*. KTBL-Vortragsveranstaltung 30.05.2006, Hannover
- Nicell, J.A. (2009): Assessment and regulation of odour impact. *Atmospheric Environment* 43, pp. 196-206

- Nicolas, J.; J. Delva, P. Cobut, A.-C. Romain (2008): Development and validating procedure of a formula to calculate a minimum separation distance from piggeries and poultry facilities to sensitive receptors. *Atmospheric Environment* 42, pp. 7087-7095
- Nielinger, J. (2008): Ausbreitungsrechnung (Gerüche) für Tierhaltungsanlagen. Vortragsunterlagen zur KTBL-Veranstaltung „Aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen für die Tierhaltung“, 10.06.2008, Ulm
- Nimmermark, S. (2006): Characterization of Odor from Livestock and Poultry Operations by the Hedonic Tone. ASABE Annual International Meeting, 09.-12.07.2006, Portland, Oregon, ASABE Paper No. 064157, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan
- Noordegraaf, D. und M. Bongers (2007): Relatie tussen geurimmissie en geurhinder in de intensive veehouderij. Rapportnummer VROM07A3, April 2007, Opdrachtgever Ministerie VROM, Den Haag, Nederland; Opdrachtnemer PRA Odournet, Amsterdam, Niederlande; 41 S.
- Ogink, N.W.M. and P.W.G. Groot Koerkamp (2001): Comparison of Odour Emissions from Animal Housing Systems with low Ammonia Emission. *Water Science and Technology* (43), pp. 245-252
- Oldenburg, J. (1989): Geruchs- und Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung. KTBL-Schrift 333, Kuratorium für Technik und Bauwesen e.V. (Hrsg.), Darmstadt
- O'Neill, D.H. and V.R. Phillips (1992): A Review of the Control of Odour Nuisance from Livestock Buildings: Part 3, Properties of the Odorous Substances which have been identified in Livestock Wastes or in the Air around them. *J. agric. Engng Res.*, 53, pp. 23-50
- Pan, L.; S.X. Yang, L. Otten, R.R. Hacker (2006): Component and Factor Analysis of Pork Farm Odour using Structural Learning with the Forgetting Method. *Biosystems Engineering* 94 (1), pp. 87-95
- Pan, L.; S.X. Yang, J. DeBruyn (2007): Factor Analysis of Downwind Odours from Livestock Farms. *Biosystems Engineering* 96 (3), pp. 387-397
- Phung, D.L.; A.J.A. Aarnink, N.W.M. Ogink, M.W.A. Verstegen (2004): Dietary Manipulation to Reduce Odour from Pig Production Facilities. International Conference Environmental Odour Management, 17.-19.11.2004, Cologne, VDI-Berichte 1850, VDI Verlag Düsseldorf, ISSN 0083-5560, pp. 319-331
- Piringer, M.; K. Baumann-Stanzer, E. Polreich, E. Petz, M. Hirtl, G. Rau (2010): Projekt VALIMOD – Validierung von Ausbreitungsmodellen für den Nahbereich. Vortragsunterlagen zum Vortrag am 20.09.2010. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Österreich

- Plattig, K.-H. (2002): Physiologische und psychologische Auswirkungen von Geruchsbelastungen – Möglichkeiten der Beeinflussung der Geruchssensoren. VDI Handbuch zum Seminar Gerüche in der Außenluft, 20.-21.06.2002
- Pullen, J. (2007): Review of odour character and thresholds. Science Report SC030170/SR2. Environmental Agency UK (Ed.), Bristol. ISBN: 978-1-84432-719-5, 130 S.
- Pullen, J. and Y. Vawda (2007): Review of Dispersion Modelling for Odour Predictions. Science Report SC030170/SR3. Environmental Agency UK (Ed.), Bristol. ISBN: 978-1-84432-718-8, 131 S.
- Randebrock, R. (1965): Das Polaritätsprofil als Mittel zur Geruchsbeurteilung. Journal of the Society of Cosmetic Chemists 16, S. 653-677
- Rau, M. und K. Bigalke (2007): Synthetische Windstatistiken Baden-Württemberg – Hinweise für den Anwender. Im Auftrag der LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 29 S.
- Richner, B. und A. Schmidlin (1995): Mindestabstände für Tierhaltungsanlagen. Empfehlungen für neue und bestehende Betriebe. FAT-Bericht Nr. 476, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (Hrsg.), Tänikon, Schweiz, 16 S.
- Richter, C.-J. und R. Röckle (2008): Ausbreitung von Geruchsstoffen. Vortragsunterlagen VDI Wissensforum Gerüche in der Außenluft. 23.-24.08.2008
- Richter, C.-J.; R. Röckle, K.-H. Enderle (2004): Vergleich einzelner Rechenmodelle in der Praxis. 71. Darmstädter Seminar – Abfalltechnik am 24. Juni 2004: Geruch Messung – Wirkung – Minderung. Schriftenreihe WAR 157, Verein zur Förderung des Institute WAR (Hrsg.), Technische Universität Darmstadt, ISSN 0721-5282, S. 25-37
- Richter, C.-J.; R. Röckle, H.-C. Höfi, F.J. Braun, W.-J. Kost (2009): Anforderungen an den Inhalt von Gutachten zur Prognose von Geruchsemissionen und – immissionen. In VDI Berichte 2076 zur 3. Fachtagung Gerüche in der Umwelt, Baden-Baden, 25.-26.11.2009, VDI Verlag Düsseldorf, S. 203-212
- Riis, A.L. (2006): New Standards for Odour Emissions from Pig Facilities in Denmark. In: Proceedings Workshop on Agricultural Air Quality: State of the Science. Potomac, Maryland, USA, 05.-08.06.2006, pp. 1039-1043
- Röckle, R. und C.-J. Richter (1998): Ausbreitung von Geruchsstoffen in Kaltluftabflüssen – Messung und Modellrechnung. VDI-Tagung Gerüche in der Umwelt, 4.-6. März 1998 Bad-Kissingen, VDI Berichte 1373, VDI-Verlag Düsseldorf, ISBN 3-18-091373-8, S. 249-259
- Rühling A. und A. Lohmeyer (1998): FuE-Vorhaben „Modellierung des Ausbreitungsverhaltens von luftfremden Schadstoffen/Gerüchen bei niedrigen Quellen im Nahbereich“. Projektbericht im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. Projekt Nr. 2043, 84 S.

- Schauberger, G.; J. Eder, H. Fiebiger, M. Köck, R. Lazar, F. Pichler-Semmelrock, M. Piringer, T. Quendler, M. Swoboda, G. Thiemann, J. Teufelhart (1995/2000): Vorläufige Richtlinie zur Beurteilung von Immissionen aus der Nutztierhaltung in Stallungen. Korrigierte Auflage Oktober 2000.
- Schauberger, G.; M. Piringer, E. Petz (2002): Calculating Direction-dependent Separation Distance by a Dispersion Model to avoid Livestock Odour Annoyance. *Biosystems Engineering* 82 (1), pp. 25-37
- Schauberger, G.; M. Piringer, E. Petz (2006): Odour episodes in the vicinity of livestock buildings: A qualitative comparison of odour complaint statistics with model calculations. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114, pp. 185-194
- Schauberger, G.; M. Piringer, E. Petz, G. Rau (2007): Konzept eines empirischen Verfahrens zur Abschätzung von Geruchsemissionen von Stallungen und deren Bewertung. Endbericht BMLFUW-UW.1.3.3/0011-V/4/2007, Institut für medizinische Physik und Biostatistik, Veterinärmedizinische Universität Wien. 55 S.
- Schiffman, S.S.; J.L. Bennett, J.H. Raymer (2001): Quantification of odors and odorants from swine operations in North Carolina. *Agricultural and Forest Meteorology* 108, pp. 213-240
- Schirz, S. (1989): Handhabung der VDI-Richtlinien 3471 Schweine und 3472 Hühner, Emissionsminderung Tierhaltung. KTBL-Arbeitspapier 126, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.), Darmstadt, 168 S.
- Schirz, S. (1997): Möglichkeiten der Beurteilung von Gerüchen – Entstehung und Anwendungsvoraussetzungen der VDI-Richtlinien „Emissionsminderung Tierhaltung“. In: Geruchsemissionen aus der Landwirtschaft. KTBL Arbeitspapier 253, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.), Darmstadt, S. 17-23
- Schmidt, R.F. und G. Thews (1997): *Physiologie des Menschen*, 27. Auflage, Springer Verlag, Berlin
- Schneider, T.; E. Rosenthal, W. Büscher, B. Dieckmann (2006): Einflussgrößen auf Emission, Transmission und Immission von Partikeln. In: Emissionen der Tierhaltung. KTBL Schrift 449, Darmstadt, 2006, S.104-114
- Schoedder, F. (1977): Messen von Geruchskonzentrationen, Erfassen von Geruch. *Grundlagen Landtechnik*, Bd. 27, Nr. 3, S. 73-82
- Schön, M. und R. Hübner (1996): *Der Geruch – Messung und Beseitigung*. Vogel Verlag, Würzburg, 1. Auflage, ISBN 3-8023-1561-8, 237 S.
- Schöpf, K. und A. Gronauer (2003): Geruchsimmissionen durch Außenklimaställe für Schweine. Ergebnisse von Geruchsfahnenbegehungen. *Landtechnik* (58), H. 4, S. 266-267

- Sieber, E. (2003): Quantifizierung von Geruchs-, Spurengas- und Staubemissionen und deren Emissionsquellen im Stall als Grundlage für den Einsatz emissionsmindernder Maßnahmen. Dissertation Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Forschungsbericht Agrartechnik 417, 152 S.
- Sowa, A. (2003): Ermittlung der Geruchsbelastung im Einwirkungsbereich von Tierhaltungsanlagen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 63, Nr., 7/8, S. 290-294
- Steinheider, B., R. Both und G. Winnecke (1998): Die Erfassung der Geruchsbelästigung durch Tierstallimmissionen bei Anwohnern. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 58, Nr. 10, S. 411 - 416
- Stuttgarter Zeitung (2002): „Das Problem könnte zum Himmel stinken“ von Kai Ho-loch. Stuttgarter Zeitung vom 17.09.2002
- Sucker, K. (2008): Einfluss von Hedonik und Intensität auf die Geruchsbelästigung durch Industrieerüche. Dissertation Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Psychologie.
- Sucker, K. und R. Both (2005): Bericht zu den Ergebnissen der Intensitäts- und Hedonikbewertungen sowie der Belästigungsbefragungen. 139 S. In: Gallmann, E., E. Hartung, T. Jungbluth (2005): Abschlussbericht „Wissenschaftliche Untersuchungen zur GIRL-Anwendung unter den speziellen Bedingungen der Baden-Württembergischen Schweineproduktion (GIRL-Projekt BW)“ (O. Nr.: U-43-02.04). Institut für Agrartechnik, Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme, Universität Hohenheim, 361 S.
- Sucker, K., F. Müller und R. Both (2006): Geruchsbeurteilung in der Landwirtschaft. Bericht zu Expositions-Wirkungsbeziehungen, Geruchshäufigkeit, Intensität, Hedonik und Polaritätenprofilen. Materialien 73, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, ISSN 0947-5206 Materialien, 119 S.
- TA-Luft (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA-Luft). Kabinettsbeschluss vom 12. Dezember 2001, Beschluss des Bundesrates, Drucksache 393/02 vom 26. April 2002 (http://www.bmu.de/download/b_taluft.php)
- UM BW (1997): Protokoll der Expertenanhörung am 02.10.1997 im Stuttgarter Ministerium für Umwelt und Verkehr zur Geruchsimmissionsrichtlinie. Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, 107 S. mit Anlagen
- UM BW (2007): Umweltministerium Baden-Württemberg. Immissionsschutzrechtliche Beurteilung der Gerüche aus Tierhaltungsanlagen. Handlungsempfehlung zur Modifikation der GIRL . Schreiben vom 18.06.2007
- van Harreveld, T. (2001): From odorant formation to odour nuisance: new definitions for discussing a complex process. Water Science Technology, Vol. 44, No. 9, pp. 9 – 15, IWA Publishing

- van Harreveld, T. (2009): „Was machen die Nachbarn in Europa wenn es stinkt?“. Vortrag anlässlich der 3. VDI Fachtagung „Gerüche in der Umwelt“. 25.-26.11.2009, Baden-Baden. Abruf der Vortragsunterlagen (Folien) im Januar 2010
- Varel, V.H.; D.N. Miller, A.D. Lindsay (2003): Plant oils thymol and eugenol affect cattle and swine wastes emissions differently. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Odour and VOCs: Measurement, Regulation, and Control Techniques, International Water Association, 14-17 September, 2003, Singapore
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 2450-1 (1977). VDI Richtlinie 2450 Blatt 1: Messen von Emission, Transmission und Immission luftverunreinigender Stoffe – Begriffe, Definitionen, Erläuterungen. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3471 (1977): VDI Richtlinie 3471 Auswurfbegrenzung Tierhaltung – Schweine. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3471 (1986): VDI Richtlinie 3471 Emissionsminderung Tierhaltung – Schweine. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3472 (1986): VDI Richtlinie 3472 Emissionsminderung Tierhaltung – Hühner. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3473-E (1994): VDI Richtlinie 3473 Entwurf. Emissionsminderung Tierhaltung - Rinder. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3474-E (2001): VDI Richtlinie 3474 Entwurf. Emissionsminderung Tierhaltung Geruchsstoffe. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3782-1 (2009): VDI Richtlinie 3782 Blatt 1: Umweltmeteorologie. Atmosphärische Ausbreitungsmodelle. Gauß'sches Fahnenmodell zur Bestimmung von Immissionsgrößen. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3782-3 (1985): VDI Richtlinie 3782 Blatt 3: Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre – Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3783-13 (2010): VDI Richtlinie 3783 Blatt 13: Umweltmeteorologie. Qualitätssicherung in der Immissionsprognose. Anlagenbezogener Immissionsschutz. Ausbreitungsrechnung gemäß TA Luft. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin

- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3786-2 (2000): VDI Richtlinie 3786 Blatt 2: Meteorologische Messungen für Fragen der Luftreinhaltung – Wind. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3788-1 (2000): VDI Richtlinie 3788 Blatt 1: Umweltmeteorologie – Ausbreitung von Geruchsstoffen in der Atmosphäre – Grundlagen. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3881-1 (1986): VDI Richtlinie 3881 Blatt 1: Olfaktometrie – Geruchsschwellenbestimmung – Grundlagen. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3881-4E (1989): VDI Richtlinie 3881 Blatt 4 Entwurf: Olfaktometrie; Geruchsschwellenbestimmung; Anwendungsvorschriften und Verfahrenskenngrößen. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin; zitiert in Schön & Hübner, 1996.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3883-1 (1997): VDI Richtlinie 3883 Blatt 1: Wirkung und Bewertung von Gerüchen. Psychometrische Erfassung der Geruchsbelästigung – Fragebogentechnik. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3883-2 (1993): VDI Richtlinie 3883 Blatt 2: Wirkung und Bewertung von Gerüchen. Ermittlung von Belästigungsparametern durch Befragungen. Wiederholte Kurzbefragung von ortsansässigen Probanden. Inhaltlich überprüft und unverändert weiterhin gültig September 2008. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3894-1E (2009): VDI Richtlinie 3894 Blatt 1 Entwurf: Emissionen und Immissionen von Tierhaltungsanlagen – Haltungsverfahren und Emissionen – Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3894-2VE (2010): VDI Richtlinie 3894 Blatt 2 Vorentwurf 30: Emissionen und Immissionen von Tierhaltungsanlagen – Methode zur Abstandsbestimmung (Abstandsregelung) Geruch. Bearbeitungsstand 22.10.2010.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3940 (1993): VDI Richtlinie 3940: Bestimmung der Geruchsstoffimmission durch Begehungen. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3940-1 (2006): VDI Richtlinie 3940 Blatt 1: Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Bestimmung der Immissionshäufigkeit von erkennbaren Gerüchen – Rastermessung, Februar 2006. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin

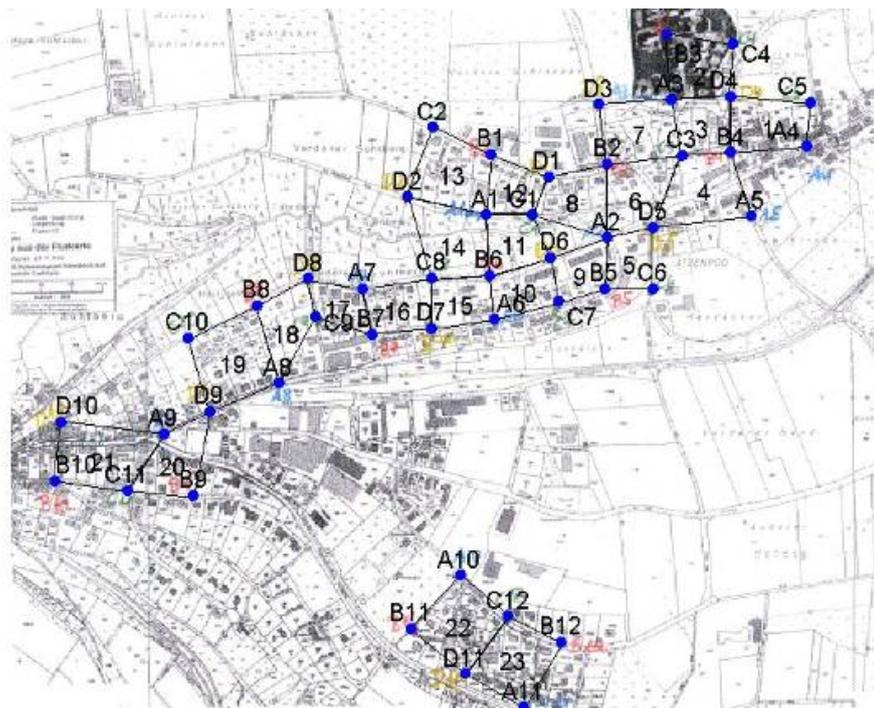
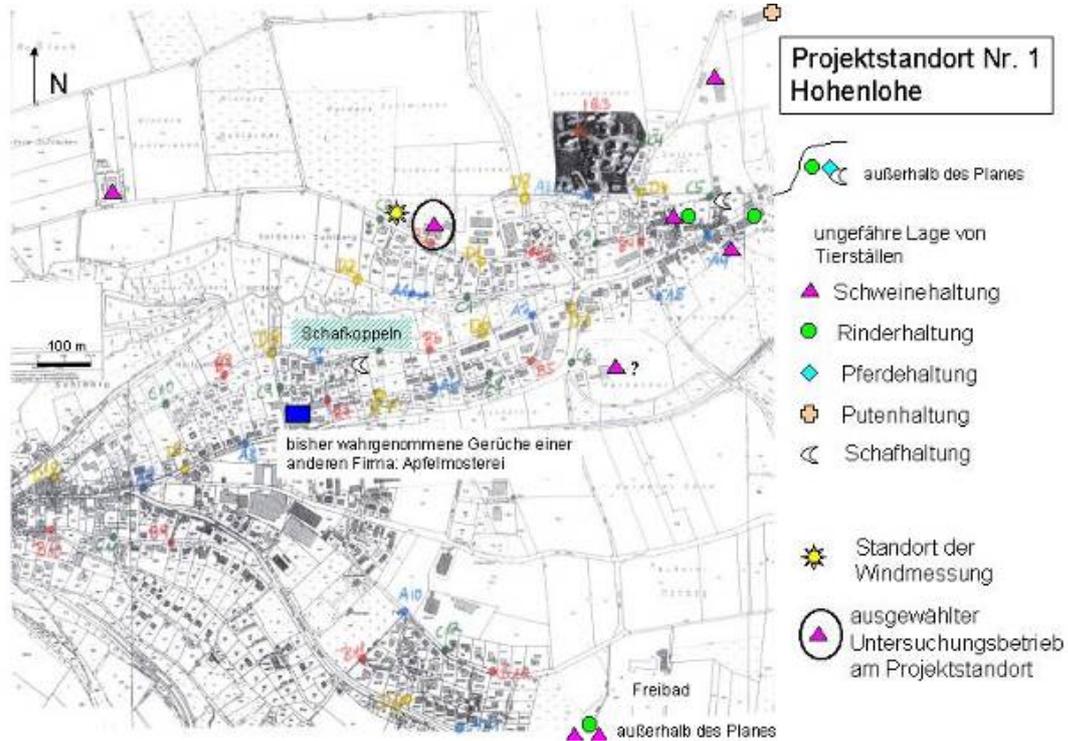
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3940-2 (2006): VDI Richtlinie 3940 Blatt 2: Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen – Bestimmung der Immissionshäufigkeit von erkennbaren Gerüchen – Fahnenmessung, Februar 2006. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3940-3 (2010): VDI Richtlinie 3940 Blatt 3: Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen. Ermittlung von Geruchsintensität und hedonischer Geruchswirkung im Feld. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3940-4E (2008): VDI Richtlinie 3940 Blatt 4 Entwurf: Bestimmung der hedonischen Geruchswirkung – Polaritätenprofile. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3945-1 (1996): VDI Richtlinie 3945 Blatt 1: Umweltmeteorologie. Atmosphärische Ausbreitungsmodelle. Gauß-Wolken-Modell. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 3945-3 (2000): VDI Richtlinie 3945 Blatt 3: Umweltmeteorologie. Atmosphärische Ausbreitungsmodelle. Partikelmodell. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 4200 (2000): Durchführung von Emissionsmessungen an geführten Quellen. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 4219 (2009): Ermittlung der Unsicherheit von Emissionsmessungen mit diskontinuierlichen Messverfahren. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.), Beuth Verlag GmbH, Berlin
- Vroon, P.; A. van Amerongen, H. de Vries (1996): Psychologie der Düfte: Wie Gerüche uns beeinflussen und verführen, Kreuz-Verlag, Zürich
- Wächter, G. und J. Janssen (1977): Behandlung von Abluft aus Tierhaltungsbetrieben zur Senkung von Geruchsstoffimmissionen. Grundlagen der Landtechnik (27), Nr. 3, S. 88-96
- Wagner, D. (2009): Ringversuche als Elemente der Qualitätssicherung in der Akkreditierung, Bekanntgabe und Überwachung von Messstellen im gesetzlich geregelten Bereich. In VDI Berichte 2076 zur 3. Fachtagung Gerüche in der Umwelt, Baden-Baden, 25.-26.11.2009, VDI Verlag Düsseldorf, S. 73-80
- Wallenfang, O. (2002): Erstellung eines numerischen Modells zur zeitaufgelösten Prognose luftgetragener Gasausbreitung und deren experimentelle Verifikation. Dissertation Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, 70 S.

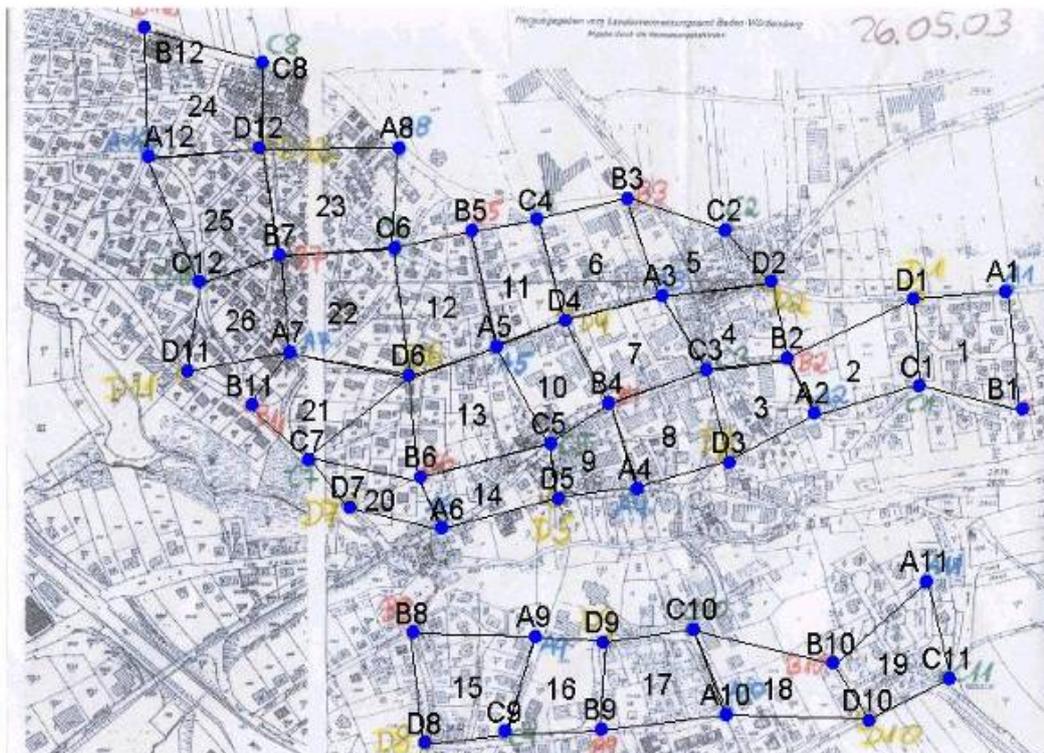
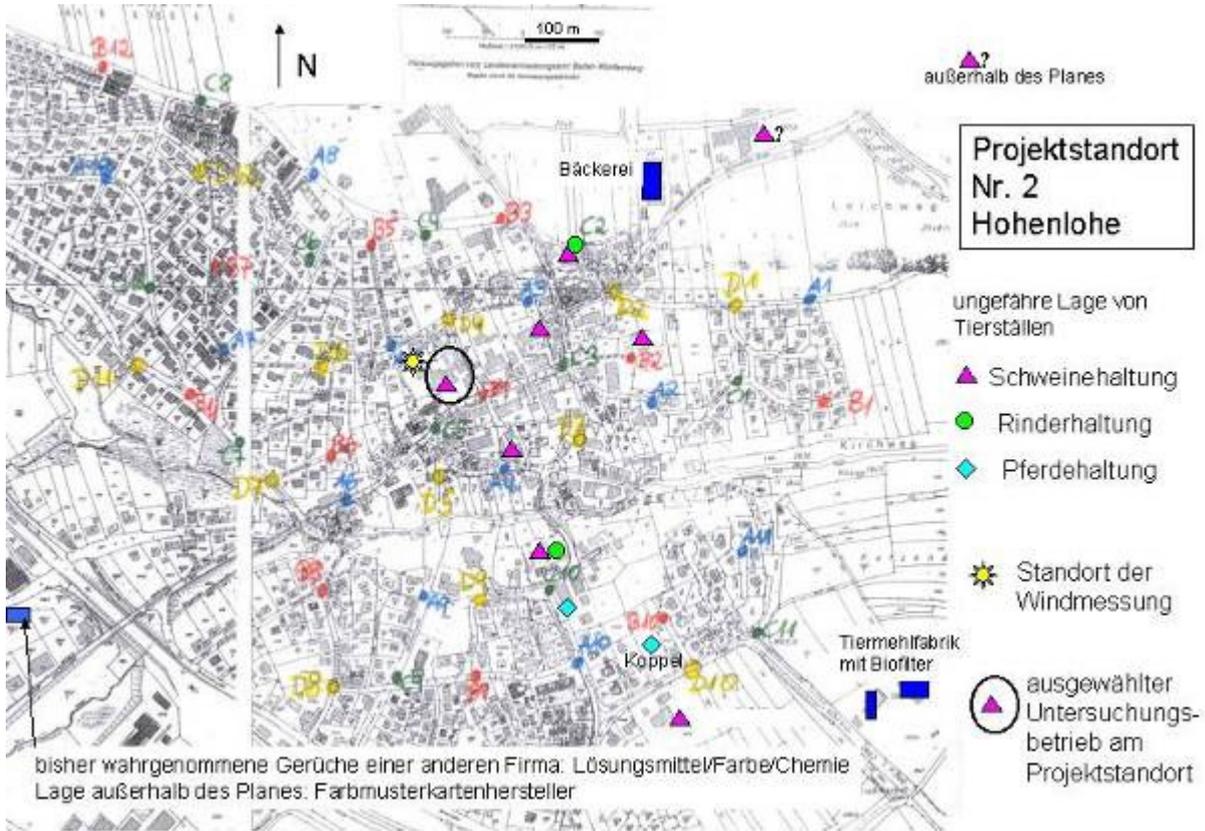
-
- Wallenfang et al. (2002): Ausbreitung von Gerüchen und biogenen Aerosolen. Prognose mit einem angepassten Modell. *Landtechnik* (57), H. 5, S. 276-277
- Wensauer, E.; S. Nesper, K. Rattinger, F. Schneider (2006): Die Anwendung des TA Luft-Modells austa2000-g zur Beurteilung von Immissionen aus landwirtschaftlichen Quellen. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft Nr. 15, S. 127-143
- Winneke, G. und B. Steinheider (1998): Expositions-Wirkungs-Zusammenhänge für Geruchsbelästigungen und Beschwerden: Eine Übersicht. VDI-Tagung Gerüche in der Umwelt, 4.-6. März 1998 Bad-Kissingen, VDI Berichte 1373, VDI-Verlag Düsseldorf, ISBN 3-18-091373-8, S. 361-371
- Zeisig, H.-D. und G. Langenegger (1994a): Geruchsemissionen aus Rinderställen. Abschlussbericht des Institutes und der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik der Technischen Universität München-Weihenstephan im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Gelbes Heft 52, 50 S.
- Zeisig, H.-D. und G. Langenegger (1994b): Geruchsemission aus Rinderställen. *Landtechnik* (49), H. 4, S. 223
- Zentner, E. (2009): Ergebnisse aus aktuellen Gumpensteiner Untersuchungen zur Minderung von Emissionen aus Schweinestallungen. Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2009, ISBN 978-3-902559-30-2; S. 69-80

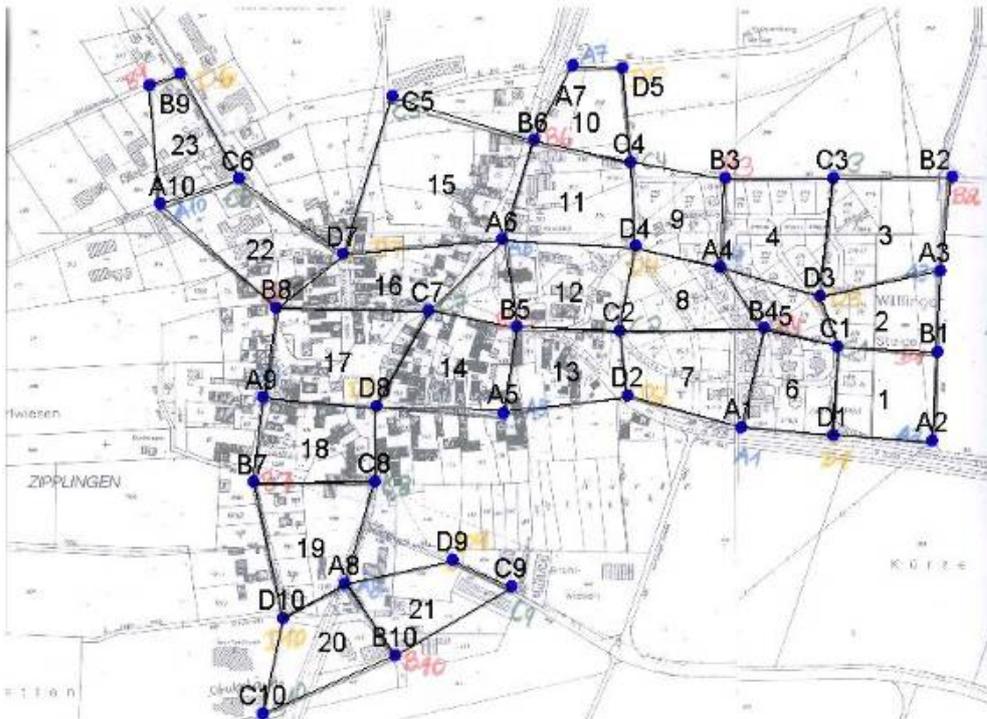
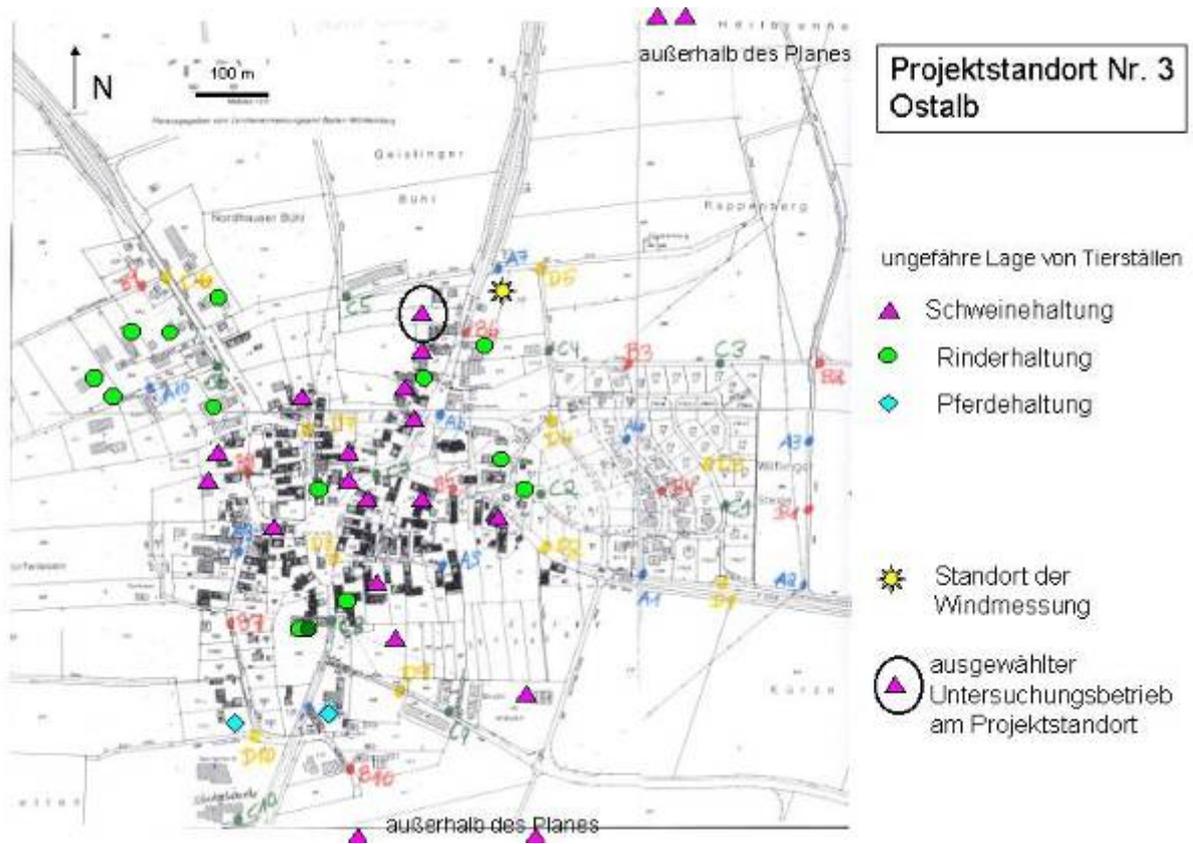
9 Anhang

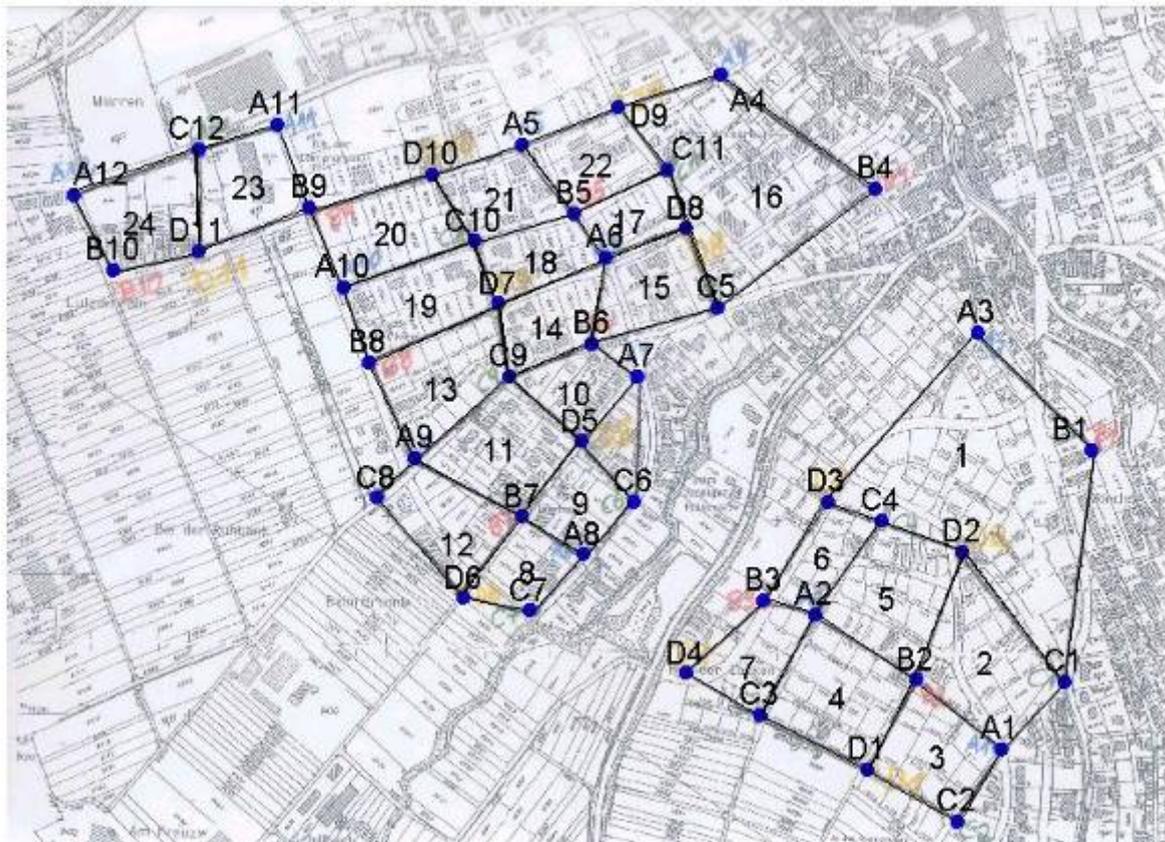
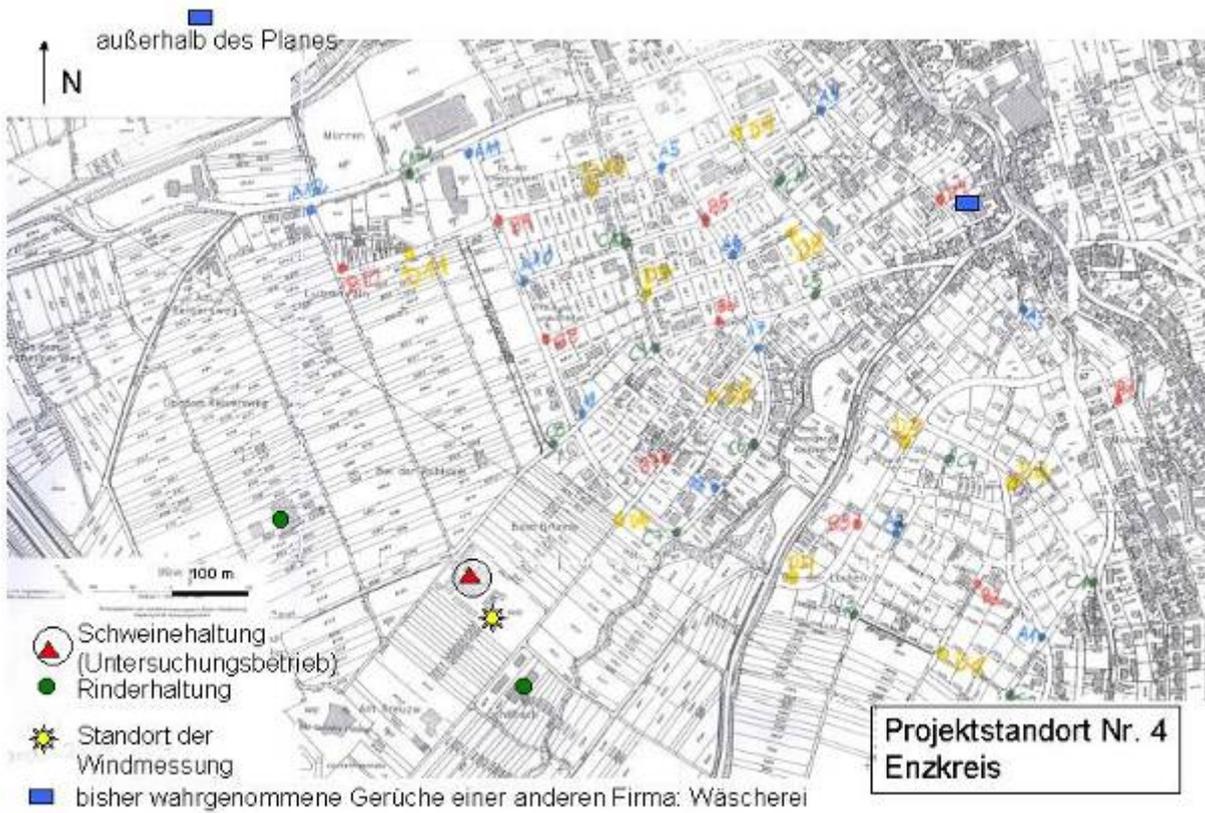
Anhang A1

Lage der Stallungen, Messpunkte und Beurteilungsflächen an den vier Projektstandorten der eigenen Untersuchungen (Rasterbegehungen, Erfassung der Intensität und Hedonik, Belästigungsbefragungen, Ausbreitungsrechnungen)









Anhang A2: Ergebnisse der eigenen Emissionsmessungen (vgl. Kapitel 4.2.6.1)

Projektstandort Nr. 1 (Hohenlohe)

Ergebnisse der Geruchsemissionsmessungen

Messung 1 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 12 °C
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 60 %

Datum	Zeit der Probenahme	Stall	Stallbelegung Anzahl Tiere	Großvieh- einheiten [GV]	Abluft- kamin Nr.	Ventilator- einstellung	Abluft- temperatur [°C]	Abluft relative Luftfeuchte [%]	mittlere Abluftge- schwindigkeit [m s ⁻¹]	mittlerer Volumenstrom [m ³ h ⁻¹]	mittlerer Volumenstrom pro GV [m ³ h ⁻¹ GV ⁻¹]	Geruchs- konzentration [GE m ⁻³]	Geruchs- emission [GE s ⁻¹]	Geruchsemissions- faktor pro Stall [GE s ⁻¹ GV ⁻¹]
03.02.04	11:22	Wartestall 1 (räumlich mit Deckzentrum verbunden)	51	15,3	1	An	21	71	2,9	1300	171	1000	361	28
	11:04				2	An	21	70	0,9	421	55	590	69	
		keine	Deckzentrum	20	6	5	Aus							
	11:55	Wartestall 2	62	18,6	3	An	16	65	0,4	330	35	130	12	13
	11:43				4	An	22	66	1,6	1285	138	630	225	
	10:25	Abferkelstall & Ferkelaufzucht	32 Sauen & 270 Ferkelaufzucht	23,6	6	An	21	60	4,0	6050	513	1000	1681	117
10:11 09:50	7 8				Aus An	21	57	2,9	4410	374	890	1090		

Messung 2 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 17 °C
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 41 %

01.04.04	11:53	Wartestall 1 (räumlich mit Deckzentrum verbunden)	75	22,5	1	An	22	54	6,2	2785	248	1000	774	53
	12:08				2	An	22	55	3,6	1623	144	940	424	
		keine	Deckzentrum			5	Aus							
	12:25	Wartestall 2	46	13,8	3	An	21	55	0,9	748	108	1200	249	39
	13:16				4	An	22	50	1,1	888	129	1200	296	
	10:48	Abferkelstall & Ferkelaufzucht	32 Sauen & 450 Ferkelaufzucht	30,8	6	An	20	54	3,5	5205	338	3000	4338	177
11:05 11:14	7 8				Aus An	21	53	2,4	2655	172	1500	1106		

Messung 3 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 22 °C
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 42 %

19.05.04	11:45	Wartestall 1 (räumlich mit Deckzentrum verbunden)	75	22,5	1	An	23	53	7,7	3465	308	1825	1757	97
	12:04				2	An	23	54	6,9	3100	276	493	425	
		keine	Deckzentrum			5	Aus							
	12:24	Wartestall 2	46	13,8	3	An	24	44	4,3	3375	734	114	107	14
	12:39				4	An	24	42	6,2	4925	1071	62	85	
	11:14	Abferkelstall & Ferkelaufzucht	32 Sauen & 450 Ferkelaufzucht	30,8	6	An	24	50	3,6	5400	524	266	399	74
10:52 10:36	7 8				Aus An	24 23	52 51	3,4 4,2	5130 6300	498 612	724 483	1032 845		

Messung 4 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 28 °C
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 48 %

21.07.04	12:43	Wartestall 1 (räumlich mit Deckzentrum verbunden)	70	21	1	An	28	52	9,2	4130	393	102	117	14
	12:50				2	An	28	52	10,0	4525	431	136	171	
		keine	Deckzentrum			5	Aus							
	13:05	Wartestall 2	70	21	3	An	28	51	9,7	7675	731	91	194	13
	13:15				4	An	28	48	9,6	7625	726	34	72	
	12:05	Abferkelstall & Ferkelaufzucht	24 Sauen & 560 Ferkelaufzucht	32	6	An	27	57	3,7	6300	586	512	886	198
11:50 11:30	7 8				An An	27 27	59 59	7,3 8,9	12500 15250	1168 1425	683 724	2372 3067		

Messung 5 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 20 °C
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 60 %

06.10.04	11:30	Wartestall 1 (räumlich mit Deckzentrum verbunden)	70	21	1	An	24	63	7,3	3300	314	242	222	22
	11:50				2	An	26	64	5,5	2485	237	362	250	
		keine	Deckzentrum			5	Aus							
	12:10	Wartestall 2	70	21	3	An	22	60	3,0	2360	225	181	119	12
	12:30				4	An	24	59	4,0	3185	303	152	134	
	13:40	Abferkelstall & Ferkelaufzucht	24 Sauen & 680 Ferkelaufzucht	36,8	6	An	25	60	4,6	6950	565	813	1570	109
13:20 12:55	7 8				An An	24 24	60 60	5,9 6,1	8900 9150	724 744	512 456	1266 1159		

Projektstandort Nr. 2 (Hohenlohe) Ergebnisse der Geruchsemissionsmessungen

Messung 1 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 2 °C
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 60 %

Datum	Zeit der Probenahme	Stall	Stallbelegung		Abluftkamin Nr.	Ventilator-einstellung	Ablufttemperatur [°C]	Abluft relative Luftfeuchte [%]	mittlere Abluftgeschwindigkeit [m s ⁻¹]	mittlerer Volumenstrom [m ³ h ⁻¹]	mittlerer Volumenstrom pro GV [m ³ h ⁻¹ GV ⁻¹]	Geruchskonzentration [GE m ⁻³]	Geruchsemission [GE s ⁻¹]	Geruchsemissionsfaktor pro Stall [GE s ⁻¹ GV ⁻¹]
			Anzahl Tiere	Großvieh-einheiten [GV]										
30.01.04	11:30	Wartestall 1 & Nachzucht 1	60	18,0	1	An	14	99	1,1	497	55	670	92	8
	11:40				2	An								
	keine	Nachzucht 2	25	3,8	3									
	keine				4									
	keine	Wartestall 2	20	6,0	5									
	keine				6									
	keine	Deckzentrum & Wartestall 3	50	15,0	7									
	keine				8									
	keine	Ferkelaufzucht 1	120	4,8	9	An	12	70	7,3	8800	611	750	1833	127
	09:55				10	Aus								
	keine	Abferkelstall	36 Sauen mit 240 Saugferkel	14,4	11	An	12	94	1,4	1730	135	1200	577	45
	10:43				12	Aus								
	10:18	Ferkelaufzucht 2	320	12,8	13	An	13	88	0,5	254	42	270	19	3
	11:08				13	An								

Messung 2 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 14 °C (15.03.04) 18 °C (16.03.04)
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 43 % (15.03.04) 42 % (16.03.04)

15.03.04	12:25	Wartestall 1 & Nachzucht 1	60	18,0	1	An	18	64	2,9	1300	144	1400	506	53
15.03.04	12:12	Nachzucht 1			2	An	19	60	3,3	1490	166	1100	455	
16.03.04	11:45	Nachzucht 2	16	2,4	3	An (Minimal)	18	55	0,1	49	41	1100	15	19
16.03.04	11:30				4	An (Minimal)	19	58	0,2	86	72	1300	31	
16.03.04	11:15	Wartestall 2	20	6,0	5	An	19	66	0,5	252	42	560	39	7
16.03.04	10:15	Deckzentrum & Wartestall 3	50	15,0	6	An	18	58	2,4	1080	144	590	177	23
16.03.04	10:27				7	An	17	58	1,9	875	117	710	173	
16.03.04	10:42	Ferkelaufzucht 1	150	6,0	8	An	21	69	2,0	1565	261	1100	478	80
15.03.04	11:02	Abferkelstall	36 Sauen mit 240 Saugferkeln	14,4	9	An	17	51	5,5	6700	465	310	577	40
	keine				10	Aus								
15.03.04	11:22	Ferkelaufzucht 2	320	12,8	11	An	18	71	3,8	4630	362	790	1016	79
	keine				12	Aus								
15.03.04	11:45	Wartestall 4	15	4,5	13	An?	17	69	0,8	375	83	360	38	8

Messung 3 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 15 °C (03.06.04) 22 °C (04.06.04)
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 70 % (03.06.04) 50 % (04.06.04)

03.06.04	12:22	Wartestall 1 & Nachzucht 1	75	22,5	1	An	20	67	5,7	2580	229	912	654	
03.06.04	12:33	Nachzucht 1			2	An	20	64	6,6	2990	266	767	637	57
04.06.04	10:45	Nachzucht 2	40	6,0	3	Aus								
04.06.04	10:58	Nachzucht 2			4	An (Minimal)	21	62	1,3	605	101	609	102	17
04.06.04	10:28	Wartestall 2	20	6,0	5	An	22	65	2,8	1520	253	512	216	36
04.06.04	10:08	Deckzentrum & Wartestall 3	50	15,0	6	An	21	64	4,7	2110	281	512	300	
04.06.04	09:50	Wartestall 3			7	An	21	64	3,7	1690	225	724	340	43
	keine	Ferkelaufzucht 1	40	1,6	8	Aus								
	keine	Abferkelstall	36 Sauen mit 240 Saugferkeln	14,4	9	Aus								
03.06.04	11:16	Abferkelstall			10	An	19	64	9,5	11300	785	483	1516	105
03.06.04	11:31	Ferkelaufzucht 2	240	9,6	11	An	21	68	3,4	4020	419	1448	2415	252
	keine	Ferkelaufzucht 2			12	Aus								
03.06.04	11:56	Wartestall 4	14	4,2	13	An	19	68	1,3	650	155	256	46	11

Messung 4 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 20 °C (27.07.04) 25 °C (28.07.04)
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 55 % (27.07.04) 35 % (28.07.04)

27.07.04	12:14	Wartestall 1 & Nachzucht 1	75	22,5	1	An	22	58	5,4	2450	218	406	276	
27.07.04	12:02	Nachzucht 1			2	An	23	59	6,1	2740	244	304	231	23
28.07.04	keine	Nachzucht 2	16	2,4	3	Aus								
28.07.04	keine	Nachzucht 2			4	Aus								
28.07.04	10:10	Wartestall 2	18	5,4	5	An	22	50	1,6	900	167	310	78	14
28.07.04	10:55	Deckzentrum & Wartestall 3	50	15,0	6	An	22	48	5,4	2430	324	144	97	
28.07.04	10:39	Wartestall 3			7	An	22	51	4,4	2010	268	335	187	19
28.07.04	10:46	Ferkelaufzucht 1	130	5,2	8	An	24	63	3,3	2640		575	422	81
27.07.04	keine	Abferkelstall	28 Sauen mit 250 Saugferkeln	11,2	9	Aus								
27.07.04	11:11	Abferkelstall			10	An	20	60	9,3	13200	1179	161	590	53
27.07.04	11:22	Ferkelaufzucht 2	300	12,0	11	An	23	64	3,5	5050	421	813	1140	95
	keine	Ferkelaufzucht 2			12	Aus								
27.07.04	11:43	Wartestall 4	20	6,0	13	An	21	58	3,6	2230	372	102	63	11

Messung 5 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 25 °C (05.10.04) 18 °C (07.10.04)
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 40 % (05.10.04) 67 % (07.10.04)

07.10.04	11:00	Wartestall 1 & Nachzucht 1	75	22,5	1	An	20	73	5,1	2305	205	323	207	
07.10.04	11:17	Nachzucht 1			2	An	21	66	7,0	3155	280	304	266	21
	keine	Nachzucht 2	15	2,3	3	Aus								
	keine	Nachzucht 2			4	Aus								
05.10.04	12:33	Wartestall 2	18	5,4	5	An	23	57	4,2	2310	428	342	219	41
05.10.04	11:25	Deckzentrum & Wartestall 3	50	15,0	6	An	23	56	4,2	1905	254	304	161	
05.10.04	11:45	Wartestall 3			7	An	23	59	3,5	1563	208	483	210	25
05.10.04	12:05	Ferkelaufzucht 1	50	2,0	8	An	24	60	1,0	763	381	1448	307	153
07.10.04	keine	Abferkelstall	36 Sauen mit 240 Saugferkeln	14,4	9	Aus								
07.10.04	12:12	Abferkelstall			10	An	18	67	9,2	11150	774	342	1059	74
07.10.04	12:27	Ferkelaufzucht 2	250	10,0	11	An	21	65	3,9	4765	477	483	639	64
	keine	Ferkelaufzucht 2			12	Aus								
07.10.04	11:37	Wartestall 4	15	4,5	13	An	19	64	3,1	1518	337	181	76	17

Projektstandort Nr. 3 (Ostalb)

Ergebnisse der Geruchsemissionsmessungen

Messung 1 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: -2 °C
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 70 %

Datum	Zeit der Probenahme	Stall	Stallbelegung		Abluftkamin Nr.	Ventilatoreinstellung	Ablufttemperatur [°C]	Abluft relative Luftfeuchte [%]	mittlere Abluftgeschwindigkeit [m s ⁻¹]	mittlerer Volumenstrom [m ³ h ⁻¹]	mittlerer Volumenstrom pro GV [m ³ h ⁻¹ GV ⁻¹]	Geruchskonzentration [GE m ⁻³]	Geruchsemission [GE s ⁻¹]	Geruchsemissionsfaktor pro Stall [GE s ⁻¹ GV ⁻¹]
			Anzahl Tiere	Großvieh-einheiten [GV]										
22.01.04	11:30	Zuchtsauen 1	100	30	1	An	15	90	0,5	2400	80	300	200	7
	12:00	Zuchtsauen 2	100	30	2	An	15	90	0,4	1793	60	210	105	3
	12:50	Zuchtsauen 2	100	30	2	An & Aus	15	90	0,8	3425	114	240	228	8
	12:50	Zuchtsauen 2	100	30	2	An & Aus	15	90	0,8	3425	114	260	247	8

Messung 2 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 12,5 °C
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 36 %

30.03.04	10:22	Zuchtsauen 1	100	30	1	An & Aus	15	72	2,4	10500	350	1600	4667	156
	10:32	Zuchtsauen 2	100	30	2	An	15	85	0,9	3930	131	790	862	29
	13:21	Zuchtsauen 1	100	30	1	An	16	54	3,8	16700	557	200	928	31
	13:22	Zuchtsauen 1	100	30	1	An	16	54	3,8	16700	557	200	928	31
	13:35	Zuchtsauen 2	100	30	2	An	17	56	1,5	6800	227	200	378	13
	13:36	Zuchtsauen 2	100	30	2	An	17	56	1,5	6800	227	280	529	18

Messung 3 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 19 °C
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 67 %

21.05.04	10:57	Zuchtsauen 1	100	30	1	An	21	70	3,9	17000	567	228	1077	36
	11:17	Zuchtsauen 2	100	30	2	An	21	71	2,1	9200	307	310	792	26
	11:32	Zuchtsauen 1	100	30	1	An	21	71	3,6	15750	525	362	1584	53
	11:48	Zuchtsauen 2	100	30	2	An	21	71	3,1	13900	463	171	660	22

Messung 4 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 23 °C
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 65 %

22.07.04	11:40	Zuchtsauen 1	100	30	1	An	24	72	3,9	17200	573	215	1027	34
	11:54	Zuchtsauen 2	100	30	2	An	24	69	3,9	17400	580	171	827	28
	12:16	Zuchtsauen 1	100	30	1	An	24	72	3,8	16900	563	215	1009	34
	12:28	Zuchtsauen 2	100	30	2	An	24	68	4,5	19900	663	91	503	17
	12:38	Zuchtsauen 1	100	30	1	An	24	72	4,4	19400	647	203	1094	36
	12:48	Zuchtsauen 2	100	30	2	An	24	68	4,3	18900	630	144	756	25

Messung 5 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 15 °C
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 64 %

04.10.04	10:55	Zuchtsauen 1	100	30	1	An	18	70	3,6	16000	533	85	378	13
	11:22	Zuchtsauen 2	100	30	2	An	19	74	2,3	10175	339	91	257	9
	11:08	Zuchtsauen 1	100	30	1	An	18	70	3,6	16000	533	108	480	16
	11:32	Zuchtsauen 2	100	30	2	An	19	74	2,3	10175	339	91	257	9

Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis)

Ergebnisse der Geruchsemissionsmessungen

Messung 1 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 20 °C außergewöhnlich warmer Tag im Februar
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 36 %

Datum	Zeit der Probenahme	Stall	Stallbelegung		Abluftkamin Nr.	Ventilator-einstellung	Ablufttemperatur [°C]	Abluft relative Luftfeuchte [%]	mittlere Abluftgeschwindigkeit [m s ⁻¹]	mittlerer Volumenstrom [m ³ h ⁻¹]	mittlerer Volumenstrom pro GV [m ³ h ⁻¹ GV ⁻¹]	Geruchskonzentration [GE m ⁻³]	Geruchsemission [GE s ⁻¹]	Geruchsemissionsfaktor pro Stall [GE s ⁻¹ GV ⁻¹]
			Anzahl Tiere	Großvieh-einheiten [GV]										
06.02.04	11:55	Endmaststall	250	42,5	1	Aus	18	36	1,1	763	72	40	8	30
	12:10				2	An	23	50	11,5	8100	764	290	653	
	12:25				3	An	23	50	10,5	7425	700	290	598	
	12:43				4	Aus	19	37	0,6	451	43	76	10	

Messung 2 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 5 °C
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 40 %

26.03.04	11:47	Endmaststall	240	40,8	1	An	17	46	3,0	2100	206	940	548	49
	12:06				2	An	16	47	4,1	2880	282	650	520	
	12:25				3	An	16	50	2,5	1800	176	790	395	
	12:38				4	An	16	52	3,8	2660	261	750	554	
26.03.04	13:15	Endmaststall	240	40,8	1	An	16	47	2,6	1805	177	470	236	25
	13:30				2	An	16	47	3,9	2780	273	450	348	
	13:43				3	An	16	51	2,6	1810	177	420	211	
	13:56				4	An	16	51	3,4	2430	238	330	223	

Messung 3 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 21 °C
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 34 %

27.05.04	11:33	Endmaststall	234	39,8	1	An	24	46	5,6	3975	399	724	799	73
	11:47				2	An	23	45	7,7	5450	548	861	1303	
	12:02				3	An	22	42	5,3	3715	373	384	396	
	12:14				4	An	22	40	7,2	5080	511	287	405	

Messung 4 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 29 °C
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 25 %

29.07.04	13:30	Endmaststall	240	40,8	1	An	28	35	13,0	9150	897	609	1548	117
	13:18				2	An	28	32	13,2	9300	912	384	992	
	12:58				3	An	28	32	12,7	9000	882	483	1208	
	12:48				4	An	28	32	13,5	9550	936	384	1019	

Messung 5 Mittlere Temperatur der Außenluft während der Probenahme: 11 °C
Mittlere relative Luftfeuchte der Außenluft während der Probenahme: 53 %

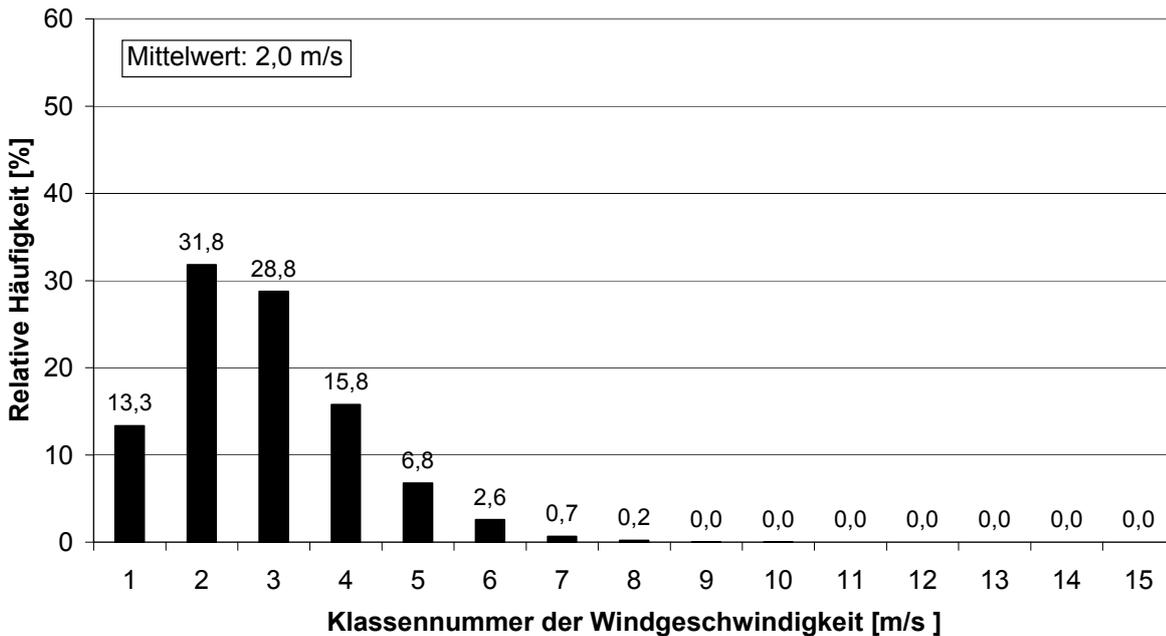
11.10.04	12:40	Endmaststall	240	40,8	1	An	18	53	3,4	2435	239	767	519	53
	13:00				2	An	18	54	4,5	3150	309	609	533	
	13:22				3	An	19	57	3,5	2475	243	683	470	
	13:38				4	An	20	56	4,2	2990	293	767	637	

Anhang A3:

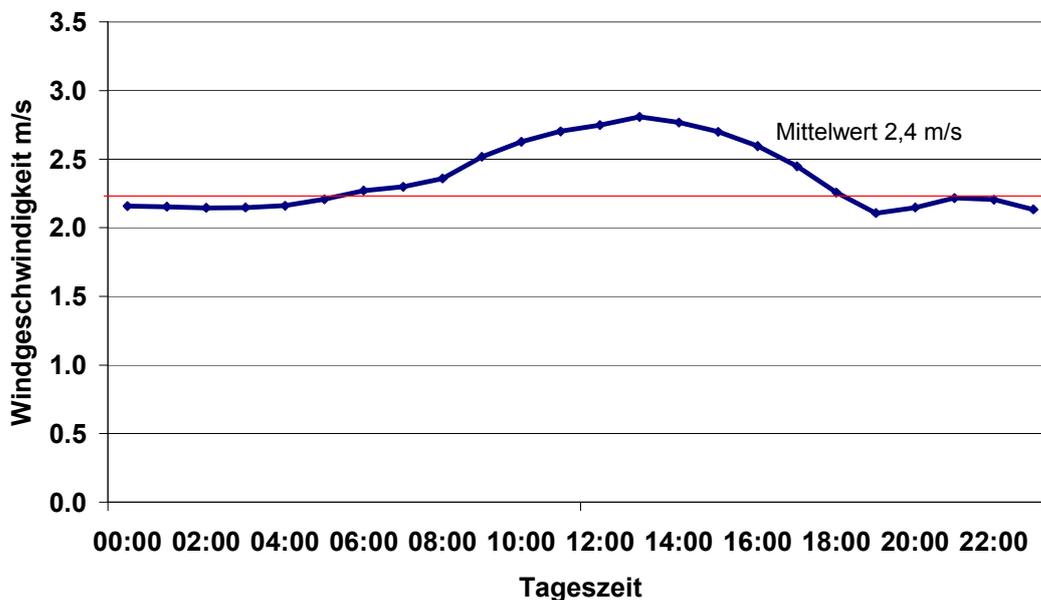
Windgeschwindigkeitsverteilung und durchschnittlicher Tagesverlauf der Windgeschwindigkeit an den vier Projektstandorten der eigenen Untersuchungen (vgl. Kapitel 4.2.6.2)

Projektstandort Nr. 1 Hohenlohe

Messzeitraum 23.06.2003 - 23.06.2004

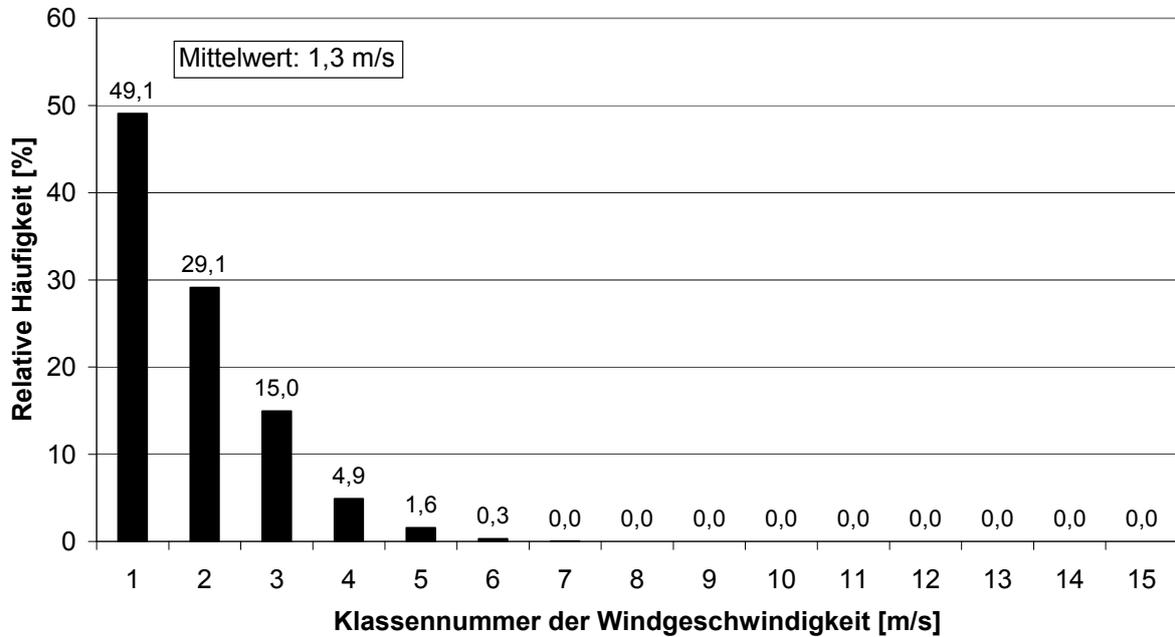


Mittlere Windgeschwindigkeit im Tagesverlauf
Hohenlohe 1 Sept. 2003 - Sept. 2004

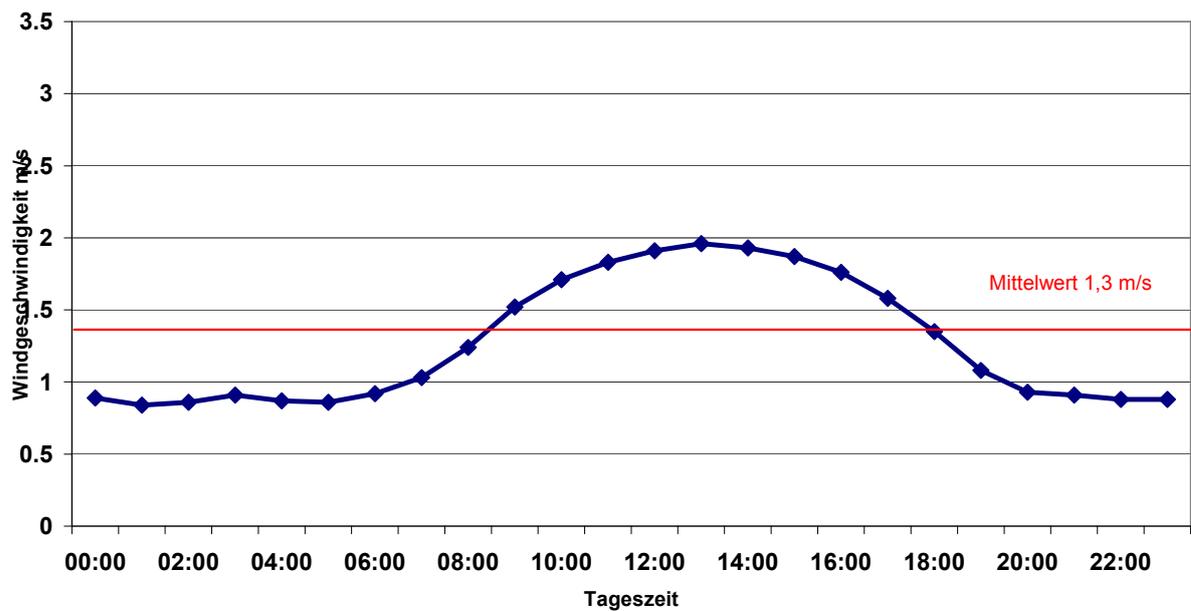


Projektstandort Nr. 2 Hohenlohe

Messzeitraum 15.08.2003- 29.10.2004

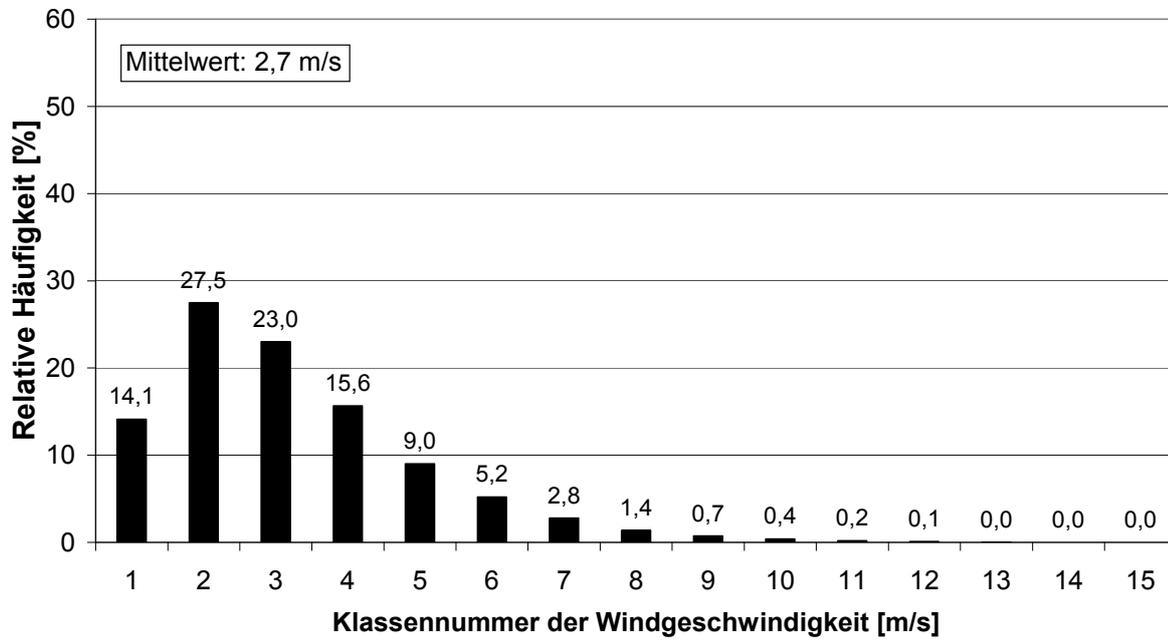


Mittlere Windgeschwindigkeit im Tagesverlauf
Hohenlohe 2 Aug. 2003 - Okt. 2004



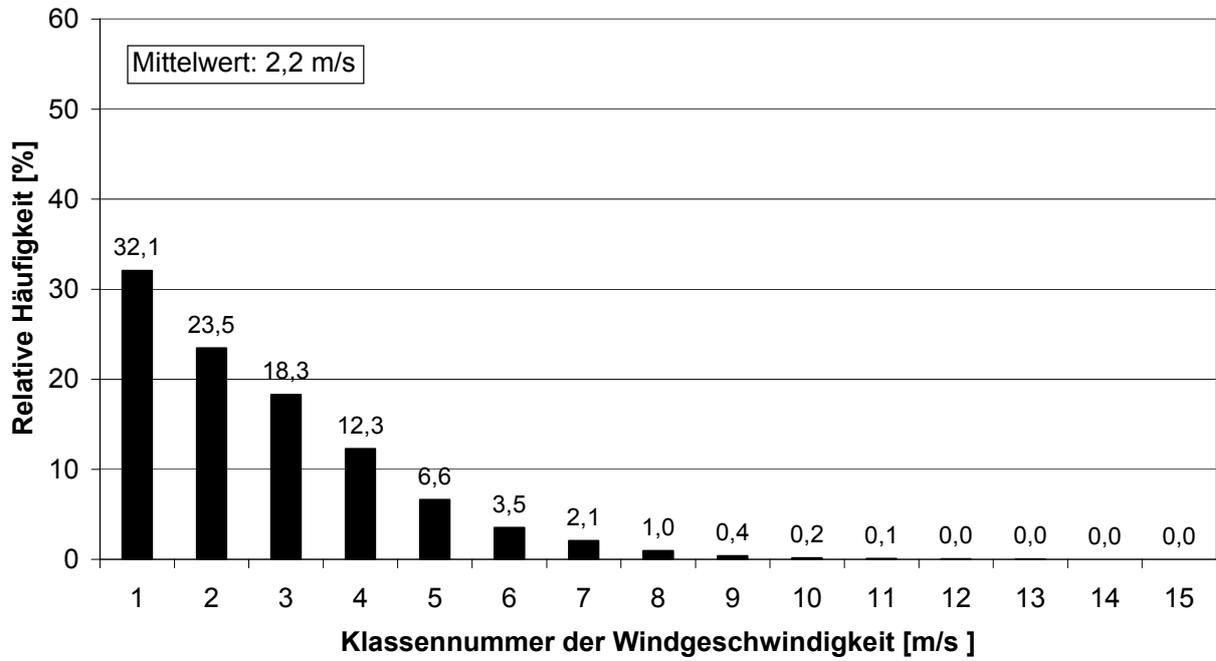
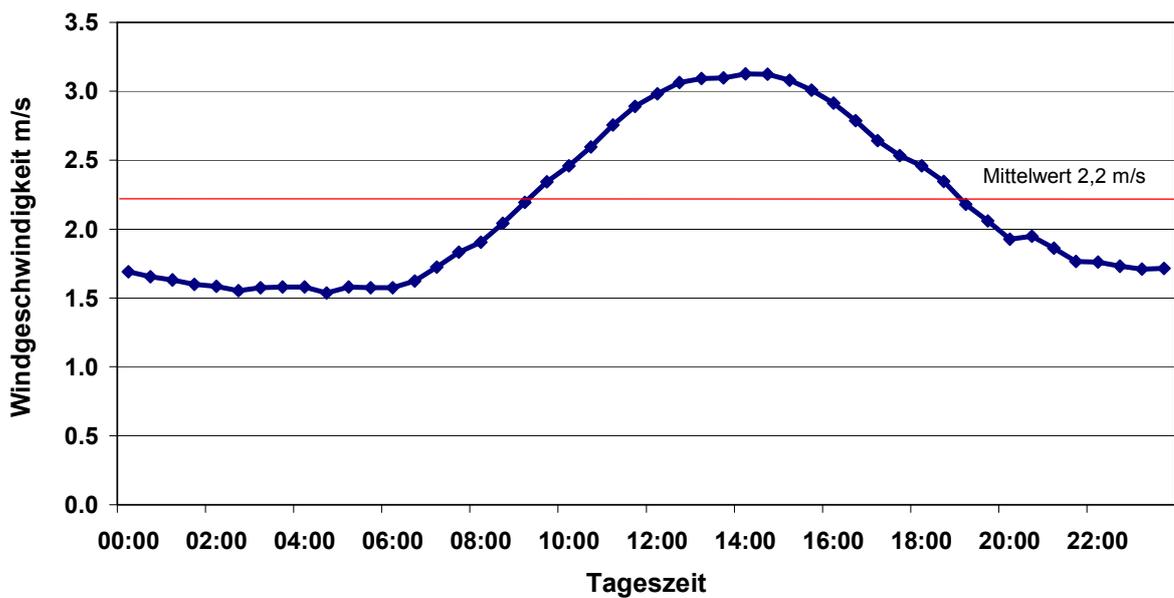
Projektstandort Nr. 3 Ostalb

Messzeitraum 19.08.03 - 29.10.2004



Projektstandort Nr. 4 Enzkreis

Messzeitraum 02.10.2003 - 26.10.2004

Mittlere Windgeschwindigkeit im Tagesverlauf
Enzkreis Okt. 2003 - Dez. 2004

Anhang A4:

Protokolle für die Rasterbegehungen im Rahmen der eigenen Untersuchungen (vgl. Kapitel 4.2.6.3 und Kapitel 4.3.2)

Datenaufnahmebogen: **HÄUFIGKEITEN**

Ortschaft: Nr. 1 Nr. 2 Nr. 3 Nr. 4
Name Proband: _____ **Datum:** _____
Messtour: A B C D
Nr. der Messstelle (1-12): _____ (Kontrolle mit Photo: "stehe ich an der richtigen Stelle ?")
Messbeginn: _____ Uhr **Messende:** _____ Uhr
 (an dieser Messstelle) (an dieser Messstelle)

Geruchsarten Kürzel:

S - Schwein **R** - Rind **Pu** - Puten **Pf** - Pferd
Si - Silage **Mi** - Mist **Gü** - Gülle
L -Landwirtschaftlich (wenn obige nicht differenzierbar) (ggf. beschreiben)
AF - nicht landwirtschaftlich, anderer Firmengeruch (bitte beschreiben)
So - nicht landwirtschaftlich, sonstiger Geruch (bitte beschreiben)
 --- kein Geruch

Auftreten der Geruchsarten (bitte Kürzel eintragen; sich bitte in den Wind stellen):

Schnupperatmung; Taktverfahren; nur den Geruchseindruck *in der 10. Sekunde* notieren !!!

Minute	Sec	Geruchsart
1	10	
	20	
	30	
	40	
	50	
	60	
2	10	
	20	
	30	
	40	
	50	
	60	
3	10	
	20	
	30	
	40	
	50	
	60	
4	10	
	20	
	30	
	40	
	50	
	60	
5	10	
	20	
	30	
	40	
	50	
	60	

Minute	Sec	Geruchsart
6	10	
	20	
	30	
	40	
	50	
	60	
7	10	
	20	
	30	
	40	
	50	
	60	
8	10	
	20	
	30	
	40	
	50	
	60	
9	10	
	20	
	30	
	40	
	50	
	60	
10	10	
	20	
	30	
	40	
	50	
	60	

Bemerkungen/Beschreibung der nicht-landwirtschaftlichen Gerüche (zB. -AF¹=Chemiegeruch, So¹=Grillgeruch und ähnliches) ggf. Rückseite benutzen (Beschreibung erst nach der 10-min-Messzeit durchführen)

Bei einer Unterbrechung der Messung > 10 Minuten muss die gesamte Messung wiederholt werden !!!; Dauer der Messung an einer Messstelle max. 20 Minuten !

Datenaufnahmebogen: **INTENSITÄT & HEDONIK (Schwein)**

Ortschaft: Nr. 1 Nr. 2 Nr. 3 Nr. 4

Name Proband: _____ **Datum:** _____

Messtour: A B C D **Nr. der Messstelle (1-12):** _____

Bitte im Anschluss an das 10-minütige Messintervall zur Häufigkeit ausfüllen:
Es sollen auf einem Bogen nur Takte mit Geruch der genannten Qualität beurteilt werden !!!!!

GERUCHSART SCHWEIN: (diesen Bogen immer ausfüllen !)

GERUCHSINTENSITÄT (Beschreibung des Geruchsstärkeindrucks auf folgender Skalen):

nicht wahrnehmbar

stärkster

Eindruck
(nur Takte mit Geruch!)
Geruch)

- 6 extrem stark
 5 sehr stark
 4 stark
 3 deutlich
 2 schwach
 1 sehr schwach
 0 nicht wahrnehmbar
 wahrnehmbar

Häufigkeit der

stärksten Eindrucks
(nur Takte mit Geruch)

- 5 immer
 4 sehr oft
 3 oft
 2 manchmal
 1 selten
 0 nicht wahrnehmbar

durchschnittlicher

Eindruck
(nur Takte mit

- 6 extrem stark
 5 sehr stark
 4 stark
 3 deutlich
 2 schwach
 1 sehr schwach
 0 nicht

HEDONIK (Beschreibung des Angenehm-unangenehm-Eindrucks auf folgenden Skalen):

nicht wahrnehmbar

(nur Takte mit Geruch!; ggf. unangenehme Gerüche müssen auf der Skala nicht positiv beurteilt werden, sondern dann ist eine Abstufung auf der negativen Skala vorzunehmen, dies gilt für ggf. angenehme Gerüche sinngemäß)

angenehmster Eindruck:

äußerst
unangenehm

-4 -3 -2 -1

weder unangenehm
noch angenehm

0 +1 +2

äußerst
angenehm

+3 +4

unangenehmster Eindruck:

äußerst
unangenehm

-4 -3 -2 -1

weder unangenehm
noch angenehm

0 +1 +2

äußerst
angenehm

+3 +4

durchschnittlicher Eindruck:

äußerst
unangenehm

-4 -3 -2 -1

weder unangenehm
noch angenehm

0 +1 +2

äußerst
angenehm

+3 +4

Datenaufnahmebogen: INTENSITÄT & HEDONIK (andere landw.)

Ortschaft: Nr. 1 Nr. 2 Nr. 3 Nr. 4
 Name Proband: _____ Datum: _____
 Messtour: A B C D Nr. der Messstelle (1-12): _____

**Bitte im Anschluss an das 10-minütige Messintervall zur Häufigkeit ausfüllen:
 Es sollen auf einem Bogen nur Takte mit Geruch der genannten Qualität beurteilt werden !!!!!
 (vgl. Bogen zu Häufigkeiten)**

GERUCHSART (nur landw. Gerüche!):

R - Rind Pu - Puten Pf - Pferd Si - Silage Mi - Mist Gü - Gülle
 L -Landwirtschaftlich (wenn obige nicht differenzierbar waren; vgl. Bogen zu Häufigkeiten)

GERUCHSINTENSITÄT (Beschreibung des Geruchsstärkeindrucks auf folgender Skalen):

nicht wahrnehmbar

stärkster

Eindruck
(nur Takte mit Geruch!)
Geruch)

- 6 extrem stark
 5 sehr stark
 4 stark
 3 deutlich
 2 schwach
 1 sehr schwach
 0 nicht wahrnehmbar
 wahrnehmbar

Häufigkeit der

stärksten Eindrucks
(nur Takte mit Geruch)

- 5 immer
 4 sehr oft
 3 oft
 2 manchmal
 1 selten
 0 nicht wahrnehmbar

durchschnittlicher

Eindruck
(nur Takte mit

- 6 extrem stark
 5 sehr stark
 4 stark
 3 deutlich
 2 schwach
 1 sehr schwach
 0 nicht

HEDONIK (Beschreibung des Angenehm-unangenehm-Eindrucks auf folgenden Skalen):

nicht wahrnehmbar

(nur Takte mit Geruch!; ggf. unangenehme Gerüche müssen auf der Skala nicht positiv beurteilt werden, sondern dann ist eine Abstufung auf der negativen Skala vorzunehmen, dies gilt für ggf. angenehme Gerüche sinngemäß)

angenehmster Eindruck:

äußerst
unangenehm

-4 -3 -2 -1

weder unangenehm
noch angenehm

0 +1 +2

äußerst
angenehm

+3 +4

unangenehmster Eindruck:

äußerst
unangenehm

-4 -3 -2 -1

weder unangenehm
noch angenehm

0 +1 +2

äußerst
angenehm

+3 +4

durchschnittlicher Eindruck:

äußerst
unangenehm

-4 -3 -2 -1

weder unangenehm
noch angenehm

0 +1 +2

äußerst
angenehm

+3 +4

Datenaufnahmebogen: WETTERDATEN

Ortschaft: Nr. 1 Nr. 2 Nr. 3 Nr. 4

Name Proband: _____

Datum: _____

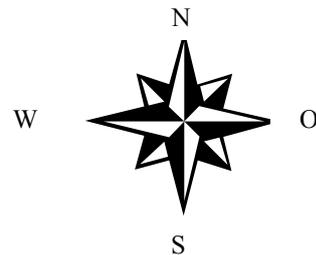
Messtour: A B C D

Nr. der Messstelle (1-12): _____

Temperatur (Kompassgerät) _____ °C

Windgeschwindigkeit (Handwindmesser) _____ m/s

Windrichtung (Kompass und ggf. Windfähnchen)
("der Wind kommt aus...")



Himmelsrichtung

Empfindung der Windstärke:

windstill schwach mäßig stark stürmisch

Wolken:

wolkenlos leicht bewölkt stark bewölkt trüb/diesig

Wettererscheinungen:

trocken

	leicht	mäßig	stark
Regen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schneefall	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hagel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nebel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dunst	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Erdbodenzustand:

trocken feucht gefroren schneebedeckt

Störungen; Pannen; Probleme u.ä. bei der gesamten Messung?: ja nein
Wenn ja bitte beschreiben !(bitte Rückseite benutzen)

Anhang 5:

Ergebnisse der Rasterbegehungen (Summe der Geruchsstunden und Geruchsstundenhäufigkeiten) an vier Projektstandorten der eigenen Untersuchungen

Projektstandort Nr.1 (Hohenlohe)

Projektstandort Nr. 1 (Hohenlohe)

Messzeitraum: 26.05.03-13.09.04

Summe der Geruchsstunden pro Messpunkt je Geruchsart

Anzahl Messungen pro Messpunkt	Messpunkt	Schwein	Rind	Pute	Pferd	Silage	Mist	Gülle	weitere		Sonstige	Alles	Summe Tierhaltung	Summe Silage+Mist+Gülle	Summe Landwirtschaftlich gesamt
									Landwirtschaftliche	Andere Firma					
29	A1	8	0	0	0	0	0	0	1	0	7	15	8	0	8
29	A2	4	0	1	0	0	0	0	1	0	9	14	5	0	5
29	A3	11	0	2	0	0	0	0	0	1	5	17	13	0	13
29	A4	6	3	0	0	0	13	0	0	0	11	27	9	13	22
29	A5	1	0	0	0	2	2	0	1	0	9	14	1	4	5
29	A6	0	0	1	0	0	0	0	1	1	8	10	1	0	1
29	A7	2	0	1	0	0	0	0	0	0	12	15	3	0	3
29	A8	0	0	1	0	0	0	0	0	3	8	10	1	0	1
29	A9	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8	10	0	0	0
29	A10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9	10	0	0	0
29	A11	2	0	0	0	0	0	0	1	0	6	9	2	0	2
30	B1	16	0	0	0	0	0	2	0	0	6	21	16	2	18
30	B2	7	0	1	4	0	3	0	0	0	8	16	9	3	12
30	B3	7	0	5	0	0	0	0	0	0	6	15	11	0	11
30	B4	7	0	1	0	0	1	0	0	0	13	18	8	1	9
30	B5	1	0	0	0	0	0	0	0	1	14	15	1	0	1
30	B6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	11	12	3	0	3
30	B7	0	0	0	0	0	0	0	0	7	10	13	0	0	0
30	B8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	9	9	0	0	0
30	B9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	8	8	0	1	1
30	B10	2	0	0	0	0	1	2	0	0	11	13	2	3	5
30	B11	0	0	0	0	0	0	1	0	1	8	9	0	1	1
30	B12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	0	0	0
30	C1	5	0	0	0	0	0	1	0	0	10	14	5	1	6
30	C2	14	0	1	0	0	0	0	0	0	5	18	15	0	15
30	C3	12	0	0	0	0	0	0	0	0	8	15	12	0	12
30	C4	7	0	2	0	0	0	0	0	0	9	14	8	0	8
30	C5	7	1	1	0	0	1	0	3	0	15	22	9	1	10
30	C6	2	0	1	0	0	0	3	0	0	11	15	3	3	6
30	C7	1	0	0	0	0	0	1	0	2	8	10	1	1	2
30	C8	1	0	0	0	0	0	0	1	0	14	15	1	0	1
30	C9	3	0	0	0	0	0	0	1	1	9	11	3	0	3
30	C10	0	0	0	0	0	0	0	1	2	7	9	0	0	0
30	C11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	11	12	1	0	1
30	C12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	10	10	0	1	1
28	D1	9	0	0	1	0	0	1	0	0	5	16	10	1	11
28	D2	2	0	0	0	0	0	1	0	0	8	10	2	1	3
28	D3	11	1	0	0	0	0	0	0	0	5	13	11	0	11
28	D4	3	0	3	0	0	0	1	1	0	7	11	5	1	6
28	D5	4	0	0	0	0	0	1	0	0	10	12	4	1	5
28	D6	2	0	0	0	0	0	1	0	1	10	14	2	1	3
28	D7	1	0	0	0	0	0	0	1	1	6	9	1	0	1
28	D8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	0	0	0
28	D9	1	0	0	0	0	0	1	0	3	12	13	1	1	2
28	D10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	7	1	0	1
28	D11	2	0	0	0	0	0	2	0	0	4	7	2	2	4

Projektstandort Nr.1 (Hohenlohe)

Projektstandort Nr. 1 (Hohenlohe)

Messzeitraum: 26.05.03-13.09.04

Anzahl Begehungen: 117

Summe der Geruchsstunden pro Beurteilungsfäche je Geruchsart

Messpunkte	Flächen Nr.	Schwein	Rind	Pute	Pferd	Silage	Mist	Gülle	weitere Landwirtschaftliche	Andere Firma	Sonstige	Alles	Summe Tierhaltung	Summe Silage+Mist+Gülle	Summe Landwirtschaftlich gesamt
A4+B4+C5+D4	1	23	4	5	0	0	15	1	4	0	46	78	31	16	47
A3+R3+C4+D4	2	28	0	12	0	0	0	1	1	1	27	57	37	1	38
A3+B4+C3+D4	3	33	0	6	0	0	1	1	1	1	33	61	38	2	40
A5+B4+C3+D5	4	24	0	1	0	2	3	1	1	0	40	59	25	6	31
A2+B5+C6+D5	5	11	0	2	0	0	0	4	1	1	44	56	13	4	17
A2+B2+C3+D5	6	27	0	2	4	0	3	1	1	0	35	57	30	4	34
A3+B2+C3+D3	7	41	1	3	4	0	3	0	0	1	26	61	45	3	48
A2+B2+C1+D1	8	25	0	2	5	0	3	2	1	0	32	60	29	5	34
A2+B5+C7+D6	9	8	0	1	0	0	0	2	1	4	41	53	9	2	11
A6+B6+C7+D6	10	6	0	1	0	0	0	2	1	4	37	46	7	2	9
A1+B6+C1+D6	11	18	0	0	0	0	0	2	1	1	38	55	18	2	20
A1+B1+C1+D1	12	38	0	0	1	0	0	4	1	0	28	66	39	4	43
A1+B1+C2+D2	13	40	0	1	0	0	0	3	1	0	26	64	41	3	44
A1+B6+C8+D2	14	14	0	0	0	0	0	1	2	0	40	52	14	1	15
A6+B6+C8+D7	15	5	0	1	0	0	0	0	3	2	39	46	6	0	6
A7+B7+C8+D7	16	4	0	1	0	0	0	0	2	8	42	52	5	0	5
A7+B7+C9+D8	17	5	0	1	0	0	0	0	1	8	39	47	6	0	6
A8+B8+C9+D8	18	3	0	1	0	0	0	0	2	4	34	38	4	0	4
A8+B8+C10+D9	19	1	0	1	0	0	0	1	2	8	36	41	2	1	3
A9+B9+C11+D9	20	2	0	0	0	0	0	2	0	6	39	43	2	2	4
A9+B10+C11+D10	21	4	0	0	0	0	1	2	0	3	36	42	4	3	7
A10+B11+C12+D11	22	2	0	0	0	0	0	4	0	2	31	36	2	4	6
A11+B12+C12+D11	23	4	0	0	0	0	0	3	1	0	26	32	4	3	7

Projektstandort Nr. 1 (Hohenlohe)

Messzeitraum: 26.05.03-13.09.04

Anzahl Begehungen: 117

Geruchsimmission in % der Jahresstunden

Messpunkte	Flächen Nr.	Schwein	Rind	Pute	Pferd	Silage	Mist	Gülle	weitere Landwirtschaftliche	Andere Firma	Sonstige	Alles	Summe Tierhaltung	Summe Silage+Mist+Gülle	Summe Landwirtschaftlich gesamt
A4+B4+C5+D4	1	20	3	4	0	0	13	1	3	0	39	67	26	14	40
A3+B3+C4+D4	2	24	0	10	0	0	0	1	1	1	23	49	32	1	32
A3+B4+C3+D4	3	28	0	5	0	0	1	1	1	1	28	52	32	2	34
A5+B4+C3+D5	4	21	0	1	0	2	3	1	1	0	34	50	21	5	26
A2+B5+C6+D5	5	9	0	2	0	0	0	3	1	1	38	48	11	3	15
A2+B2+C3+D5	6	23	0	2	3	0	3	1	1	0	30	49	26	3	29
A3+B2+C3+D3	7	35	1	3	3	0	3	0	0	1	22	52	38	3	41
A2+B2+C1+D1	8	21	0	2	4	0	3	2	1	0	27	51	25	4	29
A2+B5+C7+D6	9	7	0	1	0	0	0	2	1	3	35	45	8	2	9
A6+B6+C7+D6	10	5	0	1	0	0	0	2	1	3	32	39	6	2	8
A1+B6+C1+D6	11	15	0	0	0	0	0	2	1	1	32	47	15	2	17
A1+B1+C1+D1	12	32	0	0	1	0	0	3	1	0	24	56	33	3	37
A1+B1+C2+D2	13	34	0	1	0	0	0	3	1	0	22	55	35	3	38
A1+B6+C8+D2	14	12	0	0	0	0	0	1	2	0	34	44	12	1	13
A6+B6+C8+D7	15	4	0	1	0	0	0	0	3	2	33	39	5	0	5
A7+B7+C8+D7	16	3	0	1	0	0	0	0	2	7	36	44	4	0	4
A7+B7+C9+D8	17	4	0	1	0	0	0	0	1	7	33	40	5	0	5
A8+B8+C9+D8	18	3	0	1	0	0	0	0	2	3	29	32	3	0	3
A8+B8+C10+D9	19	1	0	1	0	0	0	1	2	7	31	35	2	1	3
A9+B9+C11+D9	20	2	0	0	0	0	0	2	0	5	33	37	2	2	3
A9+B10+C11+D10	21	3	0	0	0	0	1	2	0	3	31	36	3	3	6
A10+B11+C12+D11	22	2	0	0	0	0	0	3	0	2	26	31	2	3	5
A11+B12+C12+D11	23	3	0	0	0	0	0	3	1	0	22	27	3	3	6

Projektstandort Nr.2 (Hohenlohe)

Projektstandort Nr. 2 (Hohenlohe) Messzeitraum: 27.05.03-14.09.04
 Summe der Geruchsstunden pro Messpunkt je Geruchsart

Anzahl Messungen pro Messpunkt	Messpunkt	Schwein	Rind	Pferd	Silage	Mist	Gülle	weitere			Summe Tierhaltung	Summe Silage+Mist+Gülle	Summe Landwirtschaftlich gesamt	
								Landwirtschaftliche	Andere Firma	Sonstige				
29	A1	4	0	0	0	0	1	0	2	4	11	4	1	5
29	A2	5	0	0	0	0	0	0	1	8	12	5	0	5
29	A3	10	0	0	0	1	0	0	1	7	17	10	1	10
29	A4	6	0	0	0	0	0	0	1	11	15	6	0	6
29	A5	10	0	0	0	0	0	0	1	7	15	10	0	10
29	A6	2	0	0	0	0	0	0	1	11	12	2	0	2
29	A7	0	0	0	0	0	0	0	1	10	11	0	0	0
29	A8	3	0	0	0	0	1	0	1	7	12	3	1	4
29	A9	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	0	0	0
29	A10	2	0	0	0	2	0	0	0	7	9	2	2	4
29	A11	2	0	0	0	0	0	1	1	5	7	2	0	2
29	A12	1	0	0	0	0	0	0	1	6	8	1	0	1
30	B1	1	0	0	0	0	0	0	0	15	16	1	0	1
30	B2	16	0	0	0	0	0	0	0	15	27	16	0	16
30	B3	8	0	0	0	0	0	1	1	14	18	8	0	8
30	B4	14	0	0	0	0	0	0	0	16	24	14	0	14
30	B5	5	0	0	0	0	0	0	0	15	17	5	0	5
30	B6	6	0	0	0	0	0	0	0	16	20	6	0	6
30	B7	3	0	0	0	0	0	0	1	13	17	3	0	3
30	B8	1	0	0	0	0	0	0	0	18	19	1	0	1
30	B9	2	0	0	0	0	1	0	1	14	17	2	1	3
30	B10	4	0	0	0	1	1	0	0	15	19	4	2	6
30	B11	1	0	0	0	0	0	0	0	16	17	1	0	1
30	B12	2	0	0	0	0	0	2	0	13	16	2	0	2
29	C1	9	0	0	0	0	0	0	0	10	17	9	0	9
29	C2	2	3	0	0	10	2	0	2	4	18	5	12	16
29	C3	15	1	0	0	0	1	0	0	10	21	16	1	17
29	C4	2	0	0	0	0	0	0	1	11	13	2	0	2
29	C5	4	0	0	0	0	0	0	1	10	14	4	0	4
29	C6	3	0	0	0	0	1	0	1	7	11	3	1	4
29	C7	1	0	0	0	0	1	1	1	11	14	1	1	2
29	C8	2	0	0	0	0	1	0	2	9	13	2	1	3
29	C9	0	0	0	0	0	1	0	3	8	11	0	1	1
29	C10	3	0	3	0	3	0	0	2	7	12	6	3	7
29	C11	3	1	0	0	0	0	0	2	6	9	4	0	4
29	C12	1	0	0	0	0	1	0	1	8	10	1	1	2
29	D1	6	0	0	0	0	1	1	0	4	11	6	1	7
29	D2	8	0	0	0	1	1	1	1	10	17	8	2	10
29	D3	2	0	0	0	0	0	0	0	9	11	2	0	2
29	D4	7	0	0	0	0	0	0	0	9	14	7	1	8
29	D5	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	0	0	0
29	D6	5	0	0	0	0	0	0	1	10	14	5	0	5
29	D7	0	0	0	0	0	0	1	1	12	13	0	0	0
29	D8	1	0	0	0	0	0	0	2	10	12	1	0	1
29	D9	2	0	0	0	1	0	0	1	9	11	2	1	3
29	D10	2	1	0	0	1	1	0	0	12	14	3	1	3
29	D11	0	0	0	0	0	1	0	0	7	7	0	1	1
29	D12	1	0	0	0	0	0	0	0	6	7	1	0	1

Projektstandort Nr.2 (Hohenlohe)

Projektstandort Nr. 2 (Hohenlohe) Messzeitraum: 27.05.03-14.09.04 Anzahl Begehungen: 117
Summe der Geruchsstunden pro Beurteilungsfläche je Geruchsart

Messpunkte	Flächen Nr.	Schwein	Rind	Pferd	Silage	Mist	Gülle	weitere Landwirtschaftliche	Andere Firma	Sonstige	Alles	Summe Tierhaltung	Summe Silage+Mist+Gülle	Summe Landwirtschaftlich gesamt
A1+B1+C1+D1	1	20	0	0	0	0	2	1	1	33	55	20	2	22
A2+B2+C1+D1	2	36	0	0	0	0	1	1	1	37	67	36	1	37
A2+B2+C3+D3	3	38	1	0	0	0	1	0	1	42	71	39	1	40
A3+B2+C3+D2	4	49	1	0	0	2	2	1	2	42	82	50	4	53
A3+B3+C2+D2	5	28	3	0	0	12	3	2	5	35	70	31	15	44
A3+B3+C4+D4	6	27	0	0	0	1	0	1	3	41	62	27	2	28
A3+B4+C3+D4	7	46	1	0	0	1	1	0	1	42	76	47	3	49
A4+B4+C3+D3	8	37	1	0	0	0	1	0	1	46	71	38	1	39
A4+B4+C5+D5	9	24	0	0	0	0	0	0	2	46	62	24	0	24
A5+B4+C5+D4	10	35	0	0	0	0	0	0	2	42	67	35	1	36
A5+B5+C4+D4	11	24	0	0	0	0	0	0	2	42	59	24	1	25
A5+B5+C6+D6	12	23	0	0	0	0	1	0	3	39	57	23	1	24
A5+B6+C5+D6	13	25	0	0	0	0	0	0	3	43	63	25	0	25
A6+B6+C5+D5	14	12	0	0	0	0	0	0	2	46	55	12	0	12
A9+B8+C9+D8	15	2	0	0	0	0	1	0	5	42	48	2	1	3
A9+B9+C9+D9	16	4	0	0	0	1	2	0	5	37	45	4	3	7
A10+B9+C10+D9	17	9	0	3	0	6	1	0	4	37	49	12	7	17
A10+B10+C10+D10	18	11	1	3	0	7	2	0	2	41	54	15	8	20
A11+B10+C11+D10	19	11	2	0	0	2	2	1	3	38	49	13	3	15
A6+B6+C7+D7	20	9	0	0	0	0	1	2	3	50	59	9	1	10
A7+B11+C7+D6	21	7	0	0	0	0	1	1	3	47	56	7	1	8
A7+B7+C6+D6	22	11	0	0	0	0	1	0	4	40	53	11	1	12
A8+B7+C6+D12	23	10	0	0	0	0	2	0	3	33	47	10	2	12
A12+B12+C8+D12	24	6	0	0	0	0	1	2	3	34	44	6	1	7
A12+B7+C12+D12	25	6	0	0	0	0	1	0	3	33	42	6	1	7
A7+B7+C12+D11	26	4	0	0	0	0	2	0	3	38	45	4	2	6

Projektstandort Nr. 2 (Hohenlohe) Messzeitraum: 27.05.03-14.09.04 Anzahl Begehungen: 117
Geruchsimmission in % der Jahresstunden

Messpunkte	Flächen Nr.	Schwein	Rind	Pferd	Silage	Mist	Gülle	weitere Landwirtschaftliche	Andere Firma	Sonstige	Alles	Summe Tierhaltung	Summe Silage+Mist+Gülle	Summe Landwirtschaftlich gesamt
A1+B1+C1+D1	1	17	0	0	0	0	2	1	1	28	47	17	2	19
A2+B2+C1+D1	2	31	0	0	0	0	1	1	1	32	57	31	1	32
A2+B2+C3+D3	3	32	1	0	0	0	1	0	1	36	61	33	1	34
A3+B2+C3+D2	4	42	1	0	0	2	2	1	2	36	70	43	3	45
A3+B3+C2+D2	5	24	3	0	0	10	3	2	4	30	60	26	13	38
A3+B3+C4+D4	6	23	0	0	0	1	0	1	3	35	53	23	2	24
A3+B4+C3+D4	7	39	1	0	0	1	1	0	1	36	65	40	3	42
A4+B4+C3+D3	8	32	1	0	0	0	1	0	1	39	61	32	1	33
A4+B4+C5+D5	9	21	0	0	0	0	0	0	2	39	53	21	0	21
A5+B4+C5+D4	10	30	0	0	0	0	0	0	2	36	57	30	1	31
A5+B5+C4+D4	11	21	0	0	0	0	0	0	2	36	50	21	1	21
A5+B5+C6+D6	12	20	0	0	0	0	1	0	3	33	49	20	1	21
A5+B6+C5+D6	13	21	0	0	0	0	0	0	3	37	54	21	0	21
A6+B6+C5+D5	14	10	0	0	0	0	0	0	2	39	47	10	0	10
A9+B8+C9+D8	15	2	0	0	0	0	1	0	4	36	41	2	1	3
A9+B9+C9+D9	16	3	0	0	0	0	1	2	0	32	38	3	3	6
A10+B9+C10+D9	17	8	0	3	0	5	1	0	3	32	42	10	6	15
A10+B10+C10+D10	18	9	1	3	0	6	2	0	2	35	46	13	7	17
A11+B10+C11+D10	19	9	2	0	0	2	2	1	3	32	42	11	3	13
A6+B6+C7+D7	20	8	0	0	0	0	1	2	3	43	50	8	1	9
A7+B11+C7+D6	21	6	0	0	0	0	1	1	3	40	48	6	1	7
A7+B7+C6+D6	22	9	0	0	0	0	1	0	3	34	45	9	1	10
A8+B7+C6+D12	23	9	0	0	0	0	2	0	3	28	40	9	2	10
A12+B12+C8+D12	24	5	0	0	0	0	1	2	3	29	38	5	1	6
A12+B7+C12+D12	25	5	0	0	0	0	1	0	3	28	36	5	1	6
A7+B7+C12+D11	26	3	0	0	0	0	2	0	3	32	38	3	2	5

Projektstandort Nr.3 (Ostalb)

Projektstandort Nr. 3 (Ostalb)

Messzeitraum: 08.08.03-25.10.04

Summe der Geruchsstunden pro Messpunkt je Geruchsart

Anzahl Messungen pro Messpunkt	Messpunkt	Schwein	Rind	Pferd	Silage	Mist	Gülle	weitere			Summe Tierhaltung	Summe Silage+Mist+Gülle	Summe Landwirtschaftlich gesamt	
								Landwirtschaftliche	Andere Firma	Sonstige				
26	A1	13	0	0	0	0	2	0	0	5	17	13	2	14
26	A2	11	0	0	0	0	3	0	0	7	16	11	3	13
26	A3	9	0	0	0	0	0	0	0	7	13	9	0	10
26	A4	8	0	0	1	0	0	0	0	8	15	8	1	9
26	A5	17	0	0	0	1	0	0	0	7	22	17	1	18
26	A6	16	7	0	2	3	0	0	0	5	24	20	4	21
26	A7	5	0	0	1	2	2	1	0	7	14	5	6	10
26	A8	3	4	0	3	0	0	1	0	6	13	6	3	9
26	A9	9	4	0	1	0	2	0	0	6	15	13	3	15
26	A10	4	12	0	5	3	1	1	0	6	22	14	8	20
27	B1	9	0	0	0	1	1	0	0	6	14	9	2	11
27	B2	10	0	0	0	0	1	0	0	7	15	10	1	11
27	B3	12	0	0	1	1	0	0	0	8	15	12	2	12
27	B4	9	1	0	0	1	0	0	0	13	18	10	1	11
27	B5	13	6	0	2	2	0	0	0	7	21	18	4	19
27	B6	9	1	0	0	0	0	0	0	9	15	10	0	10
27	B7	5	4	0	8	2	0	0	0	10	19	7	10	13
27	B8	20	0	0	0	1	1	0	0	7	23	20	2	21
27	B9	2	2	0	6	3	1	0	0	8	15	3	9	10
27	B10	5	0	0	1	0	2	0	0	5	8	5	2	6
28	C1	9	1	0	0	0	1	0	0	10	17	10	1	11
28	C2	6	8	0	3	1	1	0	0	14	23	14	5	16
28	C3	5	0	0	1	0	5	0	0	14	18	5	6	11
28	C4	8	4	0	1	1	3	0	0	10	18	11	5	14
28	C5	6	2	0	8	0	0	0	0	10	18	7	8	14
28	C6	7	6	1	4	2	0	1	0	10	22	15	6	18
28	C7	19	2	0	1	1	0	1	0	10	23	19	2	19
28	C8	7	13	0	1	2	0	0	0	9	22	18	3	20
28	C9	9	3	0	3	0	1	0	0	7	16	10	4	13
28	C10	4	1	0	0	0	1	0	0	9	12	4	1	5
27	D1	8	0	0	0	1	2	0	0	10	17	8	3	10
27	D2	10	3	0	1	0	0	0	0	11	21	12	1	13
27	D3	6	0	0	0	0	2	0	0	8	13	6	2	8
27	D4	9	1	0	3	0	1	0	0	8	19	10	4	15
27	D5	5	1	0	0	0	1	0	0	3	10	6	1	7
27	D6	7	3	0	4	1	1	1	0	8	15	9	6	12
27	D7	21	5	0	5	0	0	0	0	7	27	25	5	26
27	D8	20	5	0	0	0	0	0	0	11	25	23	0	23
27	D9	11	1	1	5	0	0	0	0	7	20	13	5	17
27	D10	4	2	0	1	1	1	0	0	6	11	6	3	7

Projektstandort Nr.3 (Ostalb)

Projektstandort Nr. 3 (Ostalb) Messzeitraum: 08.08.03-25.10.04 Anzahl Begehungen: 108
Summe der Geruchsstunden pro Beurteilungsfläche je Geruchsart

Messpunkte	Flächen Nr.	Schwein	Rind	Pferd	Silage	Mist	Gülle	weitere			Alles	Summe Tierhaltung	Summe Silage+Mist+Gülle	Summe Landwirtschaftlich gesamt	
								Landwirtschaftliche	Andere Firma	Sonstige					
A2+B1+C1+D1	1	37	1	0	0	2	7	0	0	0	33	64	38	9	45
A3+B1+C1+D3	2	33	1	0	0	1	4	0	0	0	31	57	34	5	40
A3+B2+C3+D3	3	30	0	0	1	0	8	0	0	0	36	59	30	9	40
A4+B3+C3+D3	4	31	0	0	3	1	7	0	0	0	38	61	31	11	40
A4+B4+C1+D3	5	32	2	0	1	1	3	0	0	0	39	63	34	5	39
A1+B4+C1+D1	6	39	2	0	0	2	5	0	0	0	38	69	41	7	46
A1+B4+C2+D2	7	38	12	0	4	2	3	0	0	0	43	79	49	9	54
A4+B4+C2+D4	8	32	10	0	7	2	2	0	0	0	43	75	42	11	51
A4+B3+C4+D4	9	37	5	0	6	2	4	0	0	0	34	67	41	12	50
A7+B6+C4+D5	10	27	6	0	2	3	6	1	0	0	29	57	32	12	41
A6+B6+C4+D4	11	42	13	0	6	4	4	0	0	0	32	76	51	13	60
A6+B5+C2+D4	12	44	22	0	10	6	2	0	0	0	34	87	62	17	71
A5+B5+C2+D2	13	46	17	0	6	4	1	0	0	0	39	87	61	11	66
A5+B5+C7+D8	14	69	13	0	3	4	0	1	0	0	35	91	77	7	79
A6+B6+C5+D7	15	52	15	0	15	3	0	0	0	0	31	84	62	17	71
A6+B8+C7+D7	16	76	14	0	8	5	1	1	0	0	29	97	84	13	87
A9+B8+C7+D8	17	68	11	0	2	2	3	1	0	0	34	86	75	7	78
A9+B7+C8+D8	18	41	26	0	10	4	2	0	0	0	36	81	61	16	71
A8+B7+C8+D10	19	19	23	0	13	5	1	1	0	0	31	65	37	19	49
A8+B10+C10+D10	20	16	7	0	5	1	4	1	0	0	26	44	21	9	27
A8+B10+C9+D9	21	28	8	1	12	0	3	1	0	0	25	57	34	14	45
A10+B8+C6+D7	22	52	23	1	14	6	2	2	0	0	30	94	74	21	85
A10+B9+C6+D6	23	20	23	1	19	9	3	3	0	0	32	74	41	29	60

Projektstandort Nr. 3 (Ostalb) Messzeitraum: 08.08.03-25.10.04 Anzahl Begehungen: 108
Geruchsimmission in % der Jahresstunden

Messpunkte	Flächen Nr.	Schwein	Rind	Pferd	Silage	Mist	Gülle	weitere			Alles	Summe Tierhaltung	Summe Silage+Mist+Gülle	Summe Landwirtschaftlich gesamt	
								Landwirtschaftliche	Andere Firma	Sonstige					
A2+B1+C1+D1	1	34	1	0	0	2	6	0	0	0	31	59	35	8	42
A3+B1+C1+D3	2	31	1	0	0	1	4	0	0	0	29	53	31	5	37
A3+B2+C3+D3	3	28	0	0	1	0	7	0	0	0	33	55	28	8	37
A4+B3+C3+D3	4	29	0	0	3	1	6	0	0	0	35	56	29	10	37
A4+B4+C1+D3	5	30	2	0	1	1	3	0	0	0	36	58	31	5	36
A1+B4+C1+D1	6	36	2	0	0	2	5	0	0	0	35	64	38	6	43
A1+B4+C2+D2	7	35	11	0	4	2	3	0	0	0	40	73	45	8	50
A4+B4+C2+D4	8	30	9	0	6	2	2	0	0	0	40	69	39	10	47
A4+B3+C4+D4	9	34	5	0	6	2	4	0	0	0	31	62	38	11	46
A7+B6+C4+D5	10	25	6	0	2	3	6	1	0	0	27	53	30	11	38
A6+B6+C4+D4	11	39	12	0	6	4	4	0	0	0	30	70	47	12	56
A6+B5+C2+D4	12	41	20	0	9	6	2	0	0	0	31	81	57	16	66
A5+B5+C2+D2	13	43	16	0	6	4	1	0	0	0	36	81	56	10	61
A5+B5+C7+D8	14	64	12	0	3	4	0	1	0	0	32	84	71	6	73
A6+B6+C5+D7	15	48	14	0	14	3	0	0	0	0	29	78	57	16	66
A6+B8+C7+D7	16	70	13	0	7	5	1	1	0	0	27	90	78	12	81
A9+B8+C7+D8	17	63	10	0	2	2	3	1	0	0	31	80	69	6	72
A9+B7+C8+D8	18	38	24	0	9	4	2	0	0	0	33	75	56	15	66
A8+B7+C8+D10	19	18	21	0	12	5	1	1	0	0	29	60	34	18	45
A8+B10+C10+D10	20	15	6	0	5	1	4	1	0	0	24	41	19	8	25
A8+B10+C9+D9	21	26	7	1	11	0	3	1	0	0	23	53	31	13	42
A10+B8+C6+D7	22	48	21	1	13	6	2	2	0	0	28	87	69	19	79
A10+B9+C6+D6	23	19	21	1	18	8	3	3	0	0	30	69	38	27	56

Projektstandort Nr.4 (Enzkreis)

Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis)

Messzeitraum: 09.08.03-26.10.04

Summe der Geruchsstunden pro Messpunkt je Geruchsart

Anzahl Messungen pro Messpunkt	Messpunkt	Schwein	Rind	Pferd	Silage	Mist	Gülle	weitere				Summe Tierhaltung	Summe Silage+Mist+Gülle	Summe Landwirtschaftlich gesamt	
								Landwirtschaftliche	Andere Firma	Sonstige	Alles				
28	A1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	0	0	0
28	A2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	2	0	2
28	A3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	12	12	0	0	0
28	A4	1	0	0	0	0	0	0	0	1	9	11	1	0	1
28	A5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	8	10	0	0	0
28	A6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10	11	1	0	1
28	A7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	9	12	3	0	3
28	A8	9	1	0	0	1	0	0	0	0	4	14	9	1	10
28	A9	7	0	0	0	0	0	0	0	0	10	16	7	0	7
28	A10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	12	15	4	0	4
28	A11	2	0	0	0	0	0	0	0	2	13	15	2	0	2
28	A12	1	0	0	0	0	0	0	1	3	11	15	1	0	1
26	B1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	0	0	0
26	B2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	13	0	0	0
26	B3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	15	17	4	0	4
26	B4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	7	10	0	0	0
26	B5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7	8	1	0	1
26	B6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	11	12	1	0	1
26	B7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	9	13	5	0	5
26	B8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	11	15	5	0	5
26	B9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7	8	1	0	1
26	B10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	7	9	2	0	2
25	C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	0	0	0
25	C2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	7	8	0	1	1
25	C3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	8	10	1	1	2
25	C4	1	0	0	0	0	0	0	0	1	9	10	1	0	1
25	C5	1	0	0	0	0	0	0	0	2	11	14	1	0	1
25	C6	4	0	0	0	1	0	0	0	0	8	11	4	1	5
25	C7	10	0	0	0	0	0	0	0	0	12	18	10	0	10
25	C8	2	0	0	0	1	0	0	0	1	10	12	2	1	3
25	C9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	15	16	1	0	1
25	C10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	9	11	2	0	2
25	C11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0
25	C12	2	0	0	0	0	0	0	0	1	14	17	2	0	2
27	D1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	0	0	0
27	D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	1	0	0
27	D3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	7	10	3	0	3
27	D4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	10	16	6	0	6
27	D5	4	1	0	0	0	0	0	0	1	6	11	5	0	5
27	D6	10	0	0	0	1	0	0	0	0	7	17	10	1	11
27	D7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	7	9	2	0	2
27	D8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	7	1	0	1
27	D9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	13	14	1	0	1
27	D10	2	0	0	0	0	0	0	0	1	8	9	2	0	2
27	D11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	9	10	4	0	4

Projektstandort Nr.4 (Enzkreis)

Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis) Messzeitraum: 09.08.03-26.10.04 Anzahl Begehungen: 106
 Summe der Geruchsstunden pro Beurteilungsfläche je Geruchsart

Messpunkte	Flächen Nr.	Schwein	Rind	Pferd	Silage	Mist	Gülle	weitere				Summe Tierhaltung	Summe Silage+Mist+Gülle	Summe Landwirtschaftlich gesamt	
								Landwirtschaftliche	Andere Firma	Sonstige	Alles				
A3+B1+C1+D3	1	3	0	0	0	0	0	0	0	1	38	41	3	0	3
A1+B2+C1+D2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	44	1	0	0
A1+B2+C2+D1	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	36	37	0	1	1
A2+B2+C3+D1	4	3	0	0	1	0	0	0	0	0	32	36	3	1	4
A2+B2+C4+D2	5	3	0	0	0	0	0	0	0	1	36	39	4	0	3
A2+B3+D3+C4	6	10	0	0	0	0	0	0	0	1	35	43	10	0	10
A2+B3+C3+D4	7	10	2	1	1	0	0	0	0	0	37	49	13	1	14
A8+B7+C7+D6	8	34	1	0	0	2	0	0	0	0	32	62	34	2	36
A8+B7+C6+D5	9	22	2	0	0	2	0	0	0	1	27	49	23	2	25
A7+B6+C9+D5	10	9	1	0	0	0	0	0	0	1	41	51	10	0	10
A9+B7+C9+D5	11	17	1	0	0	0	0	0	0	1	40	56	18	0	18
A9+B7+C8+D6	12	24	0	0	0	2	0	0	0	1	36	58	24	2	26
A9+B8+C9+D7	13	15	0	0	0	0	0	0	0	0	43	56	15	0	15
A6+B6+C9+D7	14	5	0	0	0	0	0	0	0	0	43	48	5	0	5
A6+B6+C5+D8	15	4	0	0	0	0	0	0	0	2	38	44	4	0	4
A4+B4+C5+D9	16	3	0	0	0	0	0	0	0	7	40	49	3	0	3
A6+B5+C11+D8	17	3	0	0	0	0	0	0	0	0	33	36	3	0	3
A6+B5+C10+D7	18	6	0	0	0	0	0	0	0	0	33	39	6	0	6
A10+B8+C10+D7	19	13	0	0	0	0	0	0	0	0	39	50	13	0	13
A10+B9+C10+D10	20	9	0	0	0	0	0	0	0	1	36	43	9	0	9
A5+B5+C10+D10	21	5	0	0	0	0	0	0	1	2	32	38	5	0	5
A5+B5+C11+D9	22	2	0	0	0	0	0	0	1	1	38	42	2	0	2
A11+B9+C12+D11	23	9	0	0	0	0	0	0	0	3	43	50	9	0	9
A12+B10+C12+D11	24	9	0	0	0	0	0	0	1	4	41	51	9	0	9

Projektstandort Nr. 4 (Enzkreis) Messzeitraum: 09.08.03-26.10.04 Anzahl Begehungen: 106
 Geruchsimmission in % der Jahresstunden

Messpunkte	Flächen Nr.	Schwein	Rind	Pferd	Silage	Mist	Gülle	weitere				Summe Tierhaltung	Summe Silage+Mist+Gülle	Summe Landwirtschaftlich gesamt	
								Landwirtschaftliche	Andere Firma	Sonstige	Alles				
A3+B1+C1+D3	1	3	0	0	0	0	0	0	0	1	36	39	3	0	3
A1+B2+C1+D2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	42	1	0	0
A1+B2+C2+D1	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	34	35	0	1	1
A2+B2+C3+D1	4	3	0	0	1	0	0	0	0	0	30	34	3	1	4
A2+B2+C4+D2	5	3	0	0	0	0	0	0	0	1	34	37	4	0	3
A2+B3+D3+C4	6	9	0	0	0	0	0	0	0	1	33	41	9	0	9
A2+B3+C3+D4	7	9	2	1	1	0	0	0	0	0	35	46	12	1	13
A8+B7+C7+D6	8	32	1	0	0	2	0	0	0	0	30	58	32	2	34
A8+B7+C6+D5	9	21	2	0	0	2	0	0	0	1	25	46	22	2	24
A7+B6+C9+D5	10	8	1	0	0	0	0	0	0	1	39	48	9	0	9
A9+B7+C9+D5	11	16	1	0	0	0	0	0	0	1	38	53	17	0	17
A9+B7+C8+D6	12	23	0	0	0	2	0	0	0	1	34	55	23	2	25
A9+B8+C9+D7	13	14	0	0	0	0	0	0	0	0	41	53	14	0	14
A6+B6+C9+D7	14	5	0	0	0	0	0	0	0	0	41	45	5	0	5
A6+B6+C5+D8	15	4	0	0	0	0	0	0	0	2	36	42	4	0	4
A4+B4+C5+D9	16	3	0	0	0	0	0	0	0	7	38	46	3	0	3
A6+B5+C11+D8	17	3	0	0	0	0	0	0	0	0	31	34	3	0	3
A6+B5+C10+D7	18	6	0	0	0	0	0	0	0	0	31	37	6	0	6
A10+B8+C10+D7	19	12	0	0	0	0	0	0	0	0	37	47	12	0	12
A10+B9+C10+D10	20	8	0	0	0	0	0	0	0	1	34	41	8	0	8
A5+B5+C10+D10	21	5	0	0	0	0	0	0	1	2	30	36	5	0	5
A5+B5+C11+D9	22	2	0	0	0	0	0	0	1	1	36	40	2	0	2
A11+B9+C12+D11	23	8	0	0	0	0	0	0	0	3	41	47	8	0	8
A12+B10+C12+D11	24	8	0	0	0	0	0	0	1	4	39	48	8	0	8

5. Ich hatte Schmerzen in den Armen / Beinen.	⓪	①	②	③	④	6.5
6. Ich hatte Fieber.	⓪	①	②	③	④	6.6
7. Ich hatte Husten.	⓪	①	②	③	④	6.7
8. Meine Nase / Augen waren gereizt.	⓪	①	②	③	④	6.8
9. Ich fühlte mich körperlich elend.	⓪	①	②	③	④	6.9
10. Ich hatte Probleme beim Atmen.	⓪	①	②	③	④	6.10
11. Ich fühlte mich benommen, schwindelig.	⓪	①	②	③	④	6.11
12. Ich hatte keinen Appetit	⓪	①	②	③	④	6.12
13. Ich hatte ein Würgen im Hals, mir war übel.	⓪	①	②	③	④	6.13
14. Ich musste erbrechen (keine Schwangerschaft).	⓪	①	②	③	④	6.14
15. Ich fühlte mich aufgebläht (Völlegefühl).	⓪	①	②	③	④	6.15
16. Ich hatte vermehrtes Aufstoßen (Sodbrennen).	⓪	①	②	③	④	6.16
17. Ich hatte Magenbeschwerden.	⓪	①	②	③	④	6.17
18. Sonstiges (Bitte näher erläutern):	⓪	①	②	③	④	6.18

6.18x

7. Sie haben jetzt einige Fragen zu verschiedenen Beschwerden beantwortet. Gibt es einen Hauptfaktor, den Sie für diese Beschwerden verantwortlich machen? (Bitte nur eine Antwort!) (Interviewer: Antwort zuordnen)

- | | | | |
|----------------------------------|---|---|----|
| • NEIN | ⓪ | <u>auf die gesundheitlich Bedingungen in Ihrer Nachbarschaft:</u> | |
| • auf Krankheiten | ① | • Lautstärke des Verkehrslärms (Auto, Flugzeug, etc.) | ⑤ |
| • auf Ärger in der Familie | ② | • Qualität des Leitungswassers | ⑥ |
| • auf beruflichen Ärger | ③ | • Reinheit der Luft bezügl. Gerüche | ⑦ |
| • auf den Alltagsstress | ④ | • Reinheit der Luft bezügl. Staub | ⑧ |
| • Sonstiges (Bitte beschreiben): | ⑨ | | 7x |

8. Auf dieser Liste sind eine Reihe von Wohnbedingungen aufgeführt, die stören und über die man immer wieder Klagen hört. Bitte geben Sie an, ob Sie sich hier in Ihrer Nachbarschaft durch eines oder mehrere der aufgeführten Dinge gestört fühlen. (Liste 5 vorlegen)

	nein	etwas	ziemlich	stark	sehr stark	
1. schlechte Infrastruktur (Schulen, Straßen, etc.)	⓪	①	②	③	④	8.1
2. Unrat / Müll / Dreck	⓪	①	②	③	④	8.2
3. Geräusche / Lärm → <i>Überleitung (s.u.)</i>	⓪	①	②	③	④	8.3
4. Windkraftanlagen	⓪	①	②	③	④	8.4
5. Gerüche / Gestank	⓪	①	②	③	④	8.5
6. Unsicherheit / Risiken (z.B. Einbruch/Diebstahl)		⓪	①	②	③	④
8. Sonstiges: (Bitte kurz beschreiben)	⓪	①	②	③	④	8.7

8.7x

Überleitung: Sie haben erwähnt, dass sie in Ihrer Nachbarschaft [nicht] durch Lärm gestört werden → Frage 9

9. Es ist also <kein> Lärm hier in Ihrer Wohngegend wahrnehmbar? Wenn ja, wie stark wahrnehmbar ist der Lärm? (Liste 6 vorlegen)

- nicht wahrnehmbar
 - gerade eben wahrnehmbar
 - schwach wahrnehmbar
 - deutlich wahrnehmbar
 - stark wahrnehmbar
 - sehr stark wahrnehmbar
- ① → Weiter mit Frage 20
- ②
- ③
- ④
- ⑤

10. Glauben Sie, dass in Ihrer Wohngegend eine Belästigung der Anwohner durch diesen Lärm vorliegt?

- nein ① wenn nein, ... → Weiter mit Frage 17
- ja ① wenn ja, ... → Weiter mit Frage 16

10

11. Halten Sie die Belästigung durch Lärm hier für ...

- zumutbar ①
- unzumutbar ①

11

12. Nehmen wir an, dies sei ein Thermometer, mit dem man messen kann, wie stark Sie hier durch Lärm gestört werden. Der Wert 10 bedeutet, dass der Lärm unerträglich störend ist, der Wert 0 bedeutet, dass er Sie überhaupt nicht stört. Wie stark fühlen Sie sich persönlich hier durch Lärm gestört?

(Liste 7 vorlegen)

- ⑩ stört unerträglich
- ⑨
- ⑧
- ⑦
- ⑥
- ⑤
- ④
- ③
- ②
- ①
- ① stört überhaupt nicht

12

13.1 Was ist Ihrer Meinung nach der Hauptverursacher für diesen Lärm? (z.B. Nachbarn, Industrie, Landwirtschaft)

1. _____ 13.1

13.2 Gibt es noch weitere Geräusche, die auch störend sind, jedoch nicht so stark, wie der oben genannte Lärm?
(wenn ja, bitte möglichst genau beschreiben und wenn möglich Verursacher nennen)

2. _____ 13.2a

3. _____ 13.2b

4. _____ 13.2c

14. Bitte geben Sie an, wie stark Sie hier durch den Hauptverursacher einfügen belästigt werden: (Liste 8 vorlegen)

- | | | | | |
|-----------------|-------|-------------|-------|---------|
| überhaupt nicht | etwas | mittelmäßig | stark | äußerst |
| ① | ① | ② | ③ | ④ |

14

Überleitung: Wie steht es mit der Wahrnehmung von Gerüchen (z.B. Autoabgase, Abwasser, u.ä.) in Ihrer Nachbarschaft → Frage 15

15. Sind Gerüche hier in Ihrer Wohngegend wahrnehmbar? Wenn ja, wie stark wahrnehmbar sind die Gerüche?

(Liste 9 vorlegen)

- nicht wahrnehmbar ① → Weiter zu STATISTIK [Fragen s1 bis s15]
- gerade eben wahrnehmbar ①
- schwach wahrnehmbar ②
- deutlich wahrnehmbar ③
- stark wahrnehmbar ④

16. Glauben Sie, dass in Ihrer Wohngegend eine Belästigung der Anwohner durch diese Gerüche vorliegt?

- nein ⑩ wenn nein, ... → Weiter mit Frage 23
- ja ① wenn ja, ... → Weiter mit Frage 22

16

17. Halten Sie die Belästigung durch Gerüche in der Außenluft hier für ...

- zumutbar ⑩
- unzumutbar ①

17

18. Nehmen wir an, dies sei ein Thermometer, mit dem man messen kann, wie stark Sie hier durch Gerüche in der Außenluft gestört werden. Der Wert 10 bedeutet, dass die Gerüche unerträglich störend sind, der Wert 0 bedeutet, dass sie überhaupt nicht stören. Wie stark fühlen Sie sich persönlich hier durch Gerüche gestört?

(Liste 10 vorlegen)

⑩ stört unerträglich

⑨

⑧

⑦

⑥

⑤

④

③

②

①

⑩ stört überhaupt nicht

18

19.1 Bitte beschreiben Sie den Geruch, der am meisten stört, genau: wie und wonach riecht es außerhalb des Hauses im Umkreis von 500 m? (evtl. Hilfe zur Beschreibung geben: verbrannt, süßlich, stechend etc.)

1. _____

19.1

19.2 Was ist Ihrer Meinung nach der Hauptverursacher für diese Gerüche? (z.B. Nachbarn, Industrie, Landwirtschaft)

1. _____

19.2

19.3 Gibt es noch weitere Gerüche, die auch störend sind, jedoch nicht so stark, wie der oben genannte? (wenn ja, bitte möglichst genau beschreiben und wie und wonach es riecht)

2. _____

19.3a

3. _____

19.3b

4. _____

19.3c

20. Kommen wir zurück zu dem Geruch, der am meisten stört: Wie häufig war dieser Geruch in den letzten 12 Monaten außerhalb des Hauses im Umkreis von 500 m wahrnehmbar? (Liste 11 vorlegen)

- einmal im Monat und seltener ①
- zwei bis dreimal im Monat ②
- einmal in der Woche ③
- zwei bis dreimal in der Woche ④
- fast jeden Tag ⑤
- mehrmals am Tag ⑥

20

Kommentar zur Häufigkeit

(z.B. „es riecht häufig nur am Wochenende“, „nur abends“, „im Sommer ist es besonders schlimm“):

20x

21. Wie beurteilen Sie die **Intensität des Geruchs?** (Liste 12 vorlegen)

	durchschnittlicher Eindruck	stärkster Eindruck	Häufigkeit des stärksten Eindrucks
• gerade eben wahrnehmbar	①	①	selten ①
• schwach wahrnehmbar	②	②	gelegentlich ②
• deutlich wahrnehmbar	③	③	oft ③
• stark wahrnehmbar	④	④	immer ④ 21.3
• sehr stark wahrnehmbar	⑤	⑤	
• extrem stark wahrnehmbar	⑥ 21.1	⑥ 21.2	

22. Wie beurteilen Sie die **Qualität (angenehm vs. unangenehm) des Geruchs?** (Liste 13 vorlegen)

	äußerst unangenehm			weder noch				äußerst angenehm		
Eindruck:	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	
durchschnittlicher	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	22.1
unangenehmster	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	22.2
angenehmster	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	22.3

23. Bitte geben Sie an, wie stark Sie hier durch den Hauptverursacher einfügen **belästigt werden:** (Liste 14 vorlegen)

überhaupt nicht	etwas	mittelmäßig	stark	äußerst	
①	①	②	③	④	23

24. Hier finden Sie eine Reihe von **Auswirkungen von Gerüchen in der Außenluft.** (Liste 15 vorlegen)

Bitte geben Sie an, wie häufig die folgenden Wirkungen bei Ihnen **in den letzten 12 Monaten** auftraten:

	nie	selten	gelegentlich	oft	immer	
1. Ich kam ungerne nach Hause.	①	①	②	③	④	24.1
2. Ich war gereizt / schlecht gelaunt.	①	①	②	③	④	24.2
3. Ich konnte die Fenster nicht öffnen / nicht lüften.	①	①	②	③	④	24.3
4. Ich konnte die Wäsche nicht draußen aufhängen.	①	①	②	③	④	24.4
5. Es störte mich, wenn ich im Garten / auf dem Balkon saß.	①	①	②	③	④	24.5
6. Es störte mich bei meiner Freizeitbeschäftigung (z.B. Joggen)	①	①	②	③	④	24.6
7. Ich bekam gereizte Augen / eine gereizte Nase.	①	①	②	③	④	24.7
8. Ich bekam Kopfschmerzen.	①	①	②	③	④	24.8
9. Ich hatte Probleme beim Atmen.	①	①	②	③	④	24.9
10. Ich hatte Probleme mit dem Magen (Schmerzen, Aufstoßen).	①	①	②	③	④	24.10
11. Es hinderte mich am Einschlafen.	①	①	②	③	④	24.11
12. Ich wachte nachts davon auf.	①	①	②	③	④	24.12
13. Ich bekam ein Würgen im Hals, mir wurde übel.	①	①	②	③	④	24.13
14. Ich hatte keinen Appetit.	①	①	②	③	④	24.14
15. Sonstiges (Bitte näher erläutern): _____	①	①	②	③	④	24.15

25. Menschen reagieren ganz unterschiedlich auf Ihre Umwelt. (Liste 16 vorlegen) Deshalb möchte ich Sie jetzt fragen, wie Sie Ihre eigene Empfindlichkeit gegenüber Belastungen aus der Umwelt einschätzen.

Für wie empfindlich halten Sie selbst gegenüber . . . ?

	nicht	wenig	mittelmäßig	ziemlich	sehr	
1. Wettereinflüssen	⓪	①	②	③	④	25.1
2. Lärm allgemein	⓪	①	②	③	④	25.2
3. schlechter Luft und Gerüchen	⓪	①	②	③	④	25.3
4. alltäglichen Belastungen, wie z.B. Gedränge oder „Stress“ allgemein	⓪	①	②	③	④	25.4
5. Sonstiges: _____	⓪	①	②	③	④	25.5

26. Sie finden hier eine Reihe von Feststellungen, in denen verschiedene Einstellungen zur Umwelt im Allgemeinen beschrieben werden. (Liste 17 vorlegen) Bitte geben Sie an, wie sehr die jeweilige Aussage für Sie zutrifft.

	nicht	wenig	mittelmäßig	ziemlich	sehr	
1. Ich habe Angst vor der Zukunft, wenn ich an unsere Umwelt denke.	⓪	①	②	③	④	26.1
2. Unsere Nachkommen werden für die Folgen der Umweltbelastung büßen müssen.	⓪	①	②	③	④	26.2
3. Die Menschen haben die Kontrolle über die Auswirkungen der Technik auf die Umwelt verloren.	⓪	①	②	③	④	26.3
4. Je mehr Informationen ich über die Umweltbelastungen bekomme, desto unsicherer fühle ich mich.	⓪	①	②	③	④	26.4

27. Zum Schluss möchte ich Ihnen jetzt noch eine Frage zu Ihrem Wohlbefinden in dieser Nachbarschaft stellen: Würden Sie der Aussage zustimmen, dass Sie in einer friedlichen Nachbarschaft wohnen, oder hatten bzw. haben Sie schon mal Streit mit den Nachbarn?

- Nein, friedliche Nachbarschaft ⓪
 - Ja, ich/wir hatten/haben auch Streit . . . ① 27 _____ 27x
- Wenn ja, bitte kurz beschreiben?** (z.B. mit Landwirt wg. Gestank)

STATISTIK

Nun benötigen wir noch einige Angaben zu Ihrer Person, um die Antworten für verschiedene Personen- und Altersgruppen getrennt auswerten zu können. Selbstverständlich unterliegen auch diese Daten dem Datenschutz und werden - wie alle anderen Fragen auch - streng vertraulich behandelt.

- | | |
|---|--|
| <p>s1. Wann sind Sie geboren?
• ____ (Jahr) ____ (Monat) s1</p> <p>s2. Geschlecht
• männlich <input type="radio"/> ① • weiblich <input type="radio"/> ② s2</p> <p>s3. Familienstand
• ledig <input type="radio"/> ① • geschieden <input type="radio"/> ③
• verheiratet <input type="radio"/> ② • verwitwet <input type="radio"/> ④ s3
• Sonstiges: _____ <input type="radio"/> ⑤ s3x</p> <p>s4. Leben Sie mit einem Partner zusammen?
• nein <input type="radio"/> ① • ja <input type="radio"/> ② s4</p> <p>s9. Schulbildung (Liste 18 vorlegen)
① (noch) kein Schulabschluss
② Volks- / Hauptschulabschluss
③ Realschulabschluss / Mittlere Reife
④ Fachschulreife (kein Fachhochschulabschl.)</p> | <p>s5. Wie viele Personen gehören insg. zu Ihrem Haushalt?
• _____ (Anzahl) s5</p> <p>s6. Wie viele davon sind Kinder unter 18 Jahren?
• _____ (Anzahl) s6</p> <p>s7. Haben Sie Haustiere (Hund, Katze, Sittich)?
• nein <input type="radio"/> ① • ja <input type="radio"/> ② s7</p> <p>s8. Haben Sie Nutztiere (Hühner, Schafe, Ziegen)?
[nicht gewerblich, nur Hobby]
• nein <input type="radio"/> ① • ja <input type="radio"/> ② s8</p> <p>⑤ allg./fachgebundene Hochschulreife / Abi
⑥ Abgeschlossenes (Fach)Hochschulstudium
⑦ Promotion und mehr s9
⑧ Sonstiges: _____ s9x</p> |
|---|--|

s10. Wann wurde das Haus in dem Sie jetzt wohnen gebaut?

- _____ Baujahr s10

s11. Wohnen Sie zur Miete oder im Eigentum?

- Miete ① Eigentum ② s11

s12. Wie viele abgeschlossene Wohneinheiten gibt es in diesem Haus?

[Ein-/Zweifamilien- oder Mehrfamilienhaus]

- _____ Anzahl s12

s13. Wie viele Zimmer hat Ihre Wohnung?

[nur Wohnzimmer, Schlafzimmer]

- _____ Anzahl s13

s14. Wie viele Stunden verbringen Sie an einem normalen Werktag (Mo.-Fr.) außer Haus, weil Sie z.B. zur Arbeit gehen, einkaufen oder andere Dinge erledigen?

ca. _____ Stunden s14 [wenn mehr als 16 Stunden – nachfragen! 24h hat der Tag, minus 8h Schlaf = 16h]

s15. Sind Sie Mitglied in einem ortsansässigen Verein?

s15

- ① Nein
- ① Ja, passives Mitglied
- ② Ja, aktives Mitglied

Wenn ja, was für ein Verein ist das? (z.B. Gesangsverein)

s15x

s16. Könnten Sie sich vorstellen, sich in irgendeiner Form für die Angelegenheiten in Ihrer Nachbarschaft zu engagieren? Gemeint ist z.B. im sozialen Bereich, in der Kirchengemeinde oder auch in einer Bürgerinitiative.

- Nein, das kann ich mir nicht vorstellen. ① **Wenn aktiv, wo und wie?**
- Ja, das kann ich mir vorstellen. ①
- Ja, ich bin / war bereits aktiv. ② s16

s16x

s17. Nutzen Sie die Angebote der regionalen Direktvermarktung landwirtschaftlicher Lebensmittel?

s17

(z.B. ab Hof-Verkauf (Einkaufen direkt auf dem Bauernhof), Wochen-/Bauernmarkt, Einzelhandel (Bauernmarkthallen / Bauernläden), bäuerlicher Lieferservice direkt nach Hause, etc.)

Wenn ja, wo genau kaufen Sie ein?

- ① Nein
- ① Ja, ich kaufe . . .

s17x

s18. Beschäftigung: Sind oder waren Sie selbst oder ein Mitglied Ihres Haushaltes bei einem ortsansässigen Betrieb (Bäcker, Gaststätte, Landwirt, Fabrik, etc.) beschäftigt?

s18

- ① Nein.
- ① Ja, ich war . . .
- ② Ja, ich bin . . .

Wenn ja, bei was für einem Betrieb / eine Firma?

s12x

s19. Sind Sie zur Zeit erwerbstätig?

(s13 bis s15: Interviewer: Nicht vorlesen, Antworten zuordnen)

- ① vollzeit-erwerbstätig (35 Std./Woche oder mehr)
- ② teilzeit-erwerbstätig (15 – 34 Std./Woche)
- ③ teilzeit-/stundenweise erwerbstätig (bis zu 14 Std. / Woche)
- ④ Mutterschafts- / Erziehungsurlaub, sonstige Beurlaubung; Wehr-/ Zivildienstleistender
- ⑤ Auszubildende(r) / Lehrling / Umschüler(in) / Schüler / Student
- ⑥ Rentner/in, im Vorruhestand
- ⑦ zur Zeit nicht erwerbstätig (einschl.: Studenten, die nicht gegen Geld arbeiten, Arbeitslose, Null-Kurzarbeit) s19
- ⑧ aus anderen Gründen nicht erwerbstätig: _____ s19x

s20. Berufsbezeichnung:

s20

s21. Zu welcher Berufsgruppe gehört der Beruf, den Sie selbst zur Zeit ausüben bzw. zuletzt ausgeübt haben?

<u>Selbständige</u>	01	Kleinere / mittlere Selbständige (z.B. Einzelhändler, Handwerker mit eigenem Betrieb)
	02	Größere Selbständige (z.B. Fabrikbesitzer, Inhaber eines großen Betriebes)
<u>Angestellte</u>	03	ausführende/r oder mittlere/r Angestellte/r (z.B. Sekretärin, Sachbearbeiter, Buchhalter)
	04	Leitende/r Angestellte/r (z.B. Abteilungsleiter, Geschäftsführer)
<u>Beamte / Soldaten</u>	05	einfacher / mittlerer Dienst (z.B. Hauptsekretär, Stabsfeldwebel)
	06	gehobener Dienst (z.B. Inspektor, Hauptmann)
	07	höherer Dienst (z.B. Regierungsrat, Major)
<u>Arbeiter</u>	08	ungelernte und angelernte (ohne Lehre)
	09	Facharbeiter, Handwerker (mit Lehre) aber nicht <u>selbständige Handwerker / Meister</u>
<u>Sonstige</u>	10	Selbständige Landwirte
	11	freie Berufe (z.B. Ärzte, Anwälte)

s21

s22. Wie hoch ist Ihr monatliches Netto-Einkommen, d.h. Ihr Einkommen nach Abzug der Steuern? (Liste 19 vorlegen)

- ⓪ keine Angabe ① < 1000 € ② 1000 € - 2000 € ③ 2000 € - 3000 € ④ > als 3000 €

s22

Kommentar zum Interview-Verlauf, Besonderheiten: