

Endbericht

Konzept eines empirischen Verfahrens zur Abschätzung von Geruchsemissionen von Stallungen und deren Bewertung

BMLFUW-UW.1.3.3/0011-V/4/2007

Pilotprojekt im Rahmen der
AG Immissionen aus der Nutztierhaltung

Günther Schaubberger, Martin Piringer, Erwin Petz, Gabriele Rau

Wien, im November 2007

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Das Ausbreitungsmodell: Austrian Odour Dispersion Model (AODM)	6
	2.1 Ausbreitungsmodell	6
	2.2 Abschätzung der Geruchskonzentrationsmaxima.....	6
	2.3 Geruchsbewertungskriterien	9
3	Modellannahmen	10
	3.1 Emissionen	10
	3.2 Immissionsbewertung	11
4	Meteorologische Daten	12
	4.1 Windrichtung.....	12
	4.2 Windgeschwindigkeit	13
	4.3 Ausbreitungsklassen.....	15
5	Empirisches Abstandsmodell.....	18
	5.1 VDI-Modell.....	18
	5.2 Diskretes Modell	19
6	Ergebnisse.....	20
	6.1 Ergebnisse des Ausbreitungsmodells.....	20
	6.2 VDI-Modell.....	20
	6.3 Diskretes Modell	22
	6.4 Modellvergleich.....	29
	6.5 Modellgüte	33
	6.6 Vergleich der Schutzabstände von Punktquellen und Flächenquellen	43
	6.7 Vergleich des empirischen Abstandsmodells mit der österreichischen Richtlinie.....	47
7	Zusammenfassung	54
8	Literatur.....	55

1 Einleitung

In der 3. Sitzung des AG „Immissionen aus der Nutztierhaltung“ wurde ein Konzept über den Aufbau der Richtlinie sowie die dazu notwendige Vorgangsweise präsentiert (*„Konzept eines empirischen Verfahrens zur Abschätzung von Geruchsimmissionen von Stallanlagen und deren Bewertung“*). Ein wesentliches Element der überarbeiteten Richtlinie ist eine empirische Abstandsfunktion, die in Abhängigkeit von der Quellstärke und der Meteorologie einen Abstand festlegt, in dem ein vorgegebener Immissionsschutz gewährleistet werden kann. Diese Abstandsfunktion wird durch ein Regressionsmodell berechnet. Die Datengrundlage für die Parameterbestimmung liefert ein Ausbreitungsmodell. Die im Konzept vorgeschlagene Vorgangsweise wurde in der vorliegenden Pilotstudie auf ihre Machbarkeit untersucht.

Die Pilotstudie ermöglicht, die erforderlichen Berechnungen für die Festlegung der empirischen Abstandsfunktion zu planen und dadurch eine ökonomisch sinnvolle Vorgangsweise zu gewährleisten. Notwendige Erweiterungen bzw. Einschränkungen lassen sich auf Basis der Ergebnisse der Pilotstudie abschätzen, um dadurch eine höhere Planungssicherheit zu erreichen.

Im Rahmen der Pilotstudie wurden folgende Aspekte untersucht:

1. Einfluß der Quellkonfiguration (Punktquelle vs. diffuse Flächenquelle)
2. Einfluß der Quellstärke (am Beispiel von 500, 2000 und 8000 GE/s)
3. Einfluß der Überschreitungshäufigkeit (0, 3, 8 und 15%)

2 Das Ausbreitungsmodell: Austrian Odour Dispersion Model (AODM)

Die Modellberechnungen wurden mit der vorliegenden Version des Austrian Odour Dispersion Model AODM durchgeführt. Das Modell ist im Detail in Schauburger et al. (2000, 2001a und 2001b) beschrieben.

2.1 Ausbreitungsmodell

Das im AODM verwendete Ausbreitungsmodell ist das in Österreich für Begutachtungen eingesetzte Gauß'sche Ausbreitungsmodell der ÖNorm M 9440 (1992/96), das von Kolb (1981) ausführlich beschrieben wurde. Bei dem Modell handelt es sich um ein Gauß'sches Fahnenmodell für Schornsteinemissionen und Entfernungen bis 15 km. Die Schornsteinüberhöhung im Modell wird aus einer Kombination von Formeln von Carson und Moses (1969) und Briggs (1975) bestimmt. Die Ausbreitungsklassen werden unter Verwendung von Streuungsparametern nach Reuter (1970) als Funktion der halbstündigen mittleren Windgeschwindigkeit und einer Kombination aus Sonnenhöhe und Bedeckungsgrad berechnet.

Eine Evaluierung des Gauß-Modells erfolgte anhand internationaler Musterdatensätze aus Kincaid, USA (Pechinger und Petz, 1995) und Kopenhagen und Lillestrøm (Pechinger und Petz, 1997) mit einem Statistikpaket von Olesen (1994) und Hanna et al. (1991). Der Vergleich mit den Datensätzen aus Kincaid und Kopenhagen ergab eine gute Übereinstimmung mit den Meßdaten bzw. eine Überschätzung der Messergebnisse um den Faktor 2. Die Bedingungen in Lillestrøm (winterliche Inversionswetterlage mit Schneedecke und schwachem Wind) waren zu komplex, um mit Gaußmodellen korrekt erfaßt werden zu können.

Das Ausbreitungsmodell liefert Halbstundenmittelwerte der Geruchskonzentrationen in ebenem oder leicht orographisch modifiziertem Gelände, wobei gemäß der zitierten ÖNorm windschwache Lagen, Temperatur - Inversionen sowie die orographische Modifikation nach Kolb (1981) berücksichtigt werden.

2.2 Abschätzung der Geruchskonzentrationsmaxima

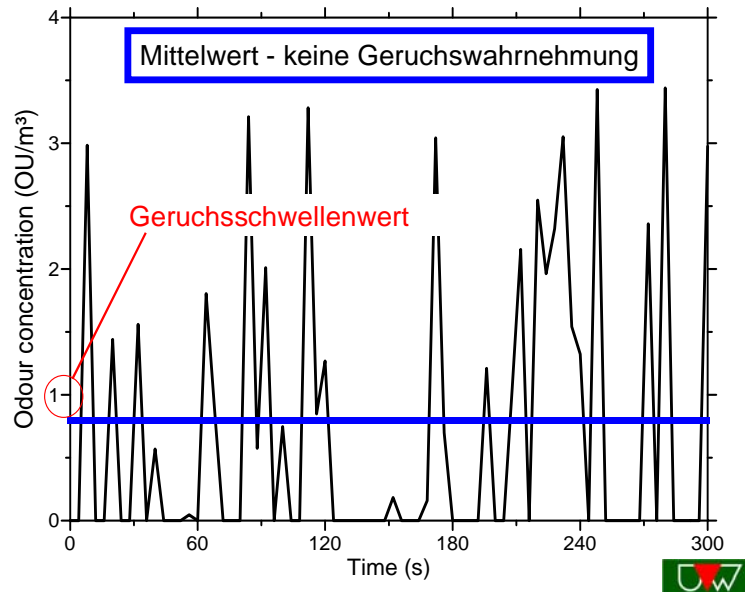
Für die Geruchsrezeption durch den Menschen sind nicht Halbstundenmittelwerte von Geruchskonzentrationen, sondern kurzfristig - im Bereich von wenigen Sekunden -

auftretende Spitzenwerte von Bedeutung. Die Parameterisierung des Verhältnisses von Spitzen- zu Mittelwert ("peak-to-mean") erfolgt im AODM in Abhängigkeit von den meteorologischen Bedingungen (Schauberger et al., 2000a) und geht damit über einfachere, aber weit verbreitete Ansätze hinaus, die einen konstanten Faktor annehmen. Diese Parameterisierung ergibt im Nahbereich der betrachteten Anlage die erwarteten hohen Momentankonzentrationen.

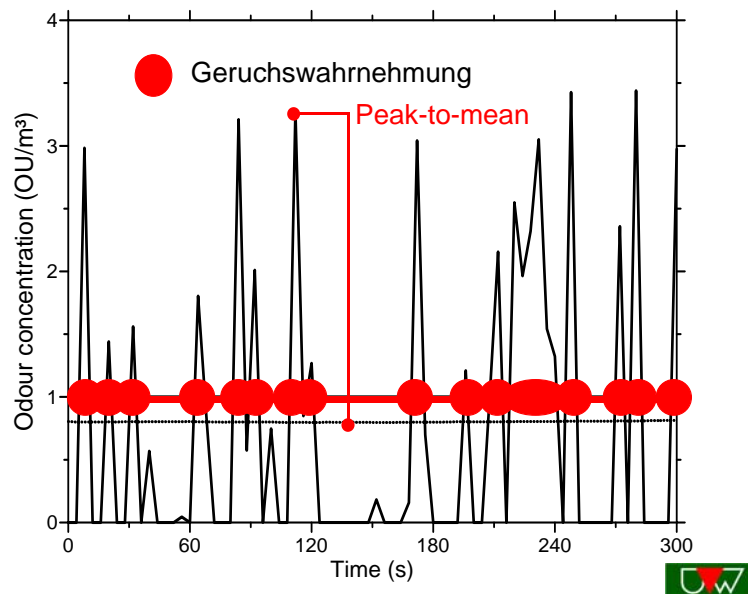
Das peak-to-mean - Verhältnis, also das Verhältnis von Konzentrationsmittelwert über ein vorgegebenes Integrationsintervall zum Maximalwert, wird mathematisch wie folgt beschrieben:

$$\frac{C_p}{C_m} = \left(\frac{t_m}{t_p} \right)^u$$

Dabei ist C_m die mittlere Konzentration über die Integrationszeit t_m (Mittelwert z. B. über eine halbe Stunde), C_p der Momentanwert über eine Integrationszeit t_p , z. B. über einen einzelnen Atemzug (5 Sekunden). Der Exponent u ist von der atmosphärischen Stabilität (Ausbreitungsklassen; ÖNorm M 9440, 1992/96) abhängig. Die somit erhaltenen peak-to-mean-Verhältnisse gelten für den Nahbereich um die Emissionsquelle; mit zunehmender Entfernung von der Quelle nehmen sie wegen der turbulenten Durchmischung der Atmosphäre ab. In der vorliegenden Version des AODM wird diese Abnahme nach einem Ansatz von Mylne und Mason (1991) mit Hilfe einer exponentiellen Abklingfunktion, die von der Windgeschwindigkeit und der Ausbreitungsklasse abhängt, parameterisiert. Die Details dazu sind bei Schauburger et al. (2000) zu finden.



a



b

Abb. 1 Schematischer Verlauf der Konzentration der Geruchsimmission über einen Zeitraum von 5 Minuten. (a) Zusammenhang zwischen dem Mittelwert und der Wahrnehmungsschwelle. (b) Auftreten von Geruchsereignissen, obwohl der Mittelwert unterhalb der Wahrnehmungsschwelle liegt.

2.3 Geruchsbewertungskriterien

Die Modellergebnisse müssen anhand von vorgegebenen Kriterien bewertet und beurteilt werden. Diese Geruchsbewertungskriterien orientieren sich vor allem an den sogenannten FIDO-Faktoren (frequency, intensity, duration, offensiveness), die die Frequenz der Geruchswahrnehmung, die Intensität, die Dauer und den Belästigungsgrad beinhalten. Da nicht für alle Faktoren die Kriterien bekannt sind, die zur Abgrenzung von Geruchsbelästigungen herangezogen werden können, werden zumeist nur zwei dieser Faktoren herangezogen: Einerseits die Intensität der Immissionskonzentration in Form eines Schwellenwertes und eine zulässige Überschreitungshäufigkeit des jeweiligen Schwellenwertes.

Für die vorliegende Untersuchung wurde als Schwellenwert 1 GE/m³ gewählt. Die Überschreitungshäufigkeiten orientieren sich an den Schutzansprüchen.

3 Modellannahmen

3.1 Emissionen

In Erweiterung des Exposés werden die Berechnungen nicht nur für zwei Quellstärken (1000 und 4000 GE/s) sondern für drei Quellstärken mit 500, 2000 und 8000 GE/s vorgenommen. Weiters wurde eine andere Abstufung gewählt, um auch kleinere Ställe berücksichtigen zu können. In Tab. 1 sind einige charakteristische Kennzahlen für verschiedene Tierarten bzw. Haltungsverfahren zusammengefaßt, die sich aus der Geruchstoffemission ableiten lassen.

Tab. 1: Abschätzung der Tierzahl N für einige Tierarten und Haltungsverfahren für die geplante Quellstärke G der durchzuführenden Ausbreitungsrechnungen

G (GE/s)	Mastschweine bis 110 kg	Legehennen Bodenhaltung	Masthähnchen	Rinder / Kühe
500	85	5051	3106	35
2000	342	20202	12422	139
8000	1368	80808	49689	556
Spezifischer Emissionsfaktor ¹ (GE / s GV)	(30 - 50)	30 - 60	60 - 170	(8.5 - 17)
Spezifischer Emissionsfaktor ² (GE / s GV)	45	45	115	12
Tierspezifischer Emissionsfaktor (GE/s)	5.85	0.099	0.161	14.4
Mittlere Tiermasse (kg)	65	1.1	0.7	600
Normierte Tiermasse (GV)	0.13	0.0022	0.0014	1.2
Tierspezifischer Flächenbedarf (m ²)	1			13

¹ Bereichsangabe für Konventionenwerte aus dem Entwurf der VDI 3894

² Konventionenwerte aus dem Entwurf der VDI 3894 (Berechnet aus der Bereichsangabe; fett Angabe aus der VDI)

Für die Form der Quellgeometrie wurden zwei Annahmen getroffen. Die erste Form der Quelle wurde als Punktquelle mit einer Emissionshöhe von 6 m behandelt, wobei keine Überhöhung angenommen wurde. Die zweite Quellgeometrie nimmt die maximale Ausdehnung in Form einer Flächenquelle an. Die Flächenquelle wurde für eine

Milchkuhhaltung berechnet, da für diese Tierart und Haltungsbedingung das Verhältnis von Flächenbedarf zu Geruchstoffemission am größten ist. Die sich daraus ergebende Stallfläche wurde im Verhältnis 1:3 geteilt. In Tab. 2 sind die wesentlichen Parameter der Flächenquelle zusammengefaßt.

Tab. 2: Bestimmung der Flächenquelle für Milchkuhhaltung

G (GE/s)	Zahl der Rinder / Kühe	Flächenbedarf (m ²)	Länge (m)	Breite (m)
500	35	451	37	12
2000	139	1806	74	25
8000	556	7222	147	49

3.2 Immissionsbewertung

Der Belästigungsgrad der Geruchswahrnehmung wird durch die Häufigkeit beschrieben, mit der eine vorgegebene Geruchsstoffkonzentration überschritten wird. Diese Kombination aus dem Grenzwert der Geruchskonzentration und seiner Überschreitungswahrscheinlichkeit wird als Geruchsbewertungskriterium bezeichnet. Als Grenzwert wurde die Geruchsschwelle mit einer Konzentration von 1 GE/m³ herangezogen. Unter dem Geruchsschwellenabstand wird dann der Abstand zwischen Geruchsquelle und dem Rezeptorpunkt verstanden, an dem während einer halben Stunde das Erreichen der Geruchsschwelle von 1 GE/m³ zu erwarten ist. Der Geruchsschwellenabstand liegt dann in Windrichtung von der Quelle. Neben der Geruchsschwelle können auch andere Grenzwerte herangezogen werden, so z.B. die Erkennungsschwelle bei etwa 3 GE/m³ oder die Belästigungsschwelle bei 5 GE/m³. Bei einer Geruchskonzentration von etwa 3 GE/m³ tritt nicht nur die Wahrnehmung des Geruchs auf, sondern die Qualität (Art des Geruchs) kann bereits erkannt und zugeordnet werden.

Durch die Richtlinie selbst soll keine Bewertung der Immission erfolgen. Die Richtlinie liefert für unterschiedliche Überschreitungswahrscheinlichkeiten h_G die Entfernung S , in der erwartet werden kann, daß die Geruchsschwelle erreicht wird. Die gewählten Überschreitungshäufigkeiten orientieren sich an international üblichen Grenzwerten sowie jenen der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Folgende Grenzwerte wurden zur Diskussion vorgeschlagen: 2% (Bagatellgrenze der TA Luft), 3% (ÖAW), 5%, 10% (GIRL), 15% (GIRL), 20%, 30% und 40%. Als Geruchsschwellenwert wird für die Ausbreitungsrechnung 1 GE/m³ vorgeschlagen. Für die Pilotstudie wurden folgende Überschreitungshäufigkeiten gewählt: 0% entsprechend der maximalen Entfernung, in der eine Geruchswahrnehmung angenommen werden kann, sowie 3 %, 8 % und 15 %.

4 Meteorologische Daten

Die meteorologischen Daten, die für die Ausbreitungsrechnung verwendet wurden, sind an einem Standort in Wels gemessen worden. Die Stadt Wels in Oberösterreich ist ein regionales Einkaufs- und Geschäftszentrum mit etwa 50.000 Einwohnern. Die Umgebung ist relativ flach und wird größtenteils landwirtschaftlich genutzt. Dieses Gebiet ist typisch für das nördliche Alpenvorland. Dieses Flachland (200m bis 400m über Meeresebene) ist durch ein gemäßigtes Klima mit maritimen und kontinentalen Einflüssen gekennzeichnet. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt zwischen 9°C und 10°C. Niederschläge sind über das ganze Jahr verteilt und kulminieren bei den Gewittern im Sommer. Im Osten des Alpenvorlands liegt die Gesamtniederschlagsmenge bei etwa 700 mm, im Westen bei etwa 1000 mm. Im allgemeinen ist der Standort gut durchlüftet, die mittleren Windgeschwindigkeiten liegen im Bereich von 2 bis 4 m/s. Die Hauptwindrichtungen sind Ost und West mit Ausnahme von Tälern, die eine Nord-Süd - Ausrichtung aufweisen.

Die mittlere Jahrestemperatur für Wels liegt bei 9.7°C. Innerhalb des 2-Jahres-Intervalls der verwendeten Meßdaten schwankte die gemessene Lufttemperatur zwischen -14.9°C und 35.3°C. Die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge beträgt 838 mm (Mittelwert berechnet über den Zeitraum von 1961 bis 1990).

Die meteorologischen Daten wurden als 30 Minuten - Werte über einen Zeitraum von zwei Jahren gesammelt, und zwar vom 30. Jänner 1992 bis zum 31. Jänner 1994. Die gewonnenen meteorologischen Parameter sind Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur, Feuchtigkeit, Bedeckungsgrad und Ausbreitungsklasse.

4.1 Windrichtung

Die Unterteilung der Windrichtungen erfolgte in 8 Windrichtungsklassen (Tabelle 5.1). Die Häufigkeit der auftretenden Windrichtungen variiert zwischen 2% (Nordwind) und 34% (Westwind) (Tabelle 5.1). West- und Ostwind sind die Hauptwindrichtungen mit zusammen rund 60%. Westwind geht häufig mit Tiefdruckwetter, Ostwind häufig mit Hochdruckwetter einher. Die in geringerem Ausmaß auftretenden nördlichen und südlichen Winde weisen starke tagesperiodische Schwankungen auf, die als Ausläufer des Almtal - Windsystems gedeutet werden können (dabei ist Nordwind überwiegend tagsüber auftretender Taleinwind, Südwind überwiegend nachts vorkommender Talauswind).

Tab. 3: Einteilung der Windrichtungsklassen

Klasse	Windrichtung	Klassenbreite	Absolut Häufigkeit	Relative Häufigkeit (%)
0	N	337.5° bis 22.5°	905	2.58
1	NE	22.5° bis 67.5°	2383	6.78
2	E	67.5° bis 112.5°	9086	25.86
3	SE	112.5° bis 157.5°	1202	3.42
4	S	157.5° bis 202.5°	1917	5.46
5	SW	202.5° bis 247.5°	5488	15.62
6	W	247.5° bis 292.5°	11989	34.13
7	NW	292.5° bis 337.5°	2165	6.15

4.2 Windgeschwindigkeit

Die mittleren Windgeschwindigkeiten (Tab. 4) variieren mit der Windrichtung. Die orographischen Windrichtungen (N, NE, SE und S) zeigen im Durchschnitt niedrigere mittlere Geschwindigkeiten (um 1.4 m/s) als die vorwiegend durch die großräumige Druckverteilung bedingten westlichen und östlichen Winde (≈ 2.1 m/s bis 3.7 m/s). Auch Standardabweichung und maximale Geschwindigkeiten unterscheiden sich, wie auch die Häufigkeitsverteilung zeigt (Abb. 2).

Tab. 4: Statistische Parameter der Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Windrichtung. (Mittelwert, SD Standardabweichung, Max Maximalwert, relative Häufigkeit)

WR	Mittelwert (m/s)	SD (m/s)	Max (m/s)	Relative Häufigkeit (%)
N	1.46	0.944	6.4	2.58
NE	1.47	0.834	6.9	6.78
E	2.57	1.572	9.4	25.86
SE	1.41	1.083	8.3	3.42
S	1.38	0.952	8.6	5.46
SW	2.37	1.590	10	15.62
W	3.72	2.192	14.7	34.13
NW	2.12	1.298	9.7	6.15

Die Windgeschwindigkeit erreicht bei Westwind ihr Maximum mit 14.7 m/s. Am häufigsten treten für alle Windrichtungen Windgeschwindigkeiten von unter 2 m/s auf

(Abb. 2). Für die Windrichtungen N, SE und S liegt das Häufigkeitsmaximum unter 1 m/s. Die Häufigkeit für Windgeschwindigkeiten über 5 m/s liegt unter 10%.

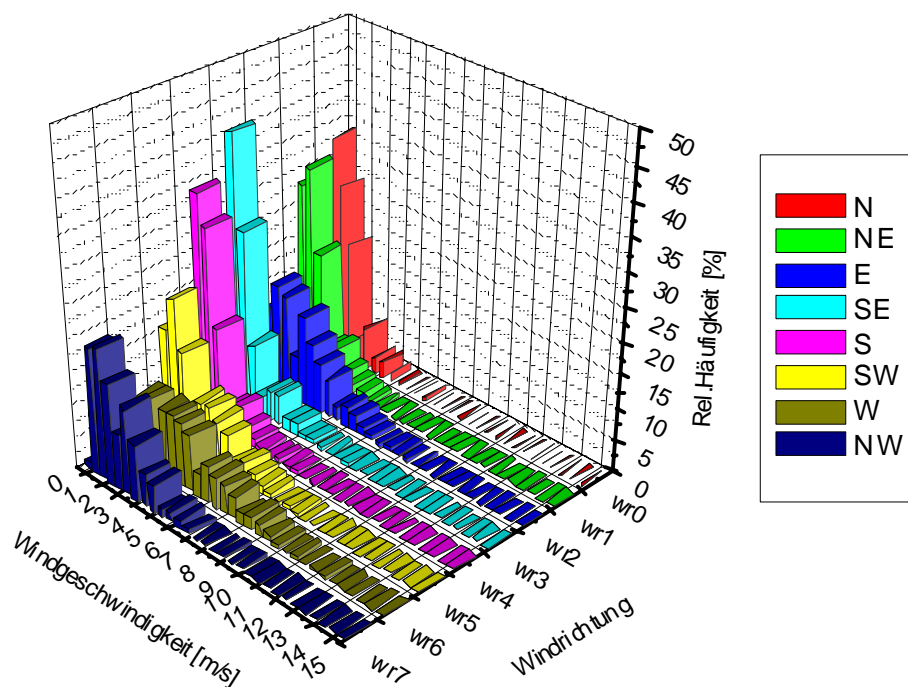
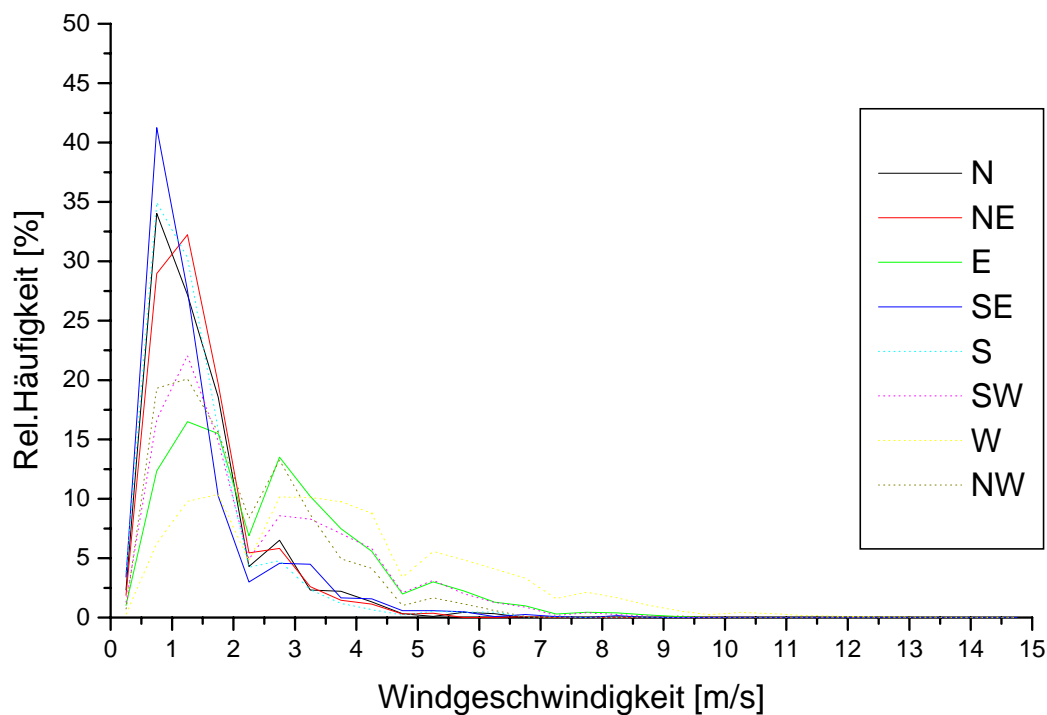


Abb. 2 Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Windrichtung.

4.3 Ausbreitungsklassen

Die Ausbreitungsklassen werden aus den Halbstundenmittelwerten der Windgeschwindigkeit und einer Kombination von Sonnenhöhe und Bedeckungsgrad gemäß ÖNorm M 9440 (1992/96) bestimmt. Der Bedeckungsgrad wurde am Flughafen Linz-Hörsching (13 km östlich von Wels) beobachtet. Bei unserem zu untersuchenden Fall kommen Ausbreitungsklassen (ABKL) 2 bis 7 vor.

ABKL 2 und 3 kommen per Definition nur am Tag bei guten vertikalen Austauschbedingungen vor. Mit ABKL 3 werden zusätzlich auch Fälle mit höheren Windgeschwindigkeiten und stärkerer Bewölkung erfaßt. ABKL 4 repräsentiert bewölkte und/oder windige (vor allem 2 bis 3 m/s, ab 6 m/s kommt nur noch ABKL 4 vor) Bedingungen mit Niederschlag oder Nebel und kommt bei Tag und Nacht vor. ABKL 5 gilt bei höheren Windgeschwindigkeiten (2 bis 5 m/s) in Nächten mit geringer Bewölkung. ABKL 6 und 7 sind relevant in klaren Nächten mit Bodeninversion, erzeugt durch nächtliche Ausstrahlung.

Tab. 5: Relative Häufigkeit der Ausbreitungsklassen ABKL in Abhängigkeit von der Windrichtung.

ABKL	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Ges
2	29.39	24.00	9.76	13.14	9.18	5.52	6.10	24.67	15.22
3	27.96	26.31	19.56	22.46	15.08	10.73	10.41	26.10	19.82
4	27.96	28.91	37.04	30.03	19.46	34.31	60.66	38.11	34.56
5	0.44	0.50	4.039	1.75	1.88	10.06	8.97	0.79	3.55
6	7.51	8.98	13.61	13.73	17.79	15.58	8.22	5.91	11.42
7	6.74	11.29	15.99	18.89	36.62	23.80	5.65	4.43	15.43

Die Häufigkeit der Ausbreitungsklassen ist nicht gleichverteilt. Am häufigsten ist die einzige tagsüber und nachts vorkommende ABKL 4 (rund 35 %). Die tagsüber auftretenden Klassen kommen ebenfalls etwa zu 35 %, die nachts auftretenden Klassen 5 bis 7 zu rund 30 % vor. Weiters variiert die Häufigkeit auch mit der Windrichtung. Während z. B. bei der Windrichtung N (Taleinwind, der tagsüber vorherrscht) der Anteil der Klassen 2 bis 4 fast 86% ausmacht, sind es bei Südwind (Talauswind, der nachts vorherrscht) nur mehr 43%; dafür kommen die nachts auftretenden Klassen dann zu über 50 % vor. Erwartungsgemäß tritt die mit Schlechtwetter einhergehende ABKL 4 am ehesten mit Westwind auf.

Tab. 6 zeigt die Häufigkeit sämtlicher zugelassener Kombinationen von Ausbreitungsklasse und Windgeschwindigkeit. Windgeschwindigkeiten über 6 m/s gehen ausschließlich mit Klasse 4 einher. Bei Geschwindigkeiten unter 1 m/s dominiert

Klasse 7, darüber immer Klasse 4, wobei die Anteile der anderen Klassen mit zunehmender Geschwindigkeit abnehmen.

Tab. 6: 2-dimensionale Häufigkeitsverteilung der Ausbreitungsklassen 2 bis 7 und der Windgeschwindigkeiten in m/s für Wels.

Windgeschwindigkeit [m/s]	Ausbreitungsklassen					
	2	3	4	5	6	7
< 1.0	1.3	3.5	4.2	-	4.1	7.1
1.0 - 1.9	4.4	5.5	7.9	-	3.5	5.9
2.0 - 2.9	3.0	3.9	9.1	3.0	2.2	0.7
3.0 - 3.9	1.0	1.9	9.1	2.5	1.2	-
4.0 - 4.9	0.5	0.8	6.3	0.4	-	-
5.0 - 5.9	-	0.5	3.1	-	-	-
6.0 - 6.9	-	-	2.2	-	-	-
≥ 7	-	-	1.2	-	-	-

Weiters ändern sich die Häufigkeiten der Ausbreitungsklassen auch mit der Jahreszeit (Tab. 7). Die deutlichste Abhängigkeit zeigt Klasse 2 mit sehr geringen Häufigkeiten für die Herbst- und Wintermonate und hohen Häufigkeiten im Sommer. Dies gilt abgeschwächt auch für die Klasse 3. Für die "Schlechtwetter" - Klasse 4 ergibt sich hingegen erwartungsgemäß ein verstärktes Auftreten im Herbst und Winter. Die nachts vorkommenden Klassen 5 bis 7 zeigen keine so starke bzw. regelmäßige Abhängigkeit von der Jahreszeit. Hier sind offenkundig dominante Witterungsphasen (lange Hochdrucklagen, langes Schlechtwetter, etc.) für die Häufigkeiten in den einzelnen Monaten ausschlaggebend.

Tab. 7: Relative Häufigkeit der Ausbreitungsklassen im Jahresverlauf

Monat	Ausbreitungsklassen					
	2	3	4	5	6	7
1	3.5	13.0	42.1	8.6	14.8	18.0
2	5.3	10.7	53.1	6.6	8.6	15.6
3	7.8	12.5	48.2	6.9	11.0	13.6
4	11.9	18.1	38.8	7.4	10.0	13.8
5	20.9	22.4	23.9	4.1	12.2	16.5
6	16.0	22.6	34.2	5.0	10.6	11.7
7	16.7	23.8	31.8	6.0	7.9	13.8
8	25.3	19.6	19.8	3.9	11.2	20.2
9	12.8	17.3	32.4	6.0	10.0	21.5
10	1.9	15.9	51.5	6.0	13.6	11.0
11	0.5	9.0	64.9	5.8	13.8	6.0
12	1.0	7.8	66.8	6.1	11.7	6.5

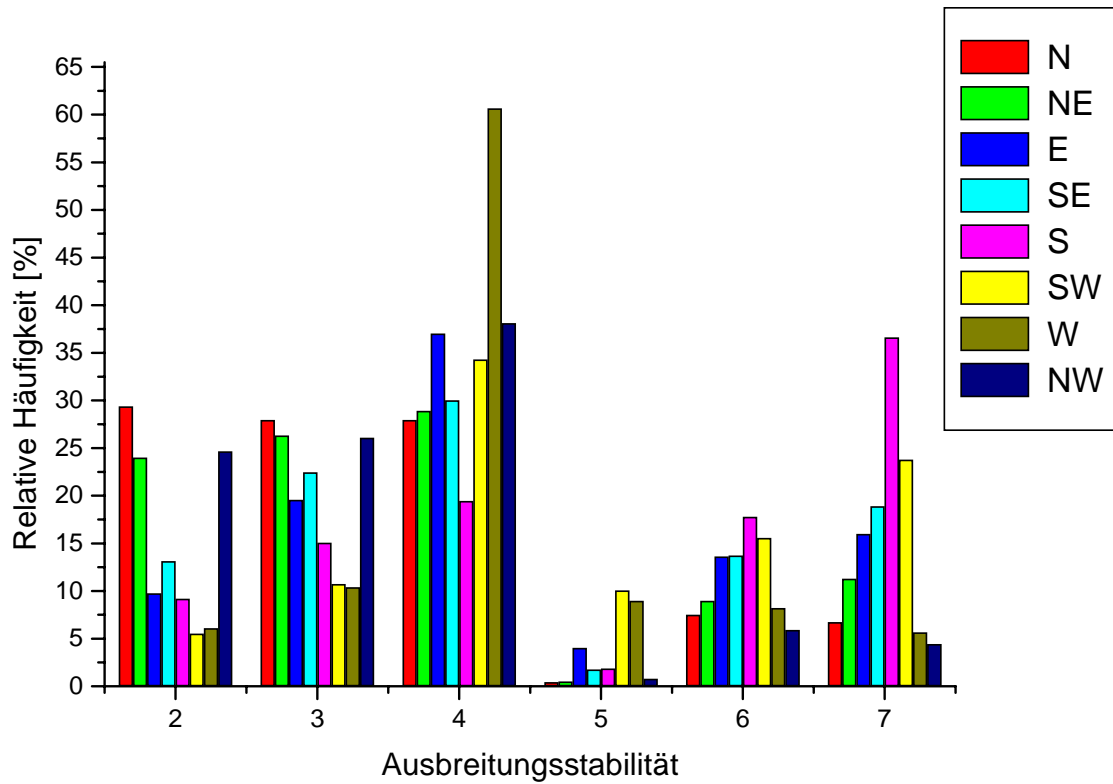


Abb. 3 Relative Häufigkeit der Ausbreitungsklassen ABKL in Abhängigkeit von der Windrichtung.

5 Empirisches Abstandsmodell

Das Ziel des Pilotprojekts war die Prüfung, ob mit Hilfe eines einfachen Regressionsmodells die Möglichkeit besteht, den Schutzabstand durch einige wenige Prädiktoren zu berechnen.

Als allgemeines Regressionsmodell wurde eine Potenzfunktion der Form

$$S = a G^b$$

gewählt, mit der Quellstärke G (GE/s), dem Schutzabstand S (m) und den beiden Koeffizienten des Regressionsmodells a und b .

Die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung wurden als Datengrundlage für die Bestimmung der Koeffizienten des Regressionsmodells herangezogen. Die Koeffizienten wurden nach zwei unterschiedlichen Methoden berechnet.

5.1 VDI-Modell

Die erste Methode basiert auf Vorarbeiten der derzeit aktiven VDI-Arbeitsgruppe 3894 *Minderung der Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen*, in der einer der Autoren (GS) mitarbeitet.

Der VDI-Ansatz beschreibt die beiden Koeffizienten a und b in Abhängigkeit von der Windrichtungshäufigkeit h_W und dem Schutzanspruch, der durch die Überschreitungshäufigkeit der Geruchswahrnehmung h_G festgelegt wird, nach

$$a = f(h_G, h_W)$$
$$b = f(h_G)$$

Die gewählten Funktionen zur Beschreibung des funktionellen Zusammenhangs lauten

$$a = h_W (a_a h_G + b_a) + c_a h_G + d_a$$
$$b = \frac{1}{a_b + b_b h_G}$$

Die Koeffizienten werden mit Hilfe der Ausbreitungsrechnung angepaßt, wobei als

Kostenfunktion die Summe der Abweichungsquadrate gewählt wurde („VDI-Modell“, siehe Abschnitt 6.1).

5.2 Diskretes Modell

Bei der zweiten Methode werden die beiden Koeffizienten des Regressionsmodells für alle Windrichtungshäufigkeiten h_W und Überschreitungshäufigkeiten der Geruchswahrnehmung h_G getrennt berechnet („Diskretes Modell“, siehe Abschnitt 6.2). Daher liegen die Koeffizienten a und b der empirischen Abstandsfunktion für insgesamt 4 Werte der Geruchswahrnehmung h_G sowie für 11 Klassen der Windrichtungshäufigkeit h_G vor. Das bedeutet, daß für das diskrete Modell insgesamt 44 Regressionen für das vorliegende Pilotprojekt erstellt wurden.

6 Ergebnisse

6.1 Ergebnisse des Ausbreitungsmodells

Die Daten des Ausbreitungsmodells AODM stellen die Grundlage für die Regressionsanalyse durch das VDI-Modell bzw. durch das diskrete Modell dar. Für das Pilotprojekt lagen insgesamt 4320 Berechnungen des Schutzabstandes vor (360 Windrichtungsklassen x 3 Quellstärken (500, 2000 und 8000 GE/s) x 4 Überschreitungshäufigkeiten der Geruchswahrnehmung (0, 3, 8 und 15%)). Aufgrund der Tatsache, daß das AODM auf einem Gaußmodell basiert, wurden bei einem Abstand von unter 50 m, bei dem eine vorgegebene Geruchshäufigkeit überschritten wurde, dieser Datenpunkt verworfen. Dadurch reduziert sich der Datensatz auf 3854 Datenpunkte für die Punktquelle und 4025 Datenpunkte für die Flächenquelle.

6.2 VDI-Modell

Für das VDI Modell ergeben sich die Koeffizienten für die beiden Quellkonfigurationen der Punktquelle und der Flächenquelle gemäß Tab. 8.

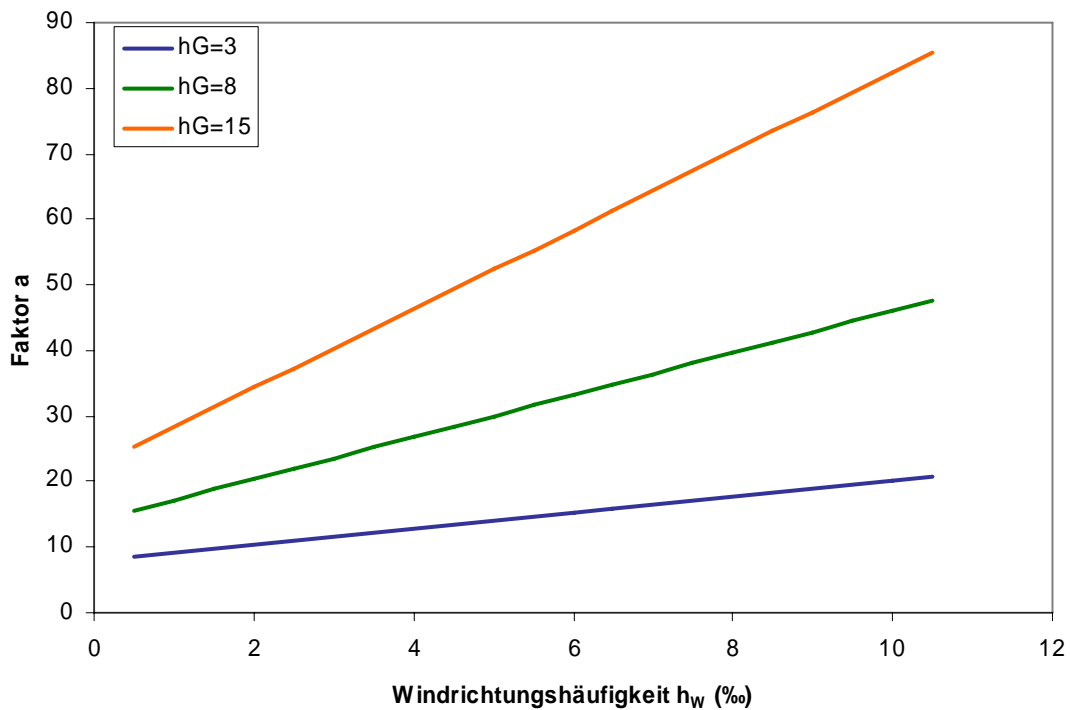
Tab. 8: Koeffizienten des VDI-Modells für eine Punktquelle und eine Flächenquelle

Koeffizienten	Punktquelle	Flächenquelle
a_a	0.3998	0.376
b_a	0.0093	0.013
c_a	1.1940	1.656
d_a	4.4123	4.587
a_b	0.3946	0.399
b_b	1.3392	1.353

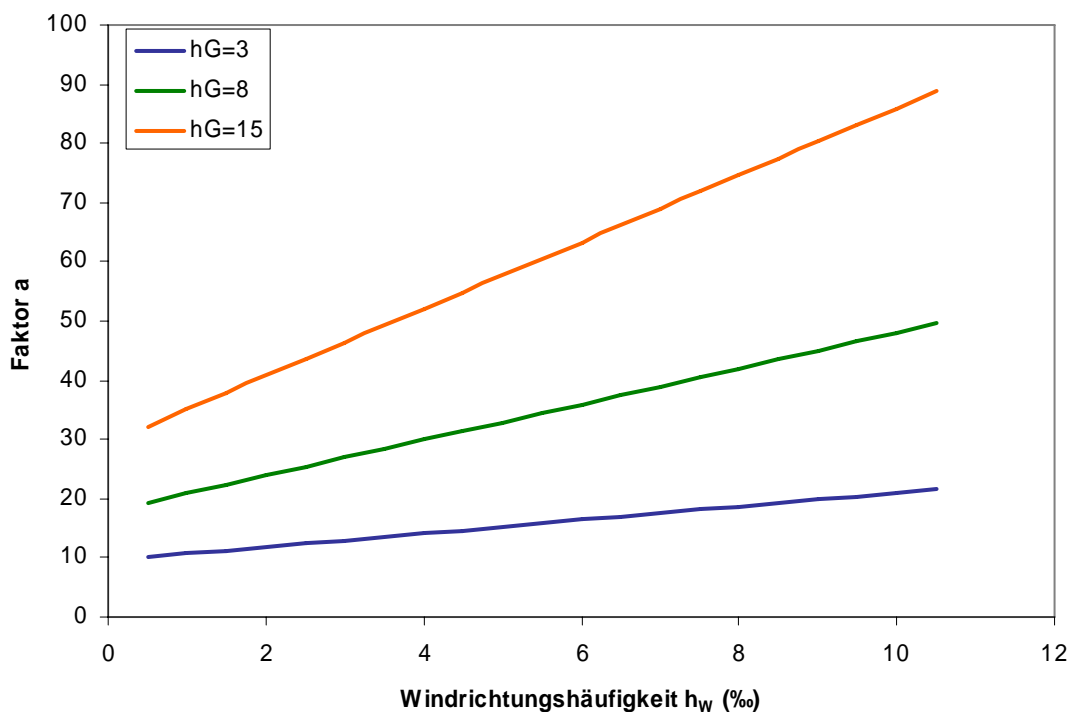
Aus Abb. 4 ist zu ersehen, daß der Koeffizient a sowohl für Punkt- als auch für Flächenquellen mit zunehmender Windrichtungshäufigkeit und zunehmender Überschreitungshäufigkeit ansteigt. Dieser Anstieg fällt für höhere Überschreitungshäufigkeiten ($h_G = 15\%$) deutlicher aus als für niedrige ($h_G = 3\%$). Der Schutzabstand S nimmt somit mit steigender Windrichtungshäufigkeit und zunehmender Überschreitungshäufigkeit zu.

In den folgenden Abbildungen wird der Faktor a und der Exponent b der Gleichung für alle Überschreitungshäufigkeiten der Geruchswahrnehmung h_G dargestellt. Für den maximalen Abstand (entsprechend $h_G=0\%$), in dem eine Geruchswahrnehmung

erwartet werden kann, kann aufgrund der gewählten Funktionen (siehe 5.1 VDO-Modell) kein Exponent b berechnet werden.



a



b

Abb. 4 Abhängigkeit des Faktors a des VDI-Modells in Abhängigkeit von der Windrichtungshäufigkeit h_W für drei unterschiedliche Überschreitungshäufigkeiten der Geruchswahrnehmung h_G von 15%, 8% und 3% einer Punktquelle (a) und einer Flächenquelle (b).

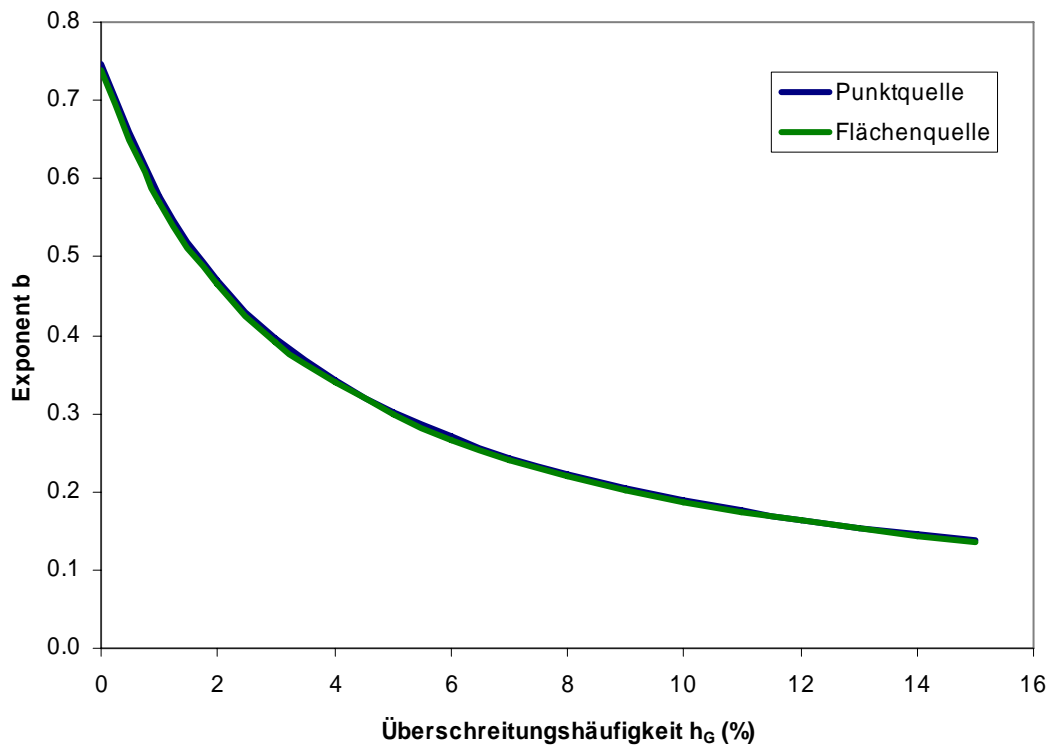


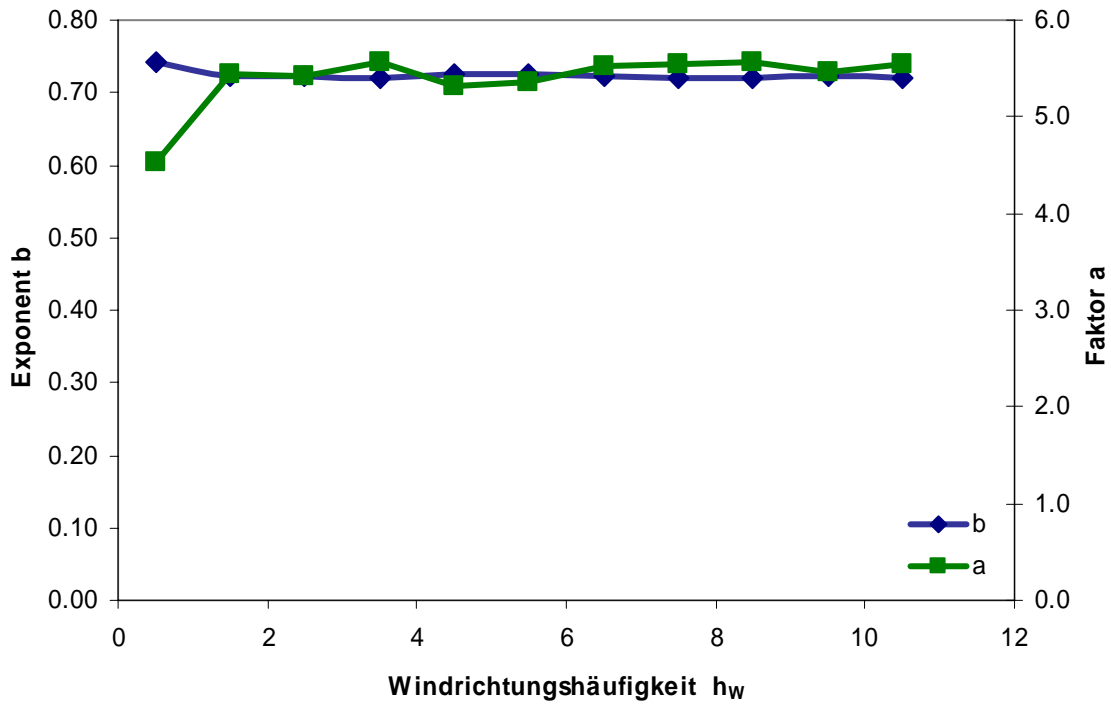
Abb. 5 Abhängigkeit des Exponenten b des VDI-Modells in Abhängigkeit von der Überschreitungshäufigkeit der Geruchswahrnehmung h_G für einer Punktquelle und eine Flächenquelle .

6.3 Diskretes Modell

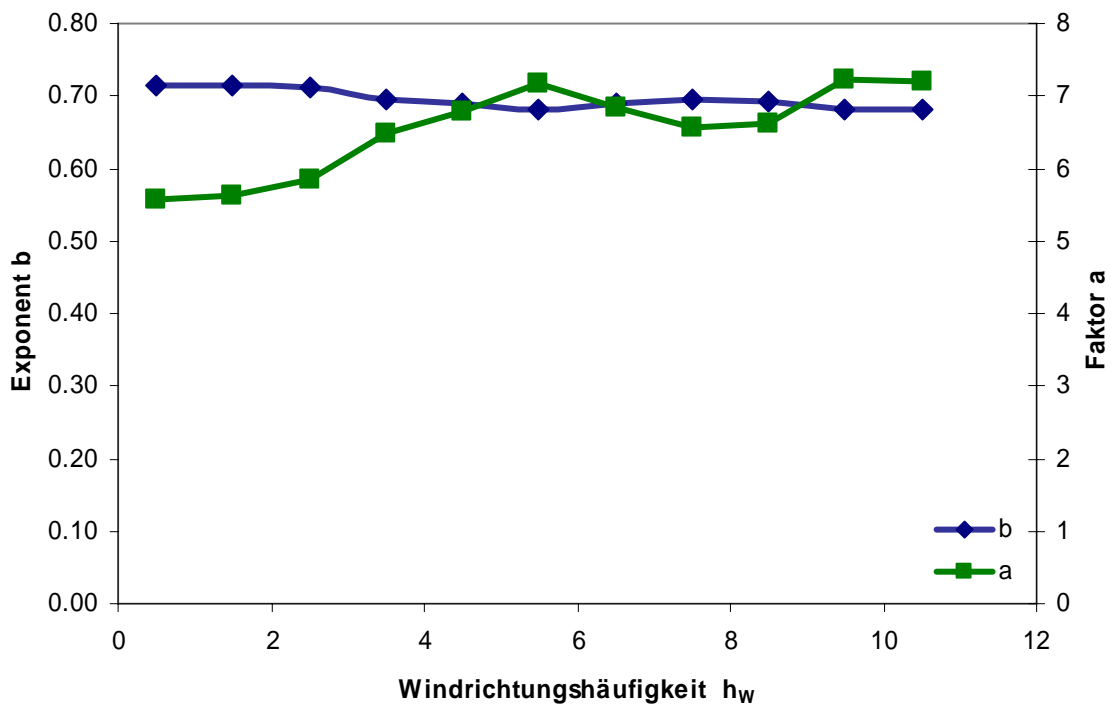
Während das an die VDI angelehnte Modell für den gesamten Datensatz der Punktquelle bzw. der Flächenquelle jeweils nur einen Faktor a bzw. Exponenten b liefert (Tab. 8), wird beim diskreten Modell für jede Klasse der Windrichtungshäufigkeit h_W (Klassenbreite 1‰) und Überschreitungshäufigkeit der Geruchswahrnehmung h_G ein eigener Faktor a bzw. Exponent b berechnet (Tab. 9).

Tab. 9: Faktor a und Exponent b des diskreten Modells, berechnet für eine Punktquelle und eine Flächenquelle

Punktquelle			Windrichtungshäufigkeit h_w (‰)										
			0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5
Geruchsüberschreitung shäufigkeit h_G	0	a	4.997	5.451	5.427	5.570	5.323	5.350	5.520	5.552	5.572	5.469	5.538
		b	0.731	0.723	0.723	0.720	0.726	0.725	0.721	0.720	0.720	0.723	0.723
	3	a	6.232	5.037	5.081	5.176	4.781	4.191	3.763	4.451	4.232	4.017	3.928
		b	0.410	0.483	0.504	0.502	0.518	0.546	0.569	0.539	0.553	0.565	0.563
	8	a	11.359	7.306	5.534	5.552	6.028	6.019	6.271	6.679	6.540	6.466	6.717
		b	0.256	0.358	0.433	0.455	0.452	0.458	0.458	0.450	0.453	0.456	0.451
	15	a	77.388	18.665	8.381	5.844	5.651	5.265	5.885	6.764	6.576	6.404	6.812
		b	-0.028	0.182	0.322	0.394	0.416	0.440	0.440	0.428	0.433	0.437	0.430
Flächenquelle													
Geruchsüberschreitung shäufigkeit h_G	0	a	5.578	5.635	5.852	6.479	6.784	7.178	6.837	6.573	6.622	7.231	7.211
		b	0.715	0.716	0.711	0.696	0.690	0.681	0.689	0.695	0.694	0.681	0.681
	3	a	4.378	4.430	4.306	4.765	4.498	3.921	3.678	4.040	4.181	4.085	3.902
		b	0.465	0.506	0.532	0.517	0.530	0.559	0.574	0.555	0.558	0.566	0.567
	8	a	5.050	4.741	4.458	5.283	5.655	5.712	6.034	6.330	6.275	6.154	6.210
		b	0.385	0.429	0.470	0.465	0.462	0.468	0.465	0.459	0.462	0.466	0.464
	15	a	2.986	5.386	5.105	4.920	5.026	4.990	5.737	6.205	6.182	6.012	6.329
		b	0.412	0.369	0.405	0.429	0.440	0.454	0.448	0.443	0.445	0.449	0.442

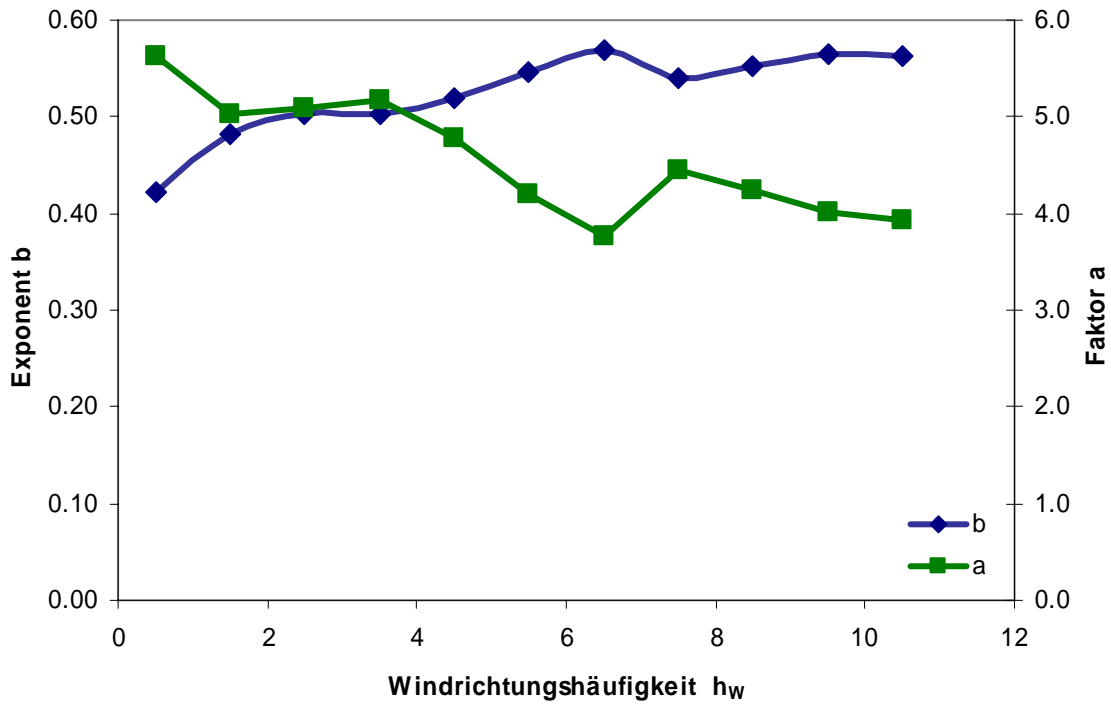


a

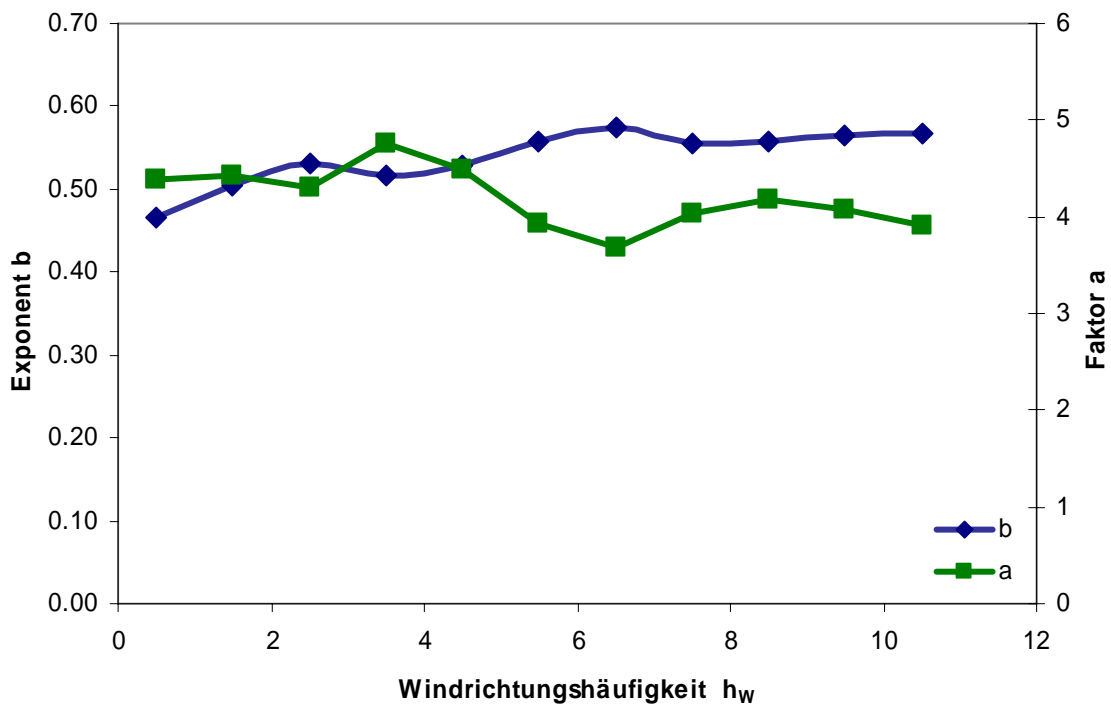


b

Abb. 6 Zusammenhang des Faktors a und des Exponenten b des diskreten Modells in Abhängigkeit von der Windrichtungshäufigkeit h_w für eine Überschreitungshäufigkeit der Geruchswahrnehmung $h_G=0\%$ einer Punktquelle (a) und einer Flächenquelle (b).

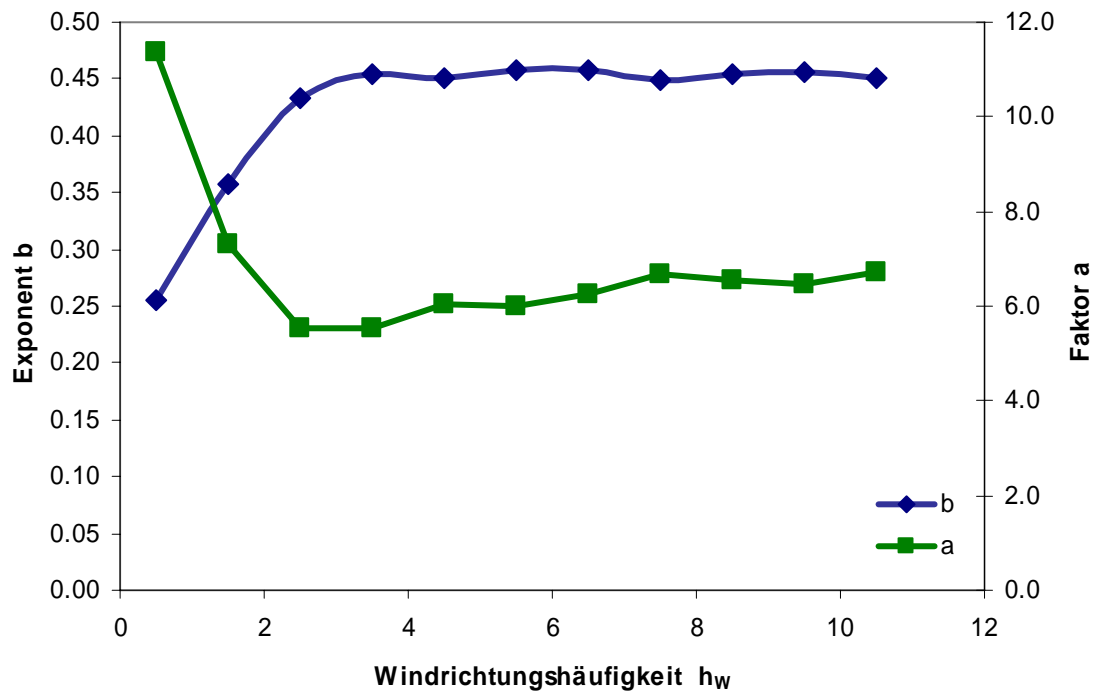


a

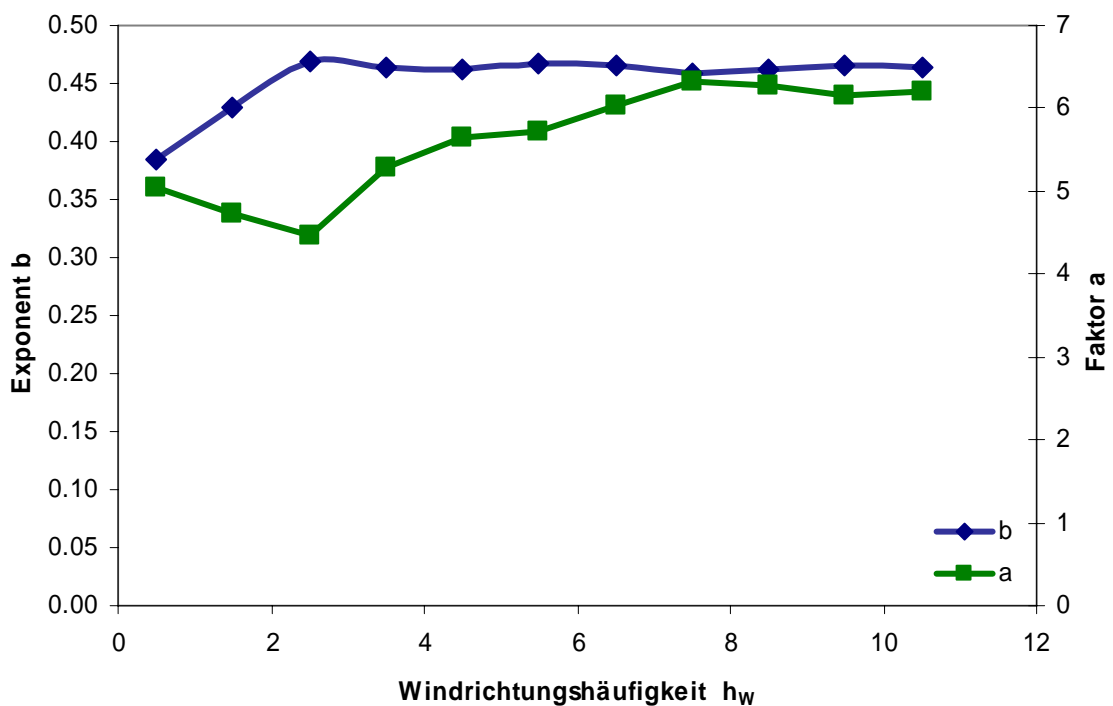


b

Abb. 7 Zusammenhang des Faktors a und des Exponenten b des diskreten Modells in Abhängigkeit von der Windrichtungshäufigkeit h_w für eine Überschreitungshäufigkeit der Geruchswahrnehmung $h_G=3\%$ einer Punktquelle (a) und einer Flächenquelle (b).

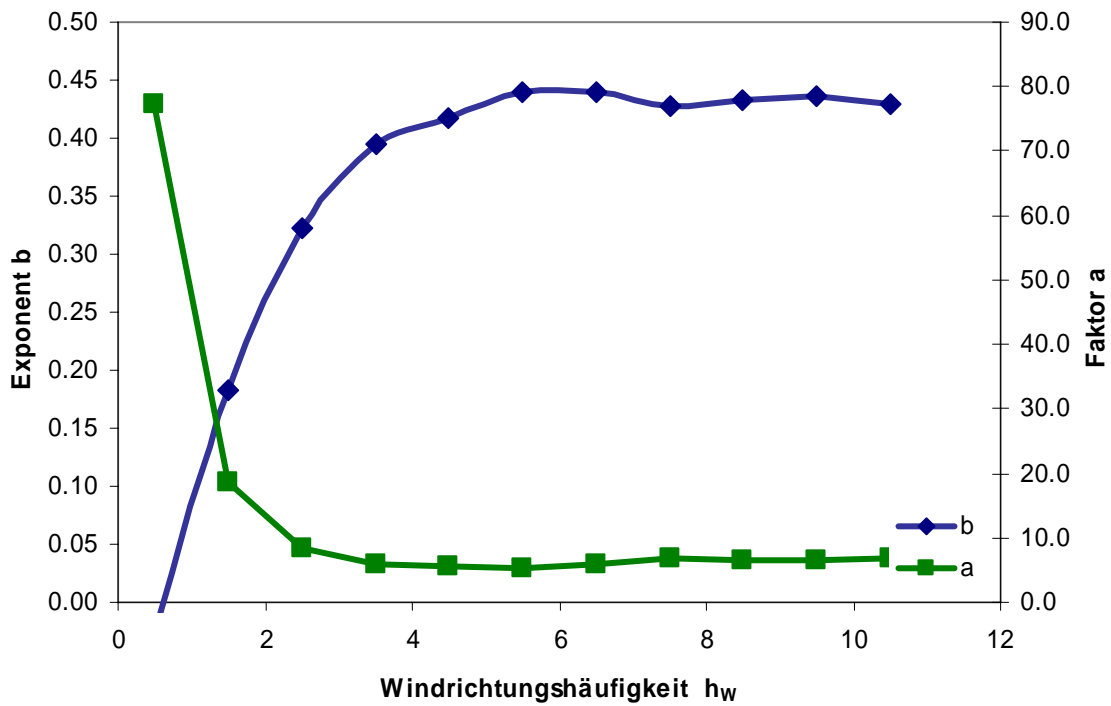


a

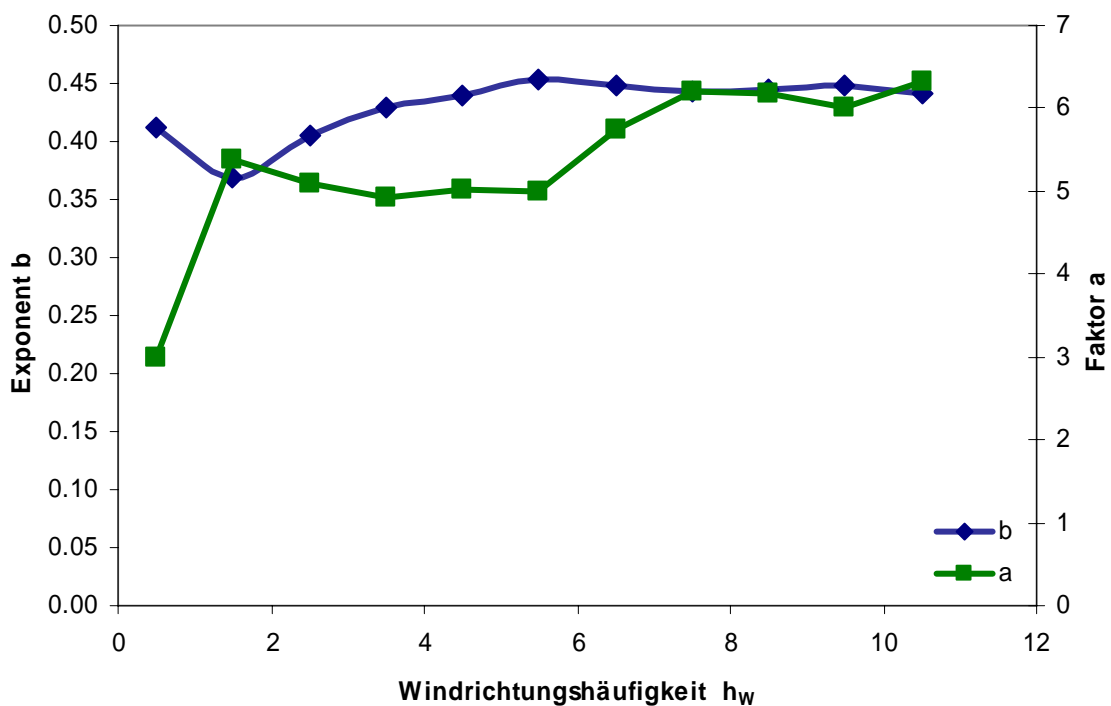


b

Abb. 8 Zusammenhang des Faktors a und des Exponenten b des diskreten Modells in Abhängigkeit von der Windrichtungshäufigkeit h_W für eine Überschreitungshäufigkeit der Geruchswahrnehmung $h_G=8\%$ einer Punktquelle (a) und einer Flächenquelle (b).



a



b

Abb. 9 Zusammenhang des Faktors a und des Exponenten b des diskreten Modells in Abhängigkeit von der Windrichtungshäufigkeit h_w für eine Überschreitungshäufigkeit der Geruchswahrnehmung $h_G=15\%$ einer Punktquelle (a) und einer Flächenquelle (b).

In den Abb. 6 bis Abb. 9 sind die Verläufe des Faktors a sowie des Exponenten b für die betrachteten Überschreitungshäufigkeiten von 0, 3, 8 und 15 % jeweils für die Punkt- und die Flächenquelle dargestellt. Hier ergeben sich bedeutende Unterschiede in der Windrichtungsabhängigkeit des Faktors a und des Exponenten b zwischen Punkt- und Flächenquelle einerseits und den unterschiedlichen Überschreitungshäufigkeiten andererseits. Für die Punktquelle verringern sich sowohl die Abhängigkeit des Faktors a als auch des Exponenten b von der Windrichtungshäufigkeit mit abnehmender Überschreitungshäufigkeit der Geruchswahrnehmung. Das ist auch konform mit dem VDI-Ansatz (Abschnitt 6.1) und hat somit ebenfalls zur Folge, daß der Schutzabstand S mit steigender Überschreitungs- und Windrichtungshäufigkeit zunimmt. Für die Flächenquelle sowie für eine Überschreitungshäufigkeit von 0 % (Abb. 6) ergibt sich ein anderes Bild: für 8 und 15 % Überschreitungshäufigkeit ist noch eine schwache Zunahme des Faktors a mit steigender Windrichtungshäufigkeit gegeben, die für geringere Häufigkeiten verschwindet. Der Exponent b zeigt für höhere Überschreitungshäufigkeiten (8 und 15 %) eine leichte Zunahme mit der Windrichtungshäufigkeit, für niedrigere von 0 und 3 % ein irreguläres Verhalten. Daraus ist für die Flächenquelle keine eindeutige Abhängigkeit des Schutzabstandes von den gewählten Parametern abzuleiten.

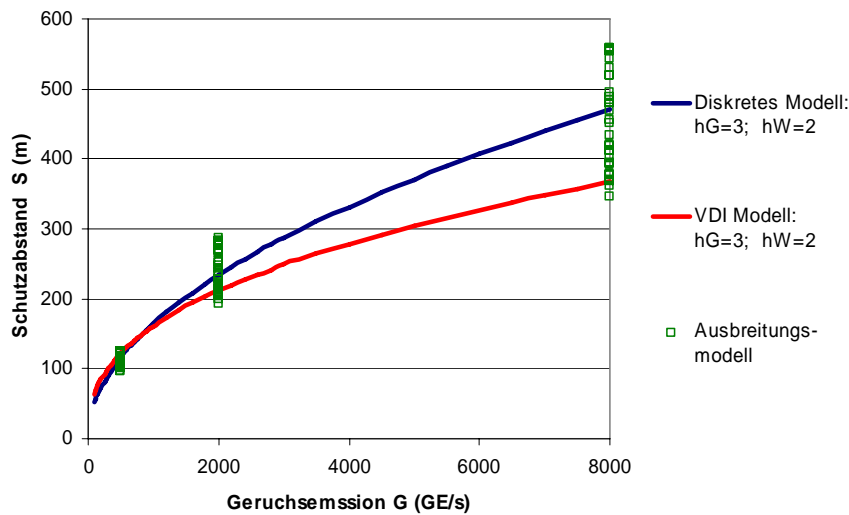
6.4 Modellvergleich

In den folgenden Abbildungen werden die Schutzabstände des VDI-Modells mit jenen des diskreten Modells verglichen. Weiters werden die Ergebnisse des Ausbreitungsmodells als Grundlage für die beiden Regressionsmodelle dargestellt.

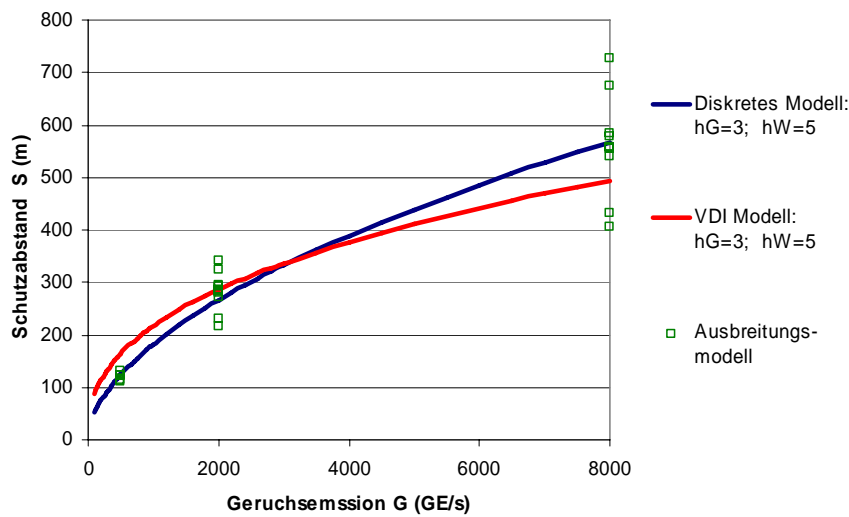
Die Ergebnisse zeigen, daß die klassenweise Anpassung (diskretes Modell) insgesamt zu besseren Ergebnissen führt, im Vergleich zum VDI-Modell. Das VDI-Modell zeigt bei einigen Kombinationen von Geruchsüberschreitungshäufigkeiten und Windrichtungshäufigkeiten deutlich größere Abweichungen. Dies ist beim VDI-Modell dadurch zu erklären, daß die Anpassung über alle Datenpunkte erfolgt. Dadurch können in einigen Klassen (durch Geruchsüberschreitungshäufigkeit und Windrichtungshäufigkeit charakterisiert) weitaus höhere Abweichungen des Regressionsmodells vom Ausbreitungsmodell auftreten.

Die Gegenüberstellung der beiden Regressionsmodelle und der Daten der Ausbreitungsrechnung zeigt jedoch auch, daß die Ergebnisse der Pilotstudie nur als Anhaltspunkt für die Festlegung des empirischen Abstandsmodells angesehen werden können. Derzeit liegen die Ausbreitungsberechnungen für nur drei Quellstärken der Geruchstoffemission vor (500, 2000 und 8000 GE/s), Das bedeutet, daß auch nur drei Stützstellen für die Festlegung der beiden Parameter a und b des empirischen Ausbreitungsmodells zur Verfügung stehen. Dies ist sicherlich nicht ausreichend, um zuverlässig Ergebnisse zu erhalten.

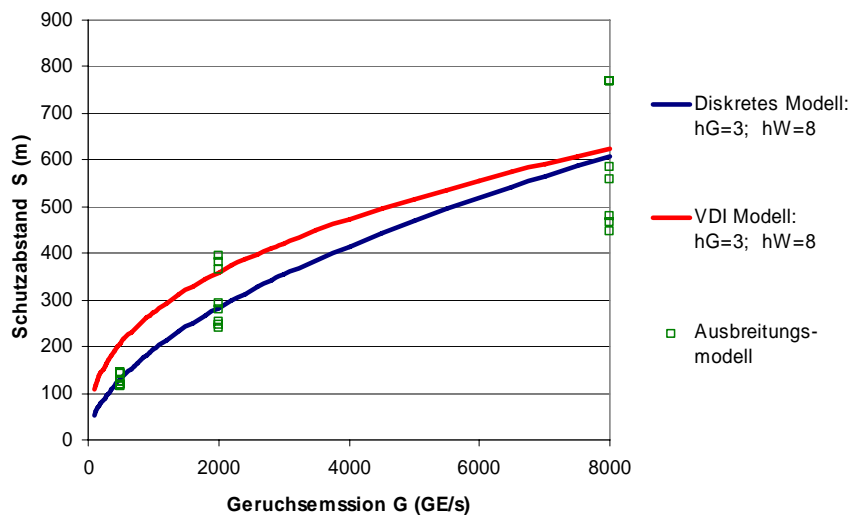
Die Verläufe der beiden Modellparameter a und b in Abhängigkeit von der Windrichtungshäufigkeit h_w in Abb. 6 bis Abb. 9 zeigen jedoch, daß auch für das diskrete Modell eine funktionelle Beschreibung möglich und sinnvoll ist. Bei kleinen Windrichtungshäufigkeiten zeigen die beiden Parameter a und b abrupte Änderungen. Dies wird besonders deutlich für niedrige Geruchsüberschreitungshäufigkeiten (Abb. 9).



a

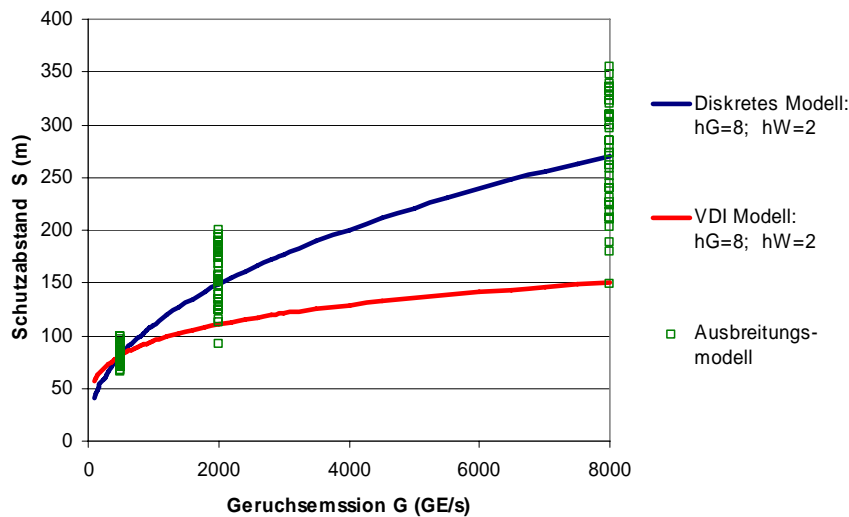


b

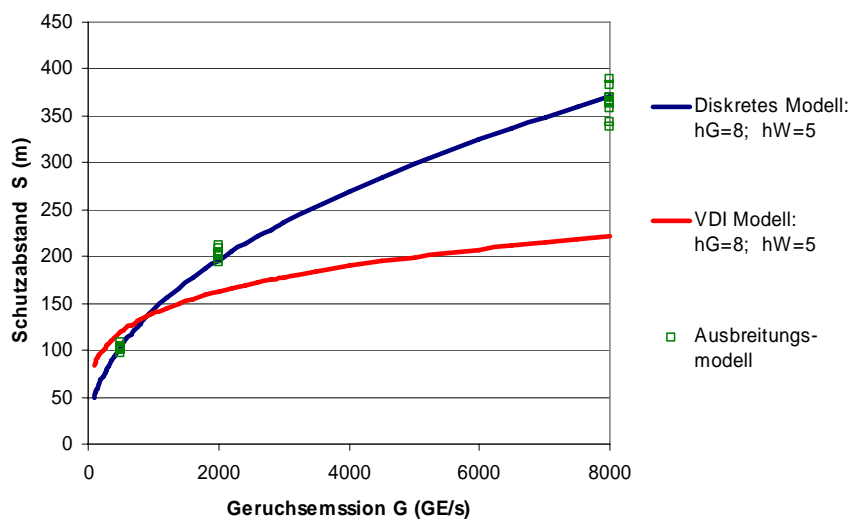


c

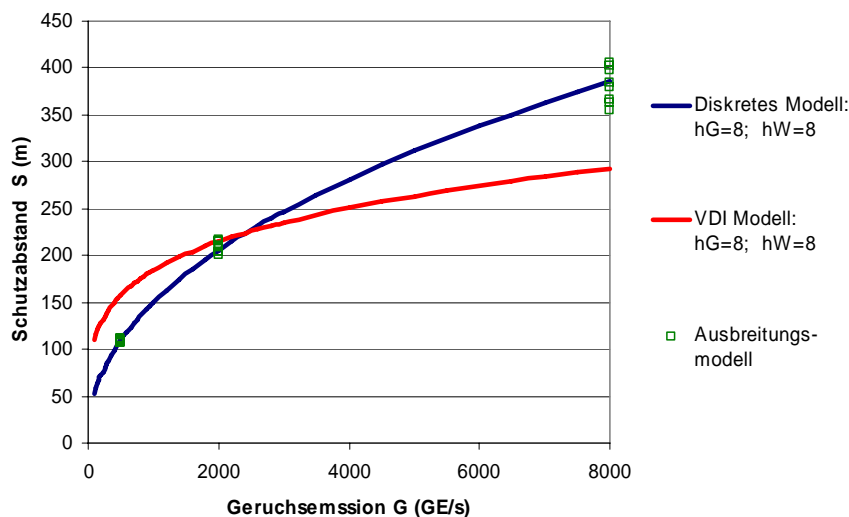
Abb. 10 Vergleich der Ausbreitungsrechnung für eine Punktquelle mit den beiden Regressionsmodellen (VDI- und Diskretes Modell) für eine Überschreitungshäufigkeit der Geruchswahrnehmung $h_G=3\%$ und für eine Windrichtungshäufigkeit $h_W=2\text{‰}$ (a) $h_W=5\text{‰}$ (b) und $h_W=8\text{‰}$ (c)



a

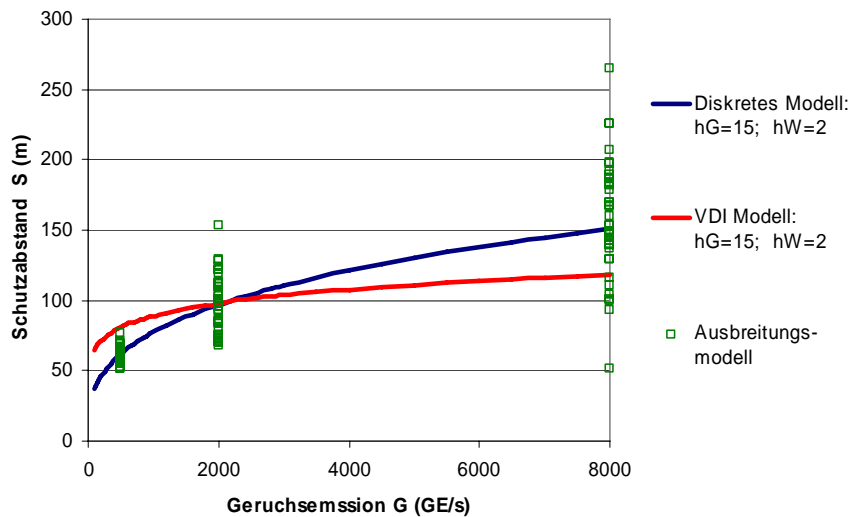


b

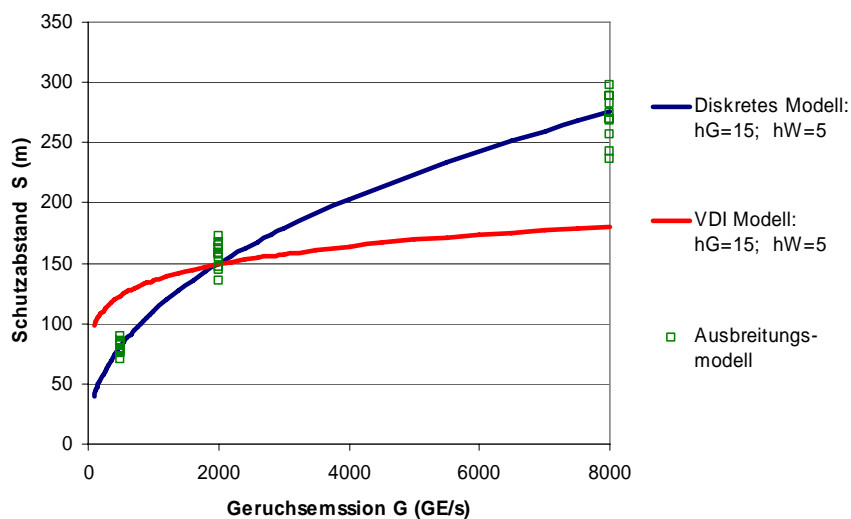


c

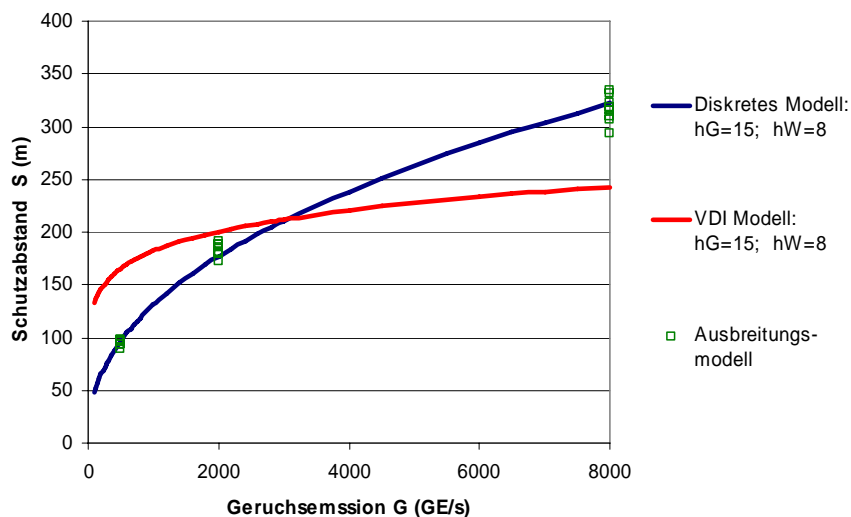
Abb. 11 Vergleich der Ausbreitungsrechnung für eine Punktquelle mit den beiden Regressionsmodellen (VDI- und Diskretes Modell) für eine Überschreitungshäufigkeit der Geruchswahrnehmung $h_G=8\%$ und für eine Windrichtungshäufigkeit $h_W=2\text{‰}$ (a) $h_W=5\text{‰}$ (b) und $h_W=8\text{‰}$ (c)



a



b



c

Abb. 12 Vergleich der Ausbreitungsrechnung für eine Punktquelle mit den beiden Regressionsmodellen (VDI- und Diskretes Modell) für eine Überschreitungshäufigkeit der Geruchswahrnehmung $h_G=15\%$ und für eine Windrichtungshäufigkeit $h_W=2\text{‰}$ (a) $h_W=5\text{‰}$ (b) und $h_W=8\text{‰}$ (c)

6.5 Modellgüte

Die Beurteilung der Modellgüte erfolgt anhand des Vergleiches der Schutzabstände des Ausbreitungsmodells mit denen der beiden empirischen Modelle (VDI- bzw. diskretes Modell). Die Werte des Ausbreitungsmodells werden als die wahren Werte angesehen, die empirischen Modelle werden auf ihre Übereinstimmung hin überprüft.

Die Modellgüte des VDI-Modells und des diskreten Modells wird durch die kumulierte Verteilung der Abweichungen des Modells von den Ergebnissen der Ausbreitungsrechnung sowie durch die relativen Differenzen dargestellt. Als integrale Gütemaße werden die mittlere quadratische Abweichung (RMS für „root mean square“)

$$RMS = \sqrt{\frac{(x_{obs} - x_{mod})^2}{N}}$$

und die mittlere absolute Abweichung MAD („mean absolute deviation“) herangezogen

$$MAD = \frac{|x_{obs} - x_{mod}|}{N}$$

mit dem beobachteten Abstand (Ausbreitungsmodell) x_{obs} und dem modellierten Abstand x_{mod} (der beiden empirischen Abstandmodelle).

Tab. 10: Modellgüte der beiden Modelle für eine Punkt- und eine Flächenquelle. Als Beurteilungskriterien werden die mittlere quadratische Abweichung (RMS) und die mittlere absolute Abweichung (MAD) herangezogen.

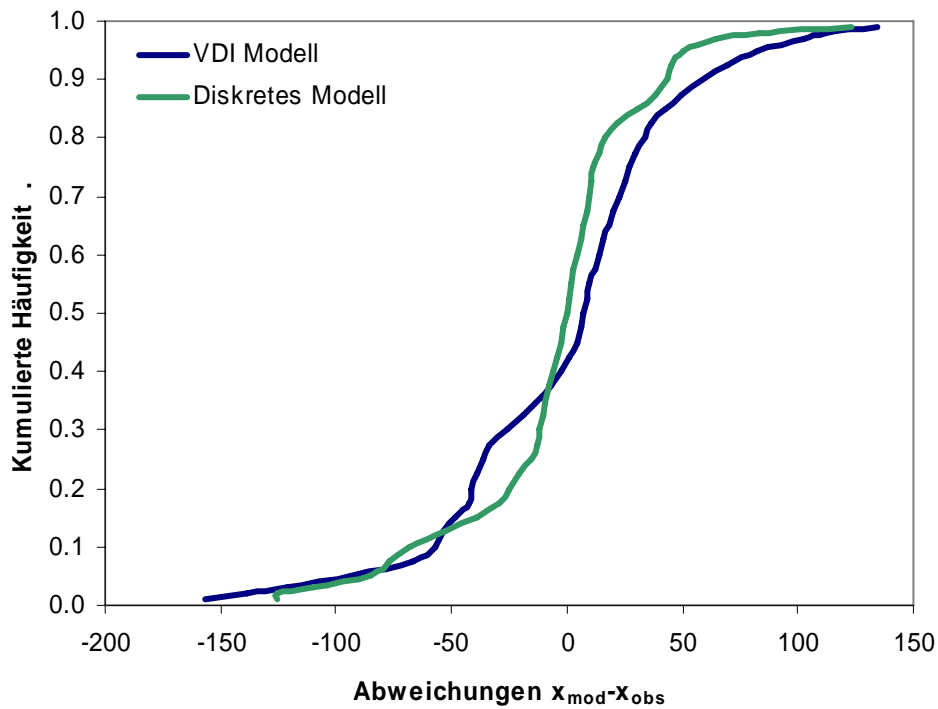
	Punktquelle		Flächenquelle	
	RMS	MAD	RMS	MAD
VDI Modell	58.5	40.4	60.3	43.0
Diskretes Modell	48.0	29.2	46.9	25.7

Die Modellgüte ist für das diskrete Modell sowohl für die Punktquelle als auch für die Flächenquelle deutlich besser als für das VDI-Modell. Dieser Vorteil des diskreten Modells wird jedoch durch den Nachteil erkauft, daß der Faktor und der Exponent nur für die diskreten Werte der Überschreitungshäufigkeit und der Windrichtungshäufigkeit vorliegen.

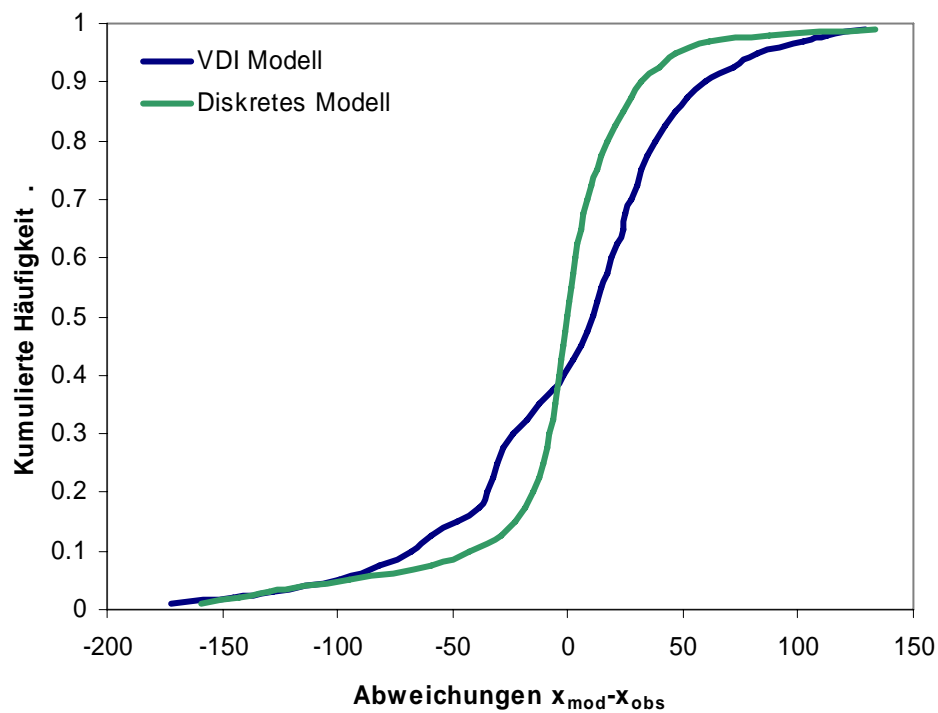
Anhand der kumulierten Häufigkeit der relativen Fehler (Abb. 14) kann die Modellgüte gut abgeschätzt werden: das VDI-Modell überschätzt die Beobachtungen deutlich stärker als das diskrete Modell, während Unterschätzungen von ähnlichem Betrag sind.

Um die Übereinstimmung zu prüfen, wie gut die beiden empirischen Modelle die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung wiedergeben, wurde untersucht, wie viele der durch das empirische Modell berechneten Schutzabstände innerhalb eines vorgegebenen Fehlerintervalls liegen. Unter der Vorgabe eines relativen Fehlers von $\pm 10\%$ ergibt sich für die Punktquelle ein Trefferquote von 45% (VDI-Modell) bzw. 65% (diskretes Modell) sowie für die Flächenquelle ein Trefferquote von 39% (VDI-Modell) bzw. 69% (diskretes Modell).

Bei Berücksichtigung der des Schutzgedankens, daß die durch das empirische Modell berechneten Schutzabstände den tatsächlichen Schutzabstand um nicht mehr als 10% unterschätzen sollen, ergibt sich für die Punktquelle eine Trefferquote von 82% (VDI-Modell) bzw. 85% (diskretes Modell) bzw. für die Flächenquelle eine Trefferquote von 79% (VDI-Modell) bzw. 86% (diskretes Modell).

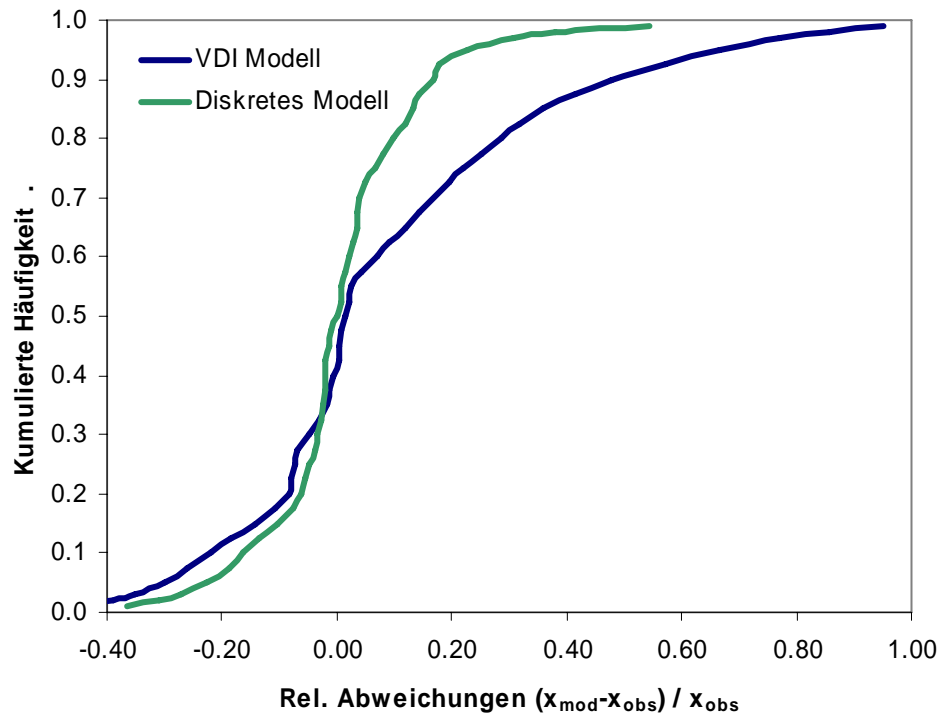


a

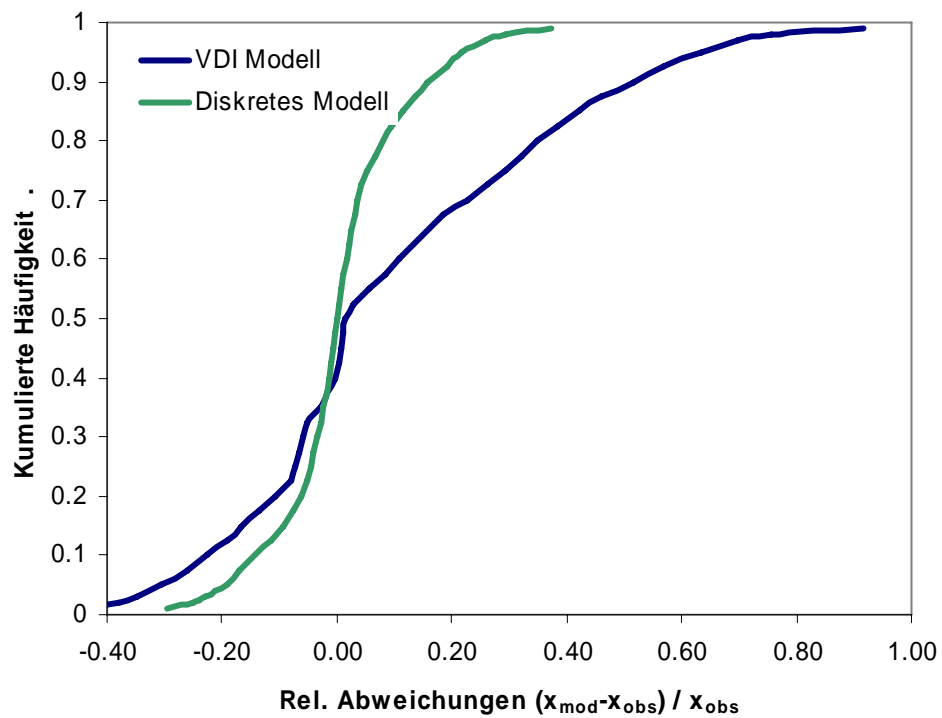


b

Abb. 13: Kumulierte Häufigkeit der Abweichungen der beiden Modelle von der Ausbreitungsrechnung für eine Punktquelle (a) und eine Flächenquelle (b).



a



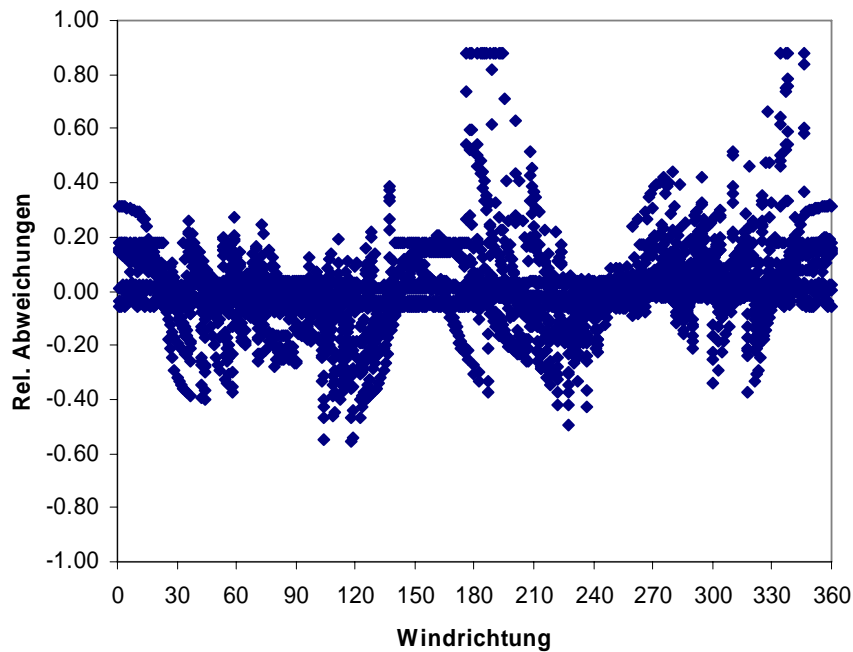
b

Abb. 14: Kumulierte Häufigkeit der relativen Abweichungen der beiden Modelle von der Ausbreitungsrechnung eine Punktquelle (a) und eine Flächenquelle (b).

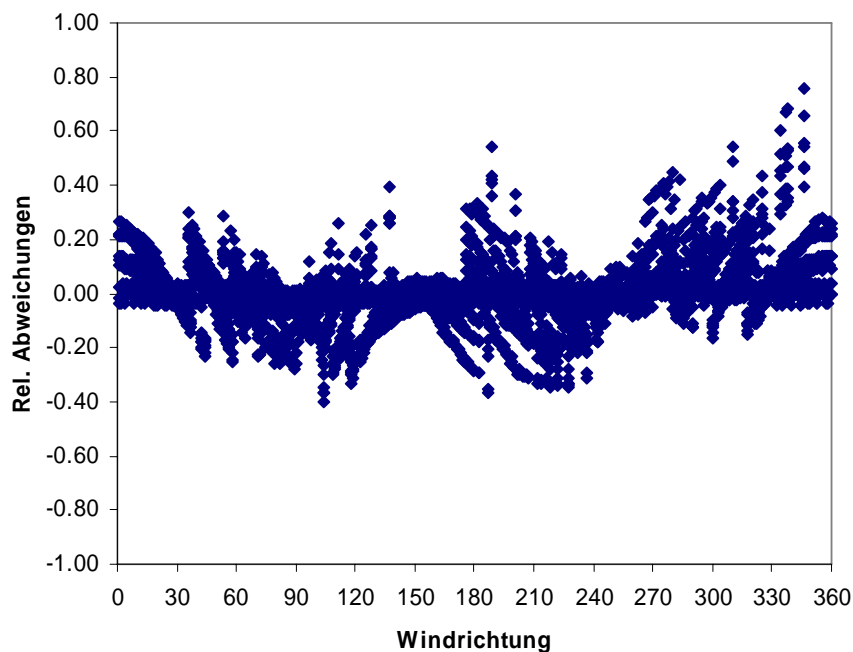
Tab. 11: Kumulierte Häufigkeit der relativen Abweichungen der beiden Modelle für eine Punktquelle und eine Flächenquelle

Kumulierte Häufigkeit	Punktquelle		Flächenquelle	
	VDI Modell	Diskretes Modell	VDI Modell	Diskretes Modell
0.990	0.951	0.543	0.916	0.375
0.980	0.858	0.380	0.756	0.293
0.970	0.770	0.309	0.695	0.257
0.950	0.667	0.228	0.635	0.218
0.925	0.573	0.179	0.567	0.191
0.900	0.478	0.168	0.516	0.156
0.875	0.413	0.144	0.462	0.135
0.850	0.359	0.134	0.423	0.115
0.825	0.318	0.118	0.385	0.095
0.800	0.285	0.099	0.350	0.081
0.775	0.252	0.080	0.322	0.067
0.750	0.219	0.065	0.292	0.053
0.725	0.195	0.051	0.261	0.042
0.700	0.168	0.038	0.228	0.036
0.675	0.144	0.035	0.185	0.031
0.650	0.120	0.034	0.157	0.024
0.625	0.091	0.028	0.133	0.021
0.600	0.070	0.021	0.109	0.017
0.575	0.042	0.016	0.083	0.011
0.550	0.023	0.008	0.055	0.008
0.525	0.020	0.006	0.027	0.003
0.500	0.014	0.000	0.016	-0.001
0.475	0.008	-0.009	0.012	-0.004
0.450	0.005	-0.015	0.009	-0.007
0.425	0.003	-0.019	0.004	-0.010
0.400	-0.007	-0.021	-0.003	-0.015
0.375	-0.013	-0.021	-0.018	-0.019
0.350	-0.015	-0.024	-0.026	-0.023
0.325	-0.029	-0.027	-0.052	-0.028
0.300	-0.049	-0.034	-0.060	-0.034
0.275	-0.068	-0.038	-0.066	-0.040
0.250	-0.074	-0.049	-0.072	-0.044
0.225	-0.081	-0.056	-0.079	-0.051
0.200	-0.084	-0.062	-0.106	-0.062
0.175	-0.107	-0.078	-0.137	-0.076
0.150	-0.144	-0.103	-0.166	-0.094
0.125	-0.185	-0.134	-0.191	-0.116
0.100	-0.218	-0.162	-0.225	-0.143
0.075	-0.262	-0.186	-0.261	-0.170
0.050	-0.299	-0.226	-0.306	-0.191
0.030	-0.352	-0.272	-0.349	-0.228
0.020	-0.389	-0.309	-0.378	-0.250
0.010	-0.444	-0.365	-0.419	-0.295

Der Einfluß einzelner meteorologischer Parameter auf die Güte der Modellanpassung wurde für das diskrete Modell analysiert. Als meteorologische Parameter wurden die Windrichtung, der relative Anteil an stabilen Wetterlagen bzw. labilen Wetterlagen, die Windrichtungshäufigkeit und die mittlere Windgeschwindigkeit herangezogen.



a

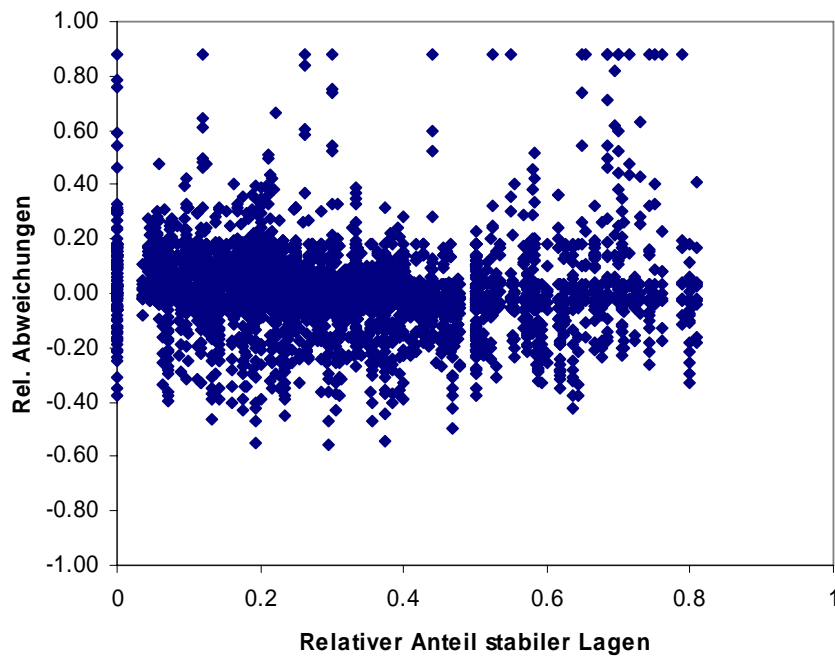


b

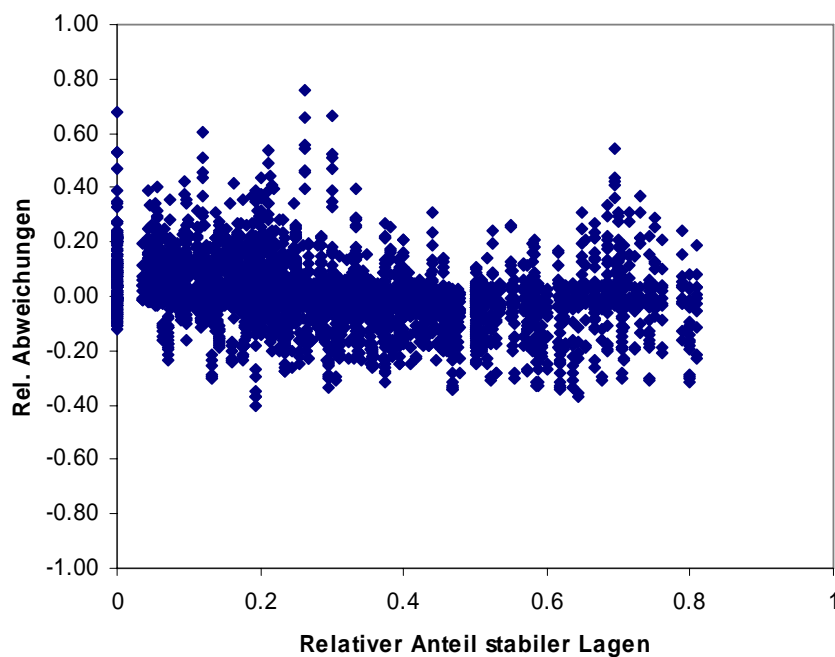
Abb. 15: Zusammenhang der relativen Abweichungen des diskreten Modells in Abhängigkeit von der Windrichtung für eine Punktquelle (a) und eine Flächenquelle (b).

Für die Windrichtung (Abb. 15) kann kein Einfluß auf die relativen Abweichungen gefunden werden.

Die Häufigkeit von stabilen (Abb. 16) bzw. labilen (Abb. 17) Wetterlagen hat keinen Einfluß auf die Modellgüte.

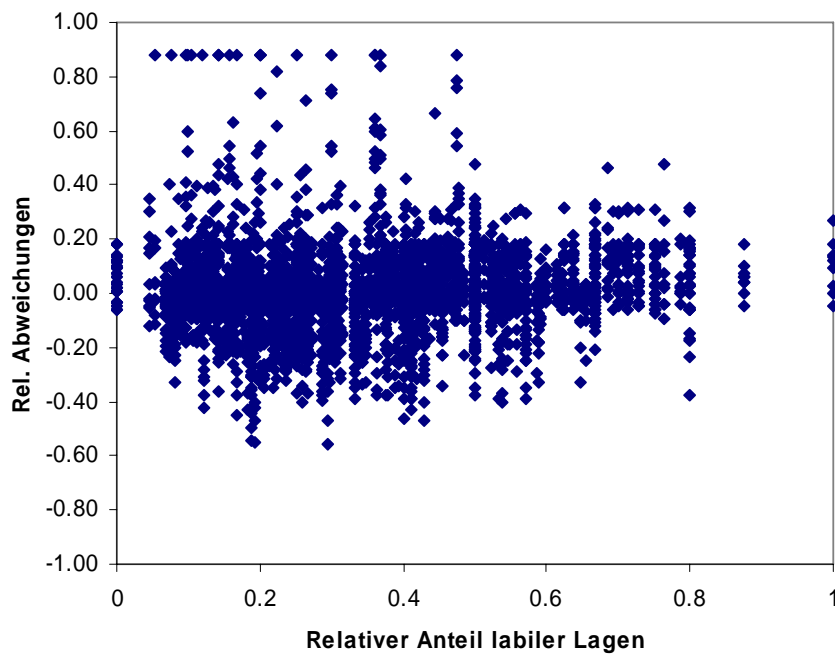


a

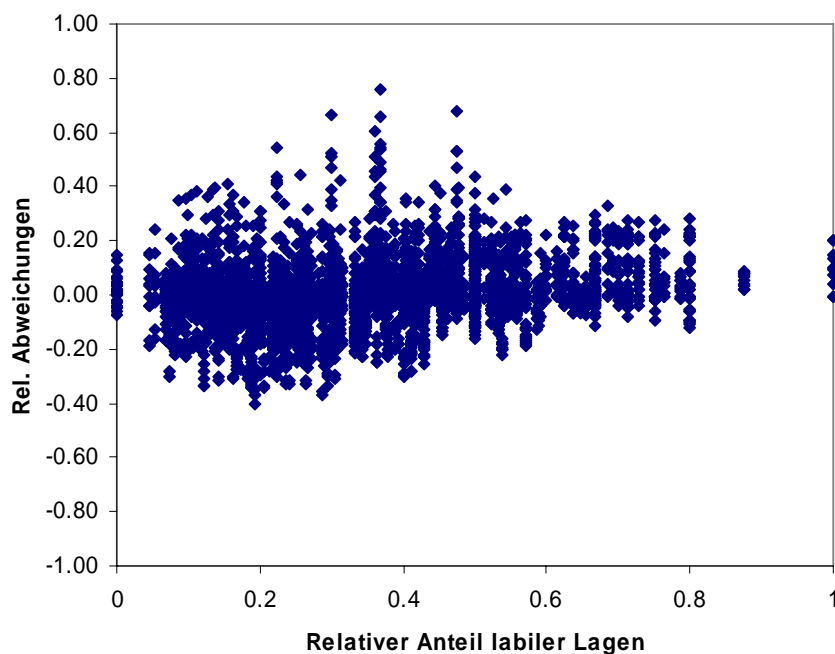


b

Abb. 16: Zusammenhang der relativen Abweichungen des diskreten Modells in Abhängigkeit vom relativen Anteil an stabilen Wetterlagen für eine Punktquelle (a) und eine Flächenquelle (b).



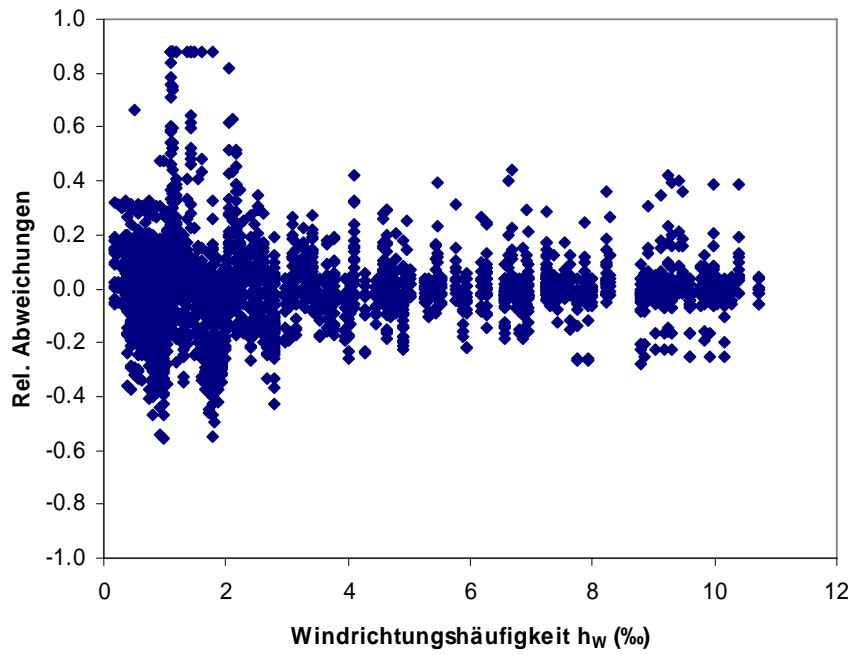
a



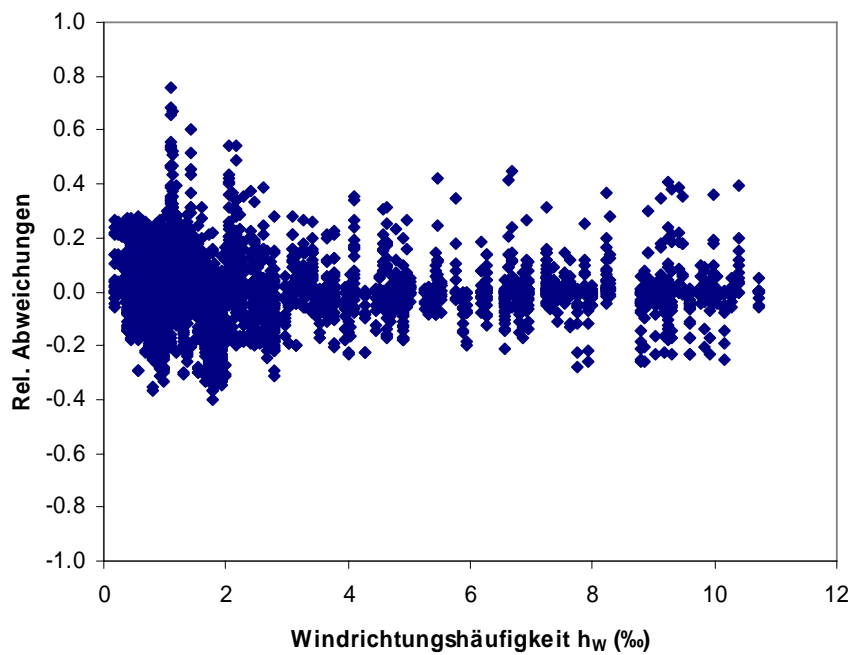
b

Abb. 17: Zusammenhang der relativen Abweichungen des diskreten Modells in Abhängigkeit vom relativen Anteil an labilen Wetterlagen für eine Punktquelle (a) und eine Flächenquelle (b).

Sowohl die Windrichtungshäufigkeit (Abb. 18) als auch die mittlere Windgeschwindigkeit (Abb. 19) zeigen einen schwachen Einfluß auf die Güte der Modellanpassung.

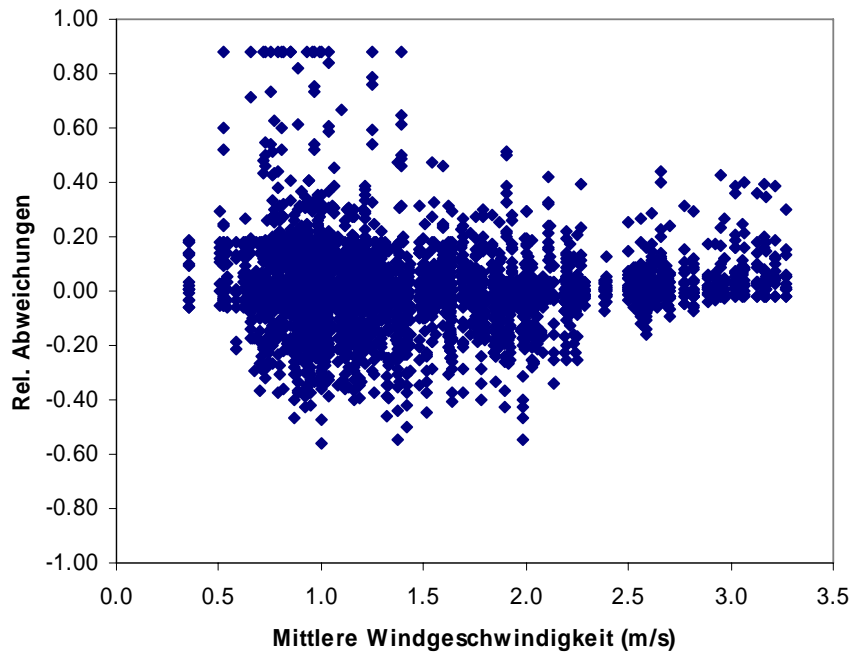


a

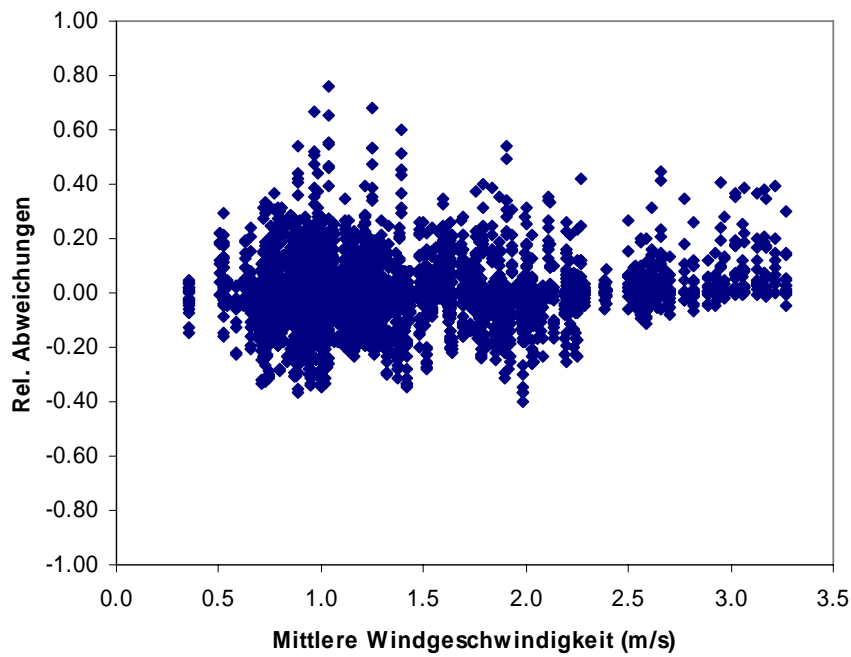


b

Abb. 18: Zusammenhang der relativen Abweichungen des diskreten Modells in Abhängigkeit von der Windrichtungshäufigkeit für eine Punktquelle (a) und eine Flächenquelle (b).



a



b

Abb. 19: Zusammenhang der relativen Abweichungen des diskreten Modells in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit für eine Punktquelle (a) und eine Flächenquelle (b).

6.6 Vergleich der Schutzabstände von Punktquellen und Flächenquellen

Der Ansatz des empirischen Abstandsmodells geht von der Überlegung aus, dass die Quellkonfiguration (Geometrie des Emittenten) keinen nachhaltigen Einfluss auf den berechneten Schutzabstand ausübt. Um diese Hypothese zu prüfen, wurde die Ausbreitungsrechnung einmal für eine Punktquelle mit einer Emissionshöhe von 6 m und im zweiten Fall für eine Flächenquelle mit maximaler Ausdehnung vorgenommen.

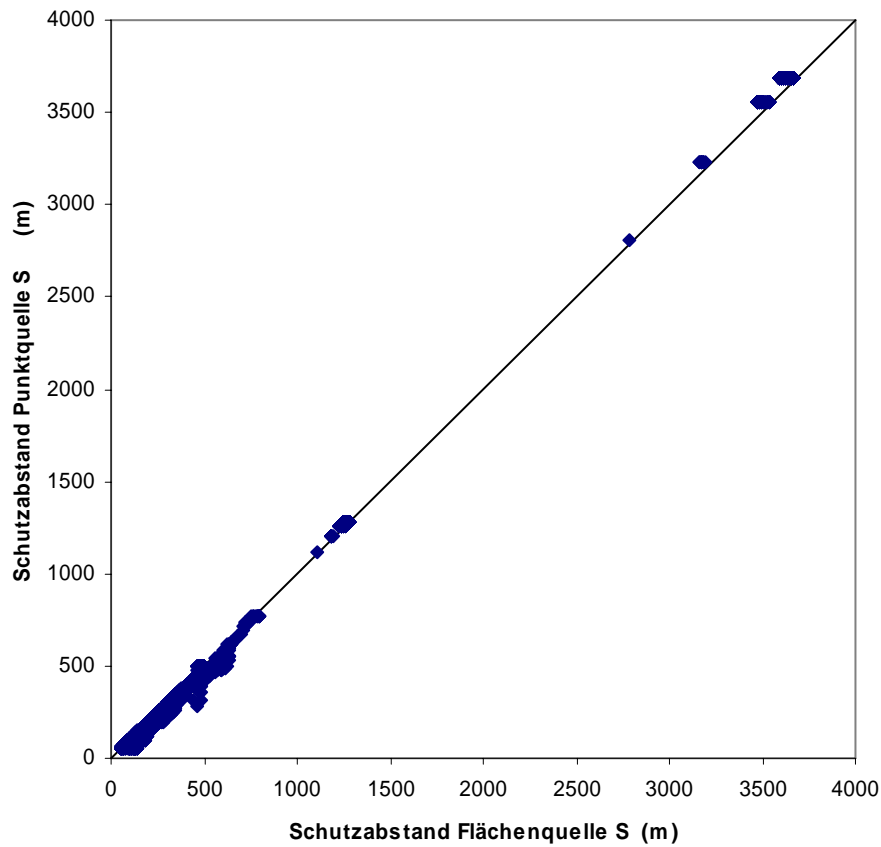
Im folgenden wurde untersucht, ob am Standort Wels Flächenquellen mit einer ausreichenden Genauigkeit durch Punktquellen ersetzt werden können.

Die berechneten Schutzabstände werden anhand der absoluten Differenzen $\Delta S = S_F - S_P$ (mit den Indices F für Flächenquelle und P für Punktquelle) und der relativen Differenzen $\Delta S_{rel} = \Delta S / S_P$ beurteilt.

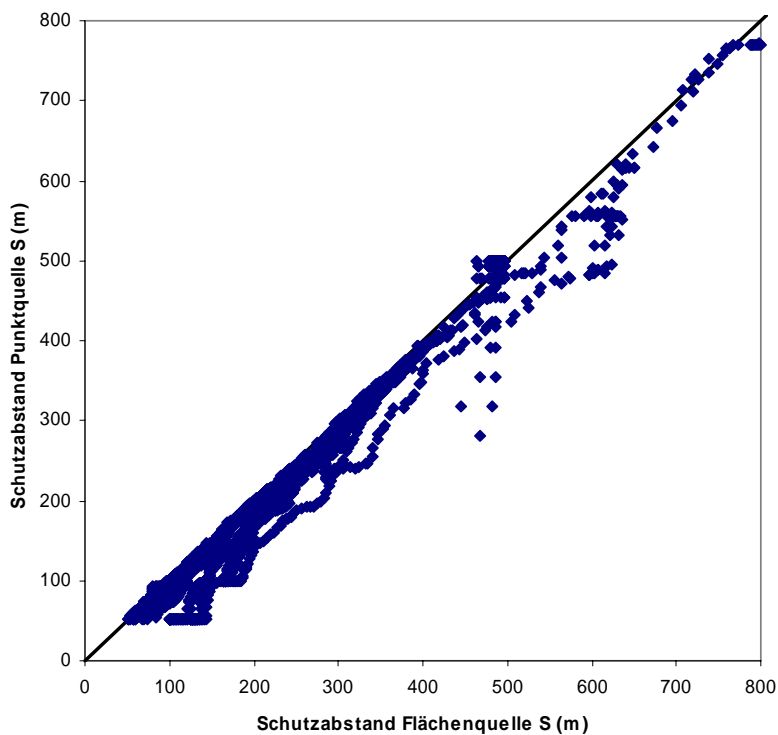
In Abb. 20 sind die Schutzabstände für die beiden Quellkonfigurationen gegenübergestellt. Besonders für Schutzabstände unter 800 m (Abb. 20b) wird deutlich, daß die Flächenquelle zu höheren Schutzabständen führt.

Die Häufigkeitsverteilungen der absoluten Differenzen ΔS und der relativen Differenzen ΔS_{rel} sind in den Abb. 21 und Abb. 22 zu ersehen.

Für die gewählten Modellannahmen liegt für alle Fälle, die innerhalb des Interquartilabstandes (Differenz zwischen dem 75-Perzentil und dem 25-Perzentil) liegen, die maximale Unterschätzung des Schutzabstandes einer Flächenquelle durch die Annäherung einer Punktquelle bei 11%. Betrachtet man 80% aller Modellergebnisse (zwischen dem 10- bzw. 90-Perzentil), so liegen die Abweichungen bei maximal 30%.

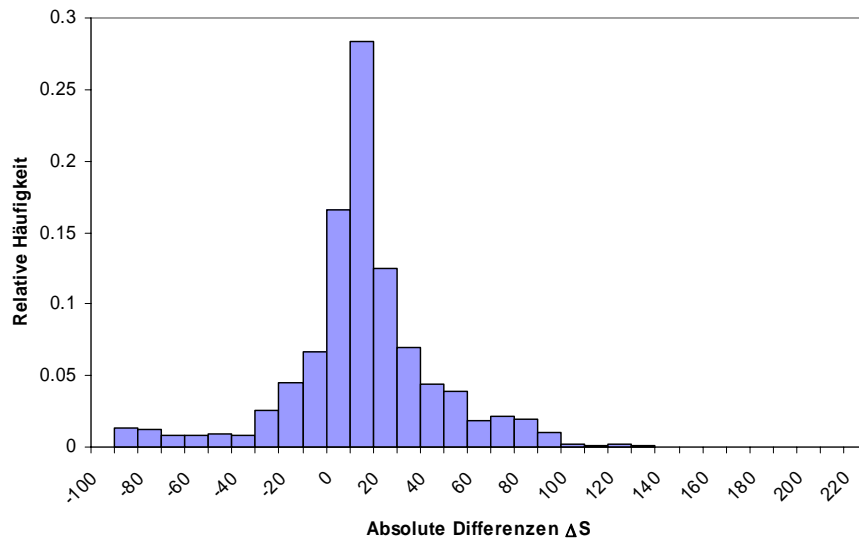


a

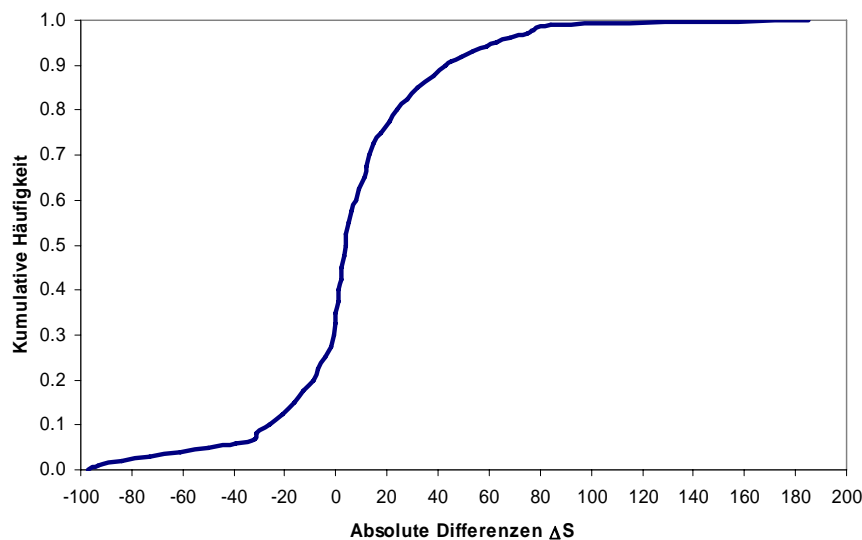


b

Abb. 20: Gegenüberstellung der Schutzabstände berechnet für eine Punktquelle und eine Flächenquelle. Gesamter Datenbereich (a) und für Schutzabstände unter 800 m (b).



a

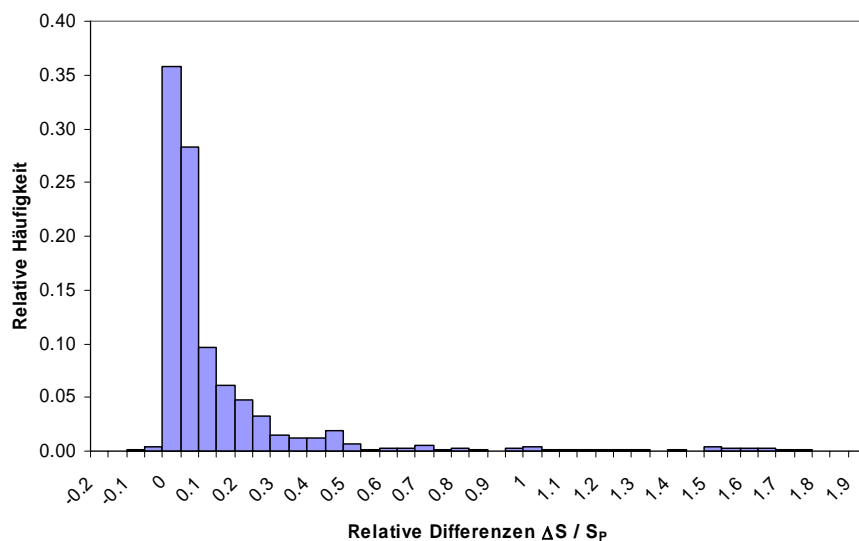


b

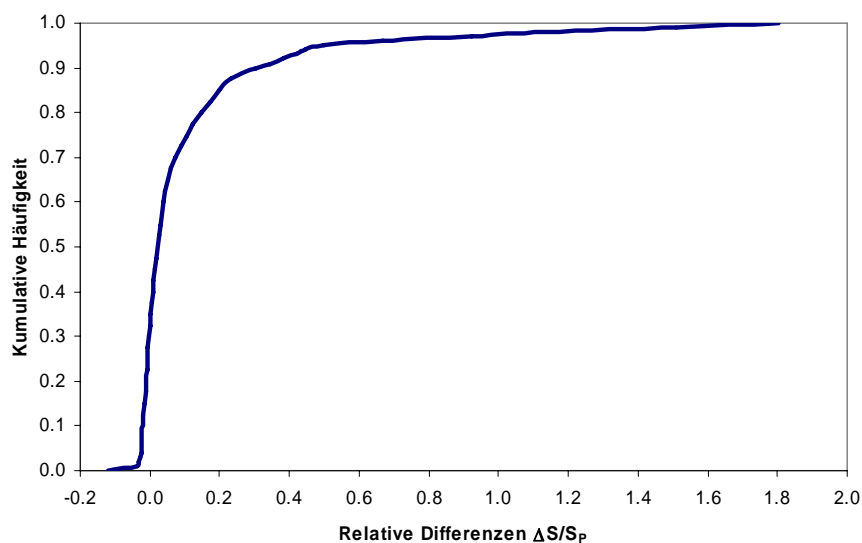
Abb. 21: Relative (a) und kumulative Häufigkeit (b) der absoluten Differenzen ΔS .

Dabei ist jedoch zu beachten, daß die gewählte Flächenquelle eine maximale Ausdehnung durch die Annahme der Milchkuhhaltung erreicht. Die sich daraus ergebenden Differenzen zwischen dem Schutzabstand einer Punktquelle bzw. einer Flächenquelle sind daher eine Maximalschätzung. Für Flächenquellen, die eine geringere Ausdehnung haben, wird daher der auftretende Fehler geringer sein als in der vorliegenden Abschätzung. Weiters ist zu bedenken, daß die Berücksichtigung der Quellkonfiguration zu einer Vielzahl von Interpretationsproblemen bei der Beurteilung der Geruchsquelle führen würde. Aus diesem Grund wird empfohlen, das empirische Ausbreitungsmodell für nur eine einzige Quellkonfiguration zu berechnen. Dabei ist der Punktquelle der Vorzug zu geben.

Weiters kann die Unterschätzung des Schutzabstandes durch die Annahme einer Punktquelle durch die Berücksichtigung der geometrischen Ausdehnung der Flächenquelle reduziert werden. Eine Korrektur des Fehlers könnte durch eine Korrekturstrecke s erfolgen, die sich aus der Wurzel der Fläche des Emittenten ergibt.



a



b

Abb. 22: Relative (a) und kumulative Häufigkeit (b) der relativen Differenzen ΔS_{rel} .

Tab. 12: Perzentile der absoluten ΔS und der relativen Differenzen ΔS_{rel} zwischen der Punktquelle und der Flächenquelle.

Perzentil	Absolute Differenzen ΔS (m)	Relative Differenzen ΔS_{rel} (%)
100	185	180.4
99	84	151.0
95	63	50.0
90	43	30.4
80	24	14.7
75	17.5	10.5
70	13	7.3
60	8	3.8
50	4	2.1
40	1	0.9
30	-1	-0.4
25	-4	-0.7
20	-9	-1.1
10	-26	-2.1
5	-50	-2.5
1	-93	-3.5
0	-97	-12.0

6.7 Vergleich des empirischen Abstandsmodells mit der österreichischen Richtlinie

Die österreichische Richtlinie (öRL) basiert auf einem vereinfachten Modellansatz, wie er für den Zusammenhang zwischen der Geruchsemission und dem Schutzanspruch in der vorliegenden Pilotstudie gewählt wurde. Der Exponent des Modells b wird konstant mit einem Wert von 0.5 gewählt.

Um die Kongruenz der beiden Modellansätze zu beurteilen, wurden die Schutzabstände, die sich aus der öRL ergeben, mit dem diskreten Modellansatz für Punktquellen verglichen. Dazu war es erforderlich, daß Annahmen getroffen werden, um vergleichbare Situationen zu schaffen. Die beiden wesentlichen Punkte sind dabei die Überschreitungshäufigkeit der Geruchswahrnehmung h_G und die Windrichtungshäufigkeit h_W .

Die gewählte Zuordnung der Eingangsparameter für das Modell der öRL und für das diskrete Modell wurden für einen typischen Schweinemaststall zusammengestellt. Der Emissionsfaktor wurde mit 45 GE/s GV angenommen, der korrespondierende tierspezifische Faktor der öRL beträgt 0.23. Die Annahmen für den landtechnischen Faktor wurden für einen typischen Schweinemaststall angenommen, so daß sich dieser

Faktor mit 0.58 ergibt. Die Wahl des meteorologischen Faktors f_M und des Raumordnungsfaktors f_R ist in den jeweiligen Graphiken ersichtlich.

Die Zuordnung des meteorologischen Faktors basiert auf der relativen Häufigkeit einer 45° Windrose. Das empirische Modell basiert jedoch auf einer Windrichtungshäufigkeit einer 1° Windrose. Die Zuordnung des meteorologischen Faktors f_M , der entsprechenden Windhäufigkeit und der Zuordnung der 1° Windrose ist in Tab. 13 dargestellt. Für den Vergleich wurden drei Klassen mit den meteorologischen Faktoren 0.6, 0.8 und 1.0 gewählt.

Tab. 13: Zuordnung des meteorologischen Faktors f_M , der Windrichtungshäufigkeit (Klassenmitte) gemäß der öRL und der Windrichtungshäufigkeit einer 1° Windrose h_W

Meteorologischer Faktor f_M	Windrichtungshäufigkeit gemäß der öRL (45° Klassen)	Windrichtungshäufigkeit 1° Windrose h_W
0.6	5	2
0.7	20	
0.8	40	8
0.9	60	
1.0	75	11

Die gewählte Zuordnung zwischen der Überschreitungshäufigkeit von Geruch h_G und dem korrespondierenden Raumordnungsfaktor f_R der öRL ist sicherlich der kritische Punkt der Gegenüberstellung. Für den Raumordnungsfaktor $f_R = 1$, entsprechend einem reinen Wohngebiet, wurde die Überschreitungshäufigkeit für die Geruchswahrnehmung mit 3% festgelegt, für allgemeines Wohngebiet mit $f_R = 0.7$ wurde mit $h_G = 8\%$ und für gemischte Baugebiete mit $f_R = 0.5$ wurde die Überschreitungshäufigkeit h_G mit 15% festgelegt.

Für eine höhere Schutzwürdigkeit ($h_G = 3\%$ bzw $f_R = 1.0$, entsprechend allgemeinen Wohngebieten) weist das empirische Abstandsmodell deutlich höhere Schutzabstände auf als die öRL (Abb. 23). Die Schutzabstände der Ausbreitungsrechnung liegen etwa um den Faktor 2 bis 2.5 höher.

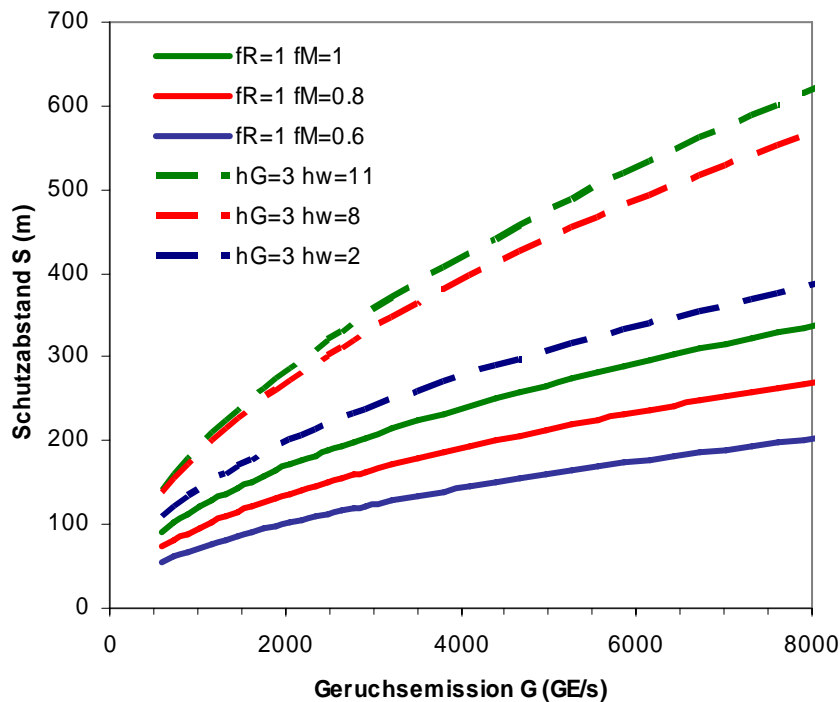


Abb. 23: Vergleich des Schutzabstandes für reines Wohngebiet der öRL ($f_R=1.0$) (durchgezogene Linien) mit dem empirischen Modell ($h_G=3\%$) (strichlierte Linien)

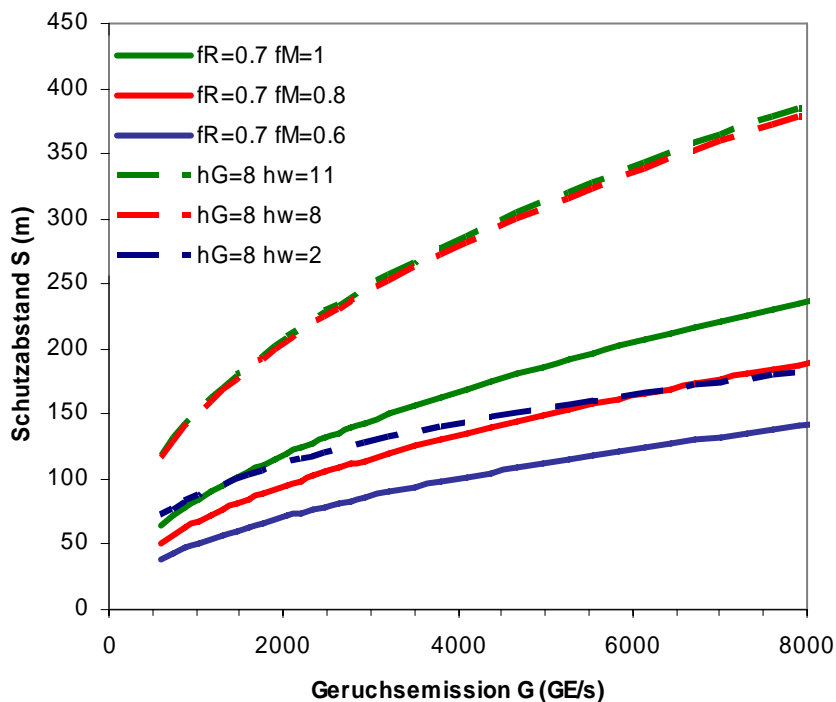


Abb. 24: Vergleich des Schutzabstandes für allgemeines Wohngebiet der öRL ($f_R=0.7$) (durchgezogene Linien) mit dem empirischen Modell ($h_G=8\%$) (strichlierte Linien)

Gemäß den Richtlinien der ÖAW wird die Überschreitungshäufigkeit von Geruch für allgemeine Wohngebiete mit $h_G = 8\%$ angenommen. Vergleicht man die

Schutzabstände des empirischen Modells mit denen der öRL ($f_R = 0.7$), so ergeben sich für geringe Windrichtungshäufigkeiten (blaue Kurven) etwa um den Faktor 1,5 höhere Schutzabstände (Abb. 24). Bei größeren Windrichtungshäufigkeiten ergeben sich für das empirische Modell wiederum deutlich höhere Schutzabstände als für die öRL, besonders für hohe Geruchsemissionen.

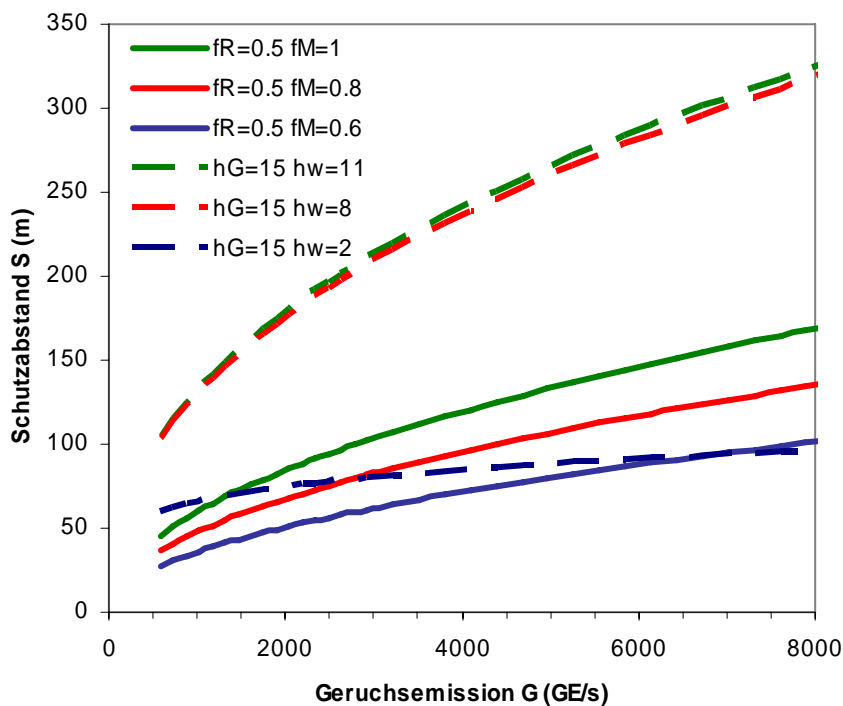


Abb. 25: Vergleich des Schutzabstandes für gemischtes Wohngebiet der öRL ($f_R = 0.5$) (durchgezogene Linien) mit dem empirischen Modell ($h_G = 15\%$) (strichlierte Linien)

Für geringere Schutzwürdigkeit, entsprechend einem gemischten Wohngebiet ($h_G = 15\%$ bzw. $f_R = 0.5$) ergeben sich ähnliche Verhältnisse wie für das allgemeine Wohngebiet.

Insgesamt liegen die berechneten Schutzabstände des empirischen Modells deutlich höher als die Schutzabstände der öRL.

Für einen direkten Vergleich der öRL mit dem empirischen Abstandsmodell wurden für den Standort Wels die richtungsabhängigen Schutzabstände untersucht. Dieser Vergleich wurde für drei Bestandsgrößen mit 100, 350 und 1400 Mastschweinen durchgeführt. Die korrespondierenden Geruchsemissionen sind 585, 2048 und 8190 GE/s.

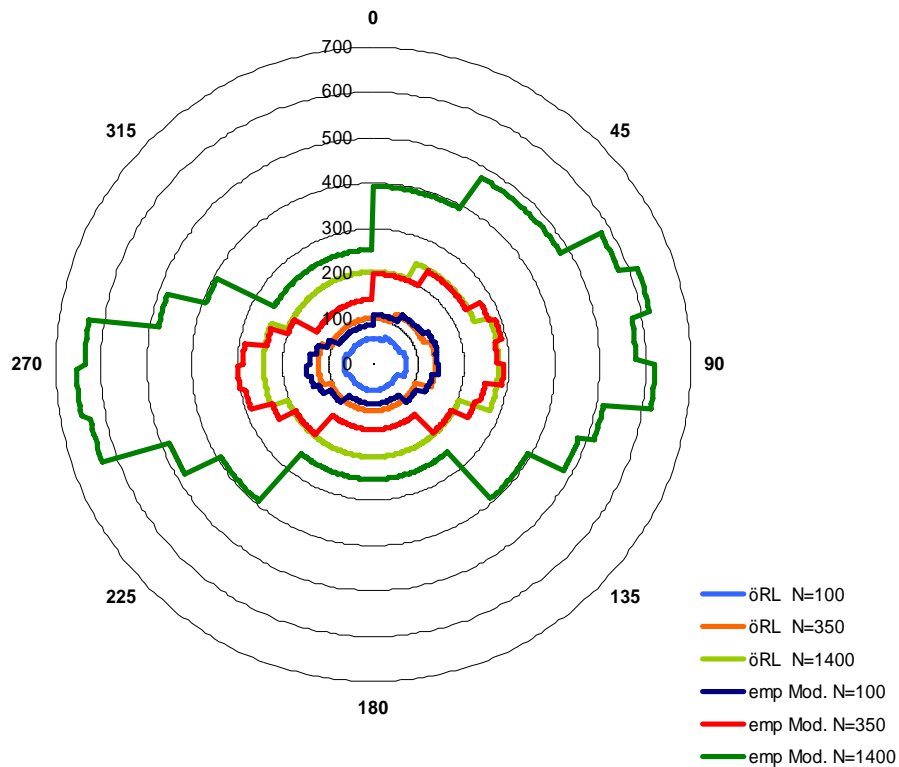


Abb. 26: Vergleich des Schutzabstandes für reine Wohngebiete der öRL ($f_R=1.0$) mit dem empirischen Modell ($h_G=3\%$) für drei Bestandgrößen (Anzahl der Mastschweine N)

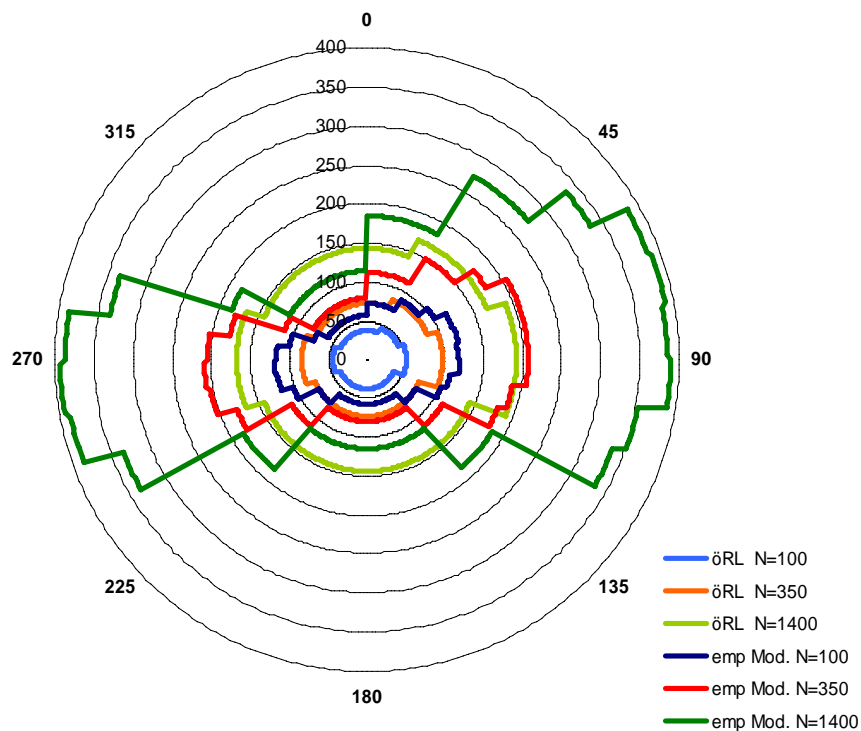


Abb. 27: Vergleich des Schutzabstandes für allgemeine Wohngebiete der öRL ($f_R=0.7$) mit dem empirischen Modell ($h_G=8\%$) für drei Bestandgrößen (Anzahl der Mastschweine N)

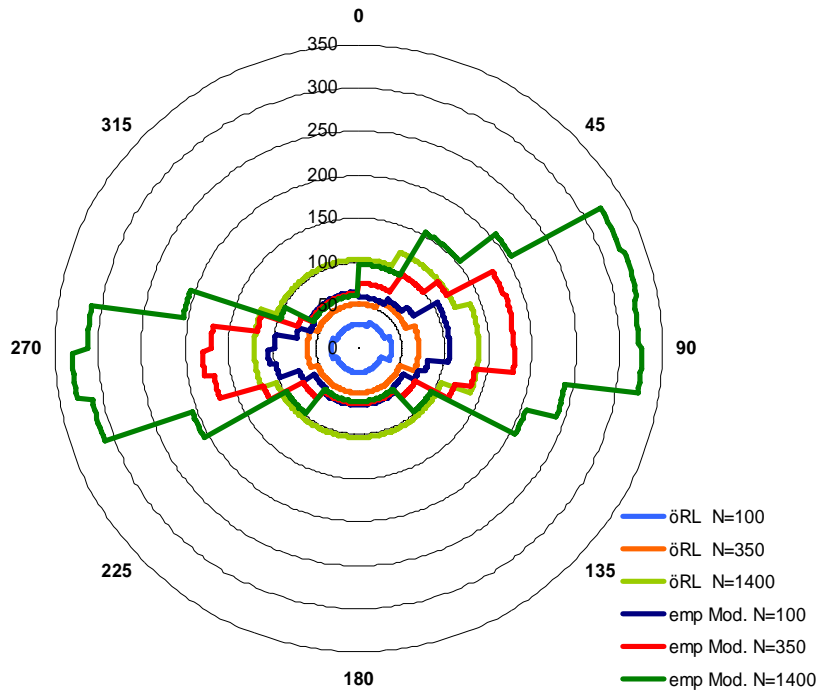


Abb. 28: Vergleich des Schutzabstandes für gemischte Wohngebiete der öRL ($f_R=0.5$) mit dem empirischen Modell ($h_G=15\%$) für drei Bestandgrößen (Anzahl der Mastschweine N)

Tab. 14: Verhältnis des Schutzabstandes des empirischen Modells zum Schutzabstand der öRL für reines Wohngebiet ($f_R=1.0$ bzw $h_G=3\%$), für allgemeines Wohngebiet ($f_R=0.7$ bzw $h_G=8\%$) und für gemischtes Wohngebiet ($f_R=0.5$ bzw $h_G=15\%$) für drei Bestandgrößen mit 100, 350 und 1400 Mastschweinen (N)

	Reines Wohngebiet			Allgemeines Wohngebiet			Gemischtes Wohngebiet			
	N	100	350	1400	100	350	1400	100	350	1400
Max		2.32	2.49	2.73	2.64	2.50	2.35	3.24	2.99	2.74
MW		1.84	1.79	1.76	1.90	1.63	1.39	2.42	1.71	1.24
Min		1.55	1.39	1.22	1.51	1.11	0.79	1.86	1.22	0.59

Die Berechnungen wurden für reines Wohngebiet (Abb. 26 mit $f_R=1.0$ bzw $h_G=3\%$), für allgemeines Wohngebiet (Abb. 27 mit $f_R=0.7$ bzw $h_G=8\%$) und für gemischtes Wohngebiet (Abb. 28 mit $f_R=0.5$ bzw $h_G=15\%$) erstellt. Die Ergebnisse zeigen, daß das empirische Modell einen deutlich größeren Einfluß der Windrichtungshäufigkeit auf den Schutzabstand aufweist als die öRL. Während die öRL nur 8 Windrichtungen

unterscheidet, liefert das empirische Modell ein deutlich differenzierteres Bild. Für den Vergleich wurden die Berechnungen mit einer 10° Windrose erstellt.

In **Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.** ist die Statistik des Quotienten der Schutzabstände des empirischen Modells und der öRL zusammengefasst. Während für reines Wohngebiet das empirische Abstandsmodell in allen Fällen höher Schutzabstände als die öRL liefert, ist bei großen Beständen (N=1400 Mastschweine) auch eine Umkehrung der Verhältnisse möglich. Die Schutzabstände der öRL sind dann teilweise größer als die des empirischen Abstandsmodells. Dies trifft bei geringen Windrichtungshäufigkeiten (nördliche und südliche Winde) zu (allgemeine Wohngebiete (Abb. 27) und gemischte Wohngebiete (Abb. 28)).

Im Mittel liegen die Abstände des empirischen Modells um den Faktor 1.24 bis 2.42 über den Werten der öRL.

7 Zusammenfassung

In der Pilotstudie wurden die Möglichkeiten der Erstellung eines empirischen Abstandsmodells zur Berechnung eines Schutzabstandes zwischen der Wohnbebauung und der landwirtschaftlichen Tierhaltung untersucht. Die Berechnung des Schutzabstandes erfolgte anhand des Austrian Odour Dispersion Models (AODM). Die Modellrechnungen wurden für Wels durchgeführt. Dieser Ort kann als weitgehend repräsentativ für das gesamte nördliche Alpenvorland angesehen werden. Als Quellstärke wurde eine Geruchsstoffemission von 500, 2000 und 8000 GE/s gewählt. Die Schutzabstände wurden für einen Konzentrationsschwellenwert von 1 GE/m³ und für insgesamt drei Überschreitungshäufigkeiten der Geruchswahrnehmung h_G von 3%, 8% und 15% berechnet. Weiters wurde der maximale Abstand, in dem eine Geruchswahrnehmung angenommen werden kann analysiert. Dieser Abstand entspricht einer Überschreitungshäufigkeit von 0%.

An die Schutzabstände, die mit Hilfe des AODM berechnet wurden, wurden zwei Regressionsmodelle angepaßt. Das erste basiert auf den Vorarbeiten, die in einer VDI-Arbeitsgruppe geleistet wurden, das zweite Modell ist ein diskretes Modell, für das für jede Überschreitungshäufigkeit der Geruchswahrnehmung h_G und für insgesamt 11 Klassen der Windrichtungshäufigkeit h_W ein eigenes Regressionsmodell berechnet wurde. Das diskrete Modell weist eine bessere Modellgüte auf als das VDI-Modell.

Die Abweichungen der Schutzabstände, die durch das Ausbreitungsmodell AODM im Vergleich zu den beiden empirischen Modellen berechnet wurden, weisen keinen nennenswerten Bias im Hinblick auf Windrichtung, Windgeschwindigkeit sowie den Anteil an stabilen bzw. labilen Wetterlagen auf.

Der Einfluß der Quellkonfiguration (Punkt- vs. Flächenquelle) zeigt, daß sich für die Flächenquellen höhere Schutzabstände ergeben als für Punktquellen. Diese Unterschätzung des Schutzabstandes durch die Punktquelle könnte durch die Berücksichtigung der geometrischen Ausdehnung der Flächenquelle reduziert werden.

Der Vergleich der Schutzabstände aus dem empirischen Abstandsmodell (diskretes Modell für Punktquellen) und der öRL zeigt, daß die Schutzabstände der öRL im allgemeinen deutlich unterhalb derer des empirischen Modells liegen. Nur bei sehr geringen Windrichtungshäufigkeiten überschätzt die öRL die Schutzabstände.

Anhand der Pilotstudie konnte gezeigt werden, daß der gewählte Ansatz des empirischen Abstandsmodells geeignet ist, eine vereinfachte Parameterisierung der Modellergebnisse des Ausbreitungsmodells zu liefern.

8 Literatur

- Briggs, G. A. Plume rise predictions. Lectures on air pollution and environmental impact analysis, AMS, Boston, pp. 59 – 111 (1975).
- Carson, J., H. Moses. The validity of several plume rise formulas. J. Air Poll. Contr. Ass., 19 (1969) 862 - 866.
- Hanna, S. R. and J. C. Chang (1992): Boundary-Layer parameterisations for applied dispersion modelling over urban areas. Boundary – Layer Meteorol. 58, 229 – 259.
- Kolb, H.. Ein normatives Modell zur Simulierung der Ausbreitung von Schadstoffen in der Atmosphäre unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in Österreich. [A regulative model to simulate the dispersion of pollutants in the atmosphere for the situation in Austria]. University of Vienna, Publ. Nr. 29 (1981).
- Mylne, K. R. and P. J. Mason: Concentration fluctuation measurements in a dispersing plume at a range of up to 1000 m. Quarterly J. Royal Meteorol. Soc. 117 (1991) 177 – 206.
- ÖNorm M 9440, 1992/1996. Ausbreitung von luftverunreinigenden Stoffen in der Atmosphäre; Berechnung von Immissionskonzentrationen und Ermittlung von Schornsteinhöhen [Dispersion of pollutants in the atmosphere – calculation of the ambient air concentrations and determination of stack heights]. Österreichisches Normungsinstitut, Vienna.
- Pechinger, U., E. Petz. Model evaluation of the Austrian Gaussian plume model ON M 9440: comparison with the Kincaid dataset. Int. J. Environment and Pollution 5 (1995) 338 - 349.
- Piringer M., Schauburger G.: Comparison of a Gaussian diffusion model with guidelines for calculating the separation distance between livestock farming and residential areas to avoid odour annoyance. Atmospheric Environment, 33 (1999): 2219–2228.
- Reuter, H.; 1970. Die Ausbreitungsbedingungen von Luftverunreinigungen in Abhängigkeit von meteorologischen Parametern [Dispersion conditions of airborne pollutants in dependence on meteorological parameters]. Archiv für Meteorologie und Geophysik, Bioklimatologie A, 19, 173-186
- Schauburger G., Piringer M., Petz E.: Calculating direction-dependent separation distance by a dispersion model to avoid livestock odour annoyance. Biosystems Engineering, 82 (2002)2 : 25-37 [DOI: 10.1006/bioe.2001.0043]
- Schauburger G., Piringer M.: Assessment of the odour concentration in the near-field of small sources. Environmental Odour Management. VDI Berichte 1850, VDI Verlag, Düsseldorf, 343-352.
- Schauburger G., Piringer M.: Predicting odour impact using the Austrian odour dispersion model (AODM). Water Science and Technology 44 (2001) 9: 197-204
- Schauburger, G. and M. Piringer, 2001: Predicting odour impact using the Austrian odour dispersion model (AODM). Water Science and Technology 44, No. 9, 197 – 204.
- Schauburger, G.; Piringer, M.; Petz, E.; 2001. Separation distance to avoid odour nuisance due to livestock calculated by the Austrian odour dispersion model (AODM). Agriculture, Ecosystems & Environment, 87 (1) 13-28
- Smith, M. E: Recommended guide for the prediction of the dispersion of airborne effluents. ASME, New York (1973).