

**Ingenieurbüro
Dr.-Ing. Achim Lohmeyer
Karlsruhe und Dresden**
Strömungsmechanik
Immissionsschutz
Windkanaluntersuchungen

Mohrenstraße 14
01445 Radebeul

Telefon: 0351 / 83 914 - 0
Telefax: 0351 / 83 914 59
Email: lohmeier_dd@t-online.de
USt-IdNr.: DE 143545044

**FuE-VORHABEN "MODELLIERUNG DES
AUSBREITUNGSVERHALTENS VON
LUFTFREMDEN SCHADSTOFFEN/
GERÜCHEN BEI NIEDRIGEN QUELLEN
IM NAHBEREICH"**

Auftraggeber: Sächsisches Landesamt
für Umwelt und Geologie
Altwahnsdorf 12
01445 Radebeul

Dipl.-Met. A. Rühling

Dr.-Ing. A. Lohmeyer

Dezember 1998

Projekt 2043

INHALTSVERZEICHNIS

1 ZUSAMMENFASSUNG	1
2 VERANLASSUNG	4
3 PROBLEME BEIM EINSATZ VON GAUSSFAHNENMODELLEN	5
3.1 Höhenabhängigkeit der Windgeschwindigkeit	5
3.2 Ausbreitungsparameter	6
3.3 Gebäudeeinflüsse	7
4 STAND DER ARBEITEN IN DEUTSCHLAND UND ANGRENZENDEN LÄNDERN.....	8
4.1 VDI.....	8
4.2 Landesbehörden	9
4.3 Umweltbundesamt.....	9
4.4 Universitäten	9
4.5 Angrenzende europäische Länder	9
5 ERARBEITUNG EINER EMPFEHLUNG FÜR SACHSEN.....	10
5.1 Ausbreitungsmodell Stundenmittelwert	10
5.1.1 Anwendungsfall 1: Ebenes Gelände, keine Gebäude	11
5.1.2 Anwendungsfall 2: Ebenes Gelände, mit Gebäuden, Nahfeld.....	11
5.1.3 Anwendungsfall 3: Ebenes Gelände, mit Gebäuden, Fernfeld.....	15
5.1.4 Anwendungsfall 4: Mit Topographie, keine Gebäude.....	16
5.1.5 Anwendungsfall 5: Mit Topographie, mit Gebäuden, Nahfeld	16
5.1.6 Anwendungsfall 5: Mit Topographie, mit Gebäuden, Fernfeld.....	16
5.1.7 Sonderfälle	17
5.1.8 Zusammenfassung Ausbreitungsmodell Mittelwert.....	17
5.2 Fluktuations- und Bewertungsmodell	18
6 VALIDIERUNG	22
6.1 Validierung mit den Auberg-Begehungsdaten	22
6.2 Validierung anhand von Rasterbegehungsdaten	26
7 SENSITIVITÄTSSTUDIE	30
7.1 Anwendungsfall 1: Ebenes Gelände, keine Gebäude.....	31
7.2 Anwendungsfall 2: Ebenes Gelände, mit Gebäuden, Nahfeld	38
7.3 Anwendungsfall 3: Ebenes Gelände, mit Gebäuden, Fernfeld.....	42

7.4 Weitere Anwendungsfälle.....	45
7.5 Kaltluft	49
7.6 Auswertung	53
7.6.1 Einfluß Lüftungsregime	53
7.6.2 Gebäude mit Emission.....	54
7.6.3 Umgebende Gebäude	55
7.6.4 Geländerauhigkeit	55
7.6.5 Zusammenfassung von Quellen	56
7.6.6 Fahnenüberhöhung	56
7.6.7 Quellhöhe	57
7.6.8 Sonstiges.....	57
8 LITERATUR.....	58
A1 UMFRAGE ÜBER DIE VORGEHENSWEISE IN ANGRENZENDEN EUROPÄISCHEN LÄNDERN	64
A1.1 Niederlande.....	64
A1.2 Österreich	65
A1.3 Schweiz.....	65
A1.4 Dänemark.....	66
A2 ZUSATZINFORMATIONEN BEZÜGLICH MODELLIERUNGSTECHNIKEN UND MODELLAUSWAHL	67
A2.1 Allgemeines.....	67
A2.2 Numerische Modellierung	68
A.2.2.1 Gaußfahnenmodelle	68
A2.2.2 Gauß-Wolken-Modelle	70
A2.2.3 Strömungsmodellierung für ein Euler- oder Lagrangemodell	70
A2.2.4 Ausbreitungsmodellierung mit Eulermodellen.....	71
A2.2.5 Ausbreitungsmodellierung Lagrangemodell.....	72
A2.3 Physikalische Modellierung im Windkanal	72
A2.3.1 Strömungsmodellierung.....	72
A2.3.2 Ausbreitungsmodellierung	73
A2.4 Modellauswahl	73
A2.4.1 Allgemeines	73
A2.4.2 Modellwahl	73

A3 TABELLARISCHE AUSWERTUNG DER FLUKTUATIONSMESSUNGEN.....	75
A4 BAGEG, EMIAK	81

Hinweis:

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

Literaturstellen sind im Text durch Name und Jahreszahl zitiert.

Es werden Dezimalpunkte (entspricht wissenschaftlicher Darstellung) verwendet, keine Dezimalkommata. Eine Abtrennung von Tausendern erfolgt durch Leerzeichen.

1 ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Durchführung der in Sachsen anzuwendenden Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL) können mit den üblicherweise für die Ausbreitungsrechnung eingesetzten Gaußfahnenmodellen entscheidungsrelevante Unsicherheiten entstehen, weil diese Modelle mangels „gängiger“ Alternativen zum Teil in Situationen angewendet werden, für die sie nicht vorgesehen sind. Mit dem vorliegend beschriebenen Projekt wird ergänzend für einige solcher Anwendungsfälle eine Alternative erarbeitet. Diese Alternative ist insbesondere für folgende Fälle geeignet: Ausbreitungsrechnung im Bereich von Wohngebäuden in 20 m bis 200 m Entfernung von Tierställen und den dazugehörigen Gülle- und Dunglagerplätzen, Quellhöhe 0 m bis 10 m, Quellen zum Teil auf oder an Gebäuden, ggf. weitere Gebäude in Luv und Lee der Quelle(n) in 20 m bis 200 m Entfernung, Topographie bis in 200 m Entfernung. Sie soll in diesen Fällen für eine Verbesserung und eine beschleunigte Erstellung der Grundlagen dienen, auf denen Entscheidungen für Genehmigungen gefällt werden.

Im vorliegenden Bericht werden zunächst die Mängel einer Ausbreitungsrechnung mit einem Gaußfahnenmodell in den o.a. Fällen aufgezeigt. Dann wird erläutert, daß beim VDI, in anderen Bundesländern und in den umliegenden Ländern der EU keine anwendungsreifen, „nicht-gauß'schen“ Verfahren zur detaillierten Ausbreitungsrechnung in den o.a. Fällen gefunden wurden, die im wünschenswerten Maße ausgereift und validiert sind. Es sind zwar Verfahren in der Entwicklung, auf deren Fertigstellung und Validierung konnte jedoch wegen des erforderlichen Fertigstellungstermins für die vorliegende Studie nicht gewartet werden.

Als erstes Ergebnis der vorliegenden Studie wird als Handlungsempfehlung für die Ausbreitungsrechnung in den o.a. Fällen folgendes zweistufige Vorgehen beschrieben:

Stufe1) Ausbreitungsmodellierung zur Relevanzüberprüfung

Wie bisher Ausbreitungsrechnung und Beurteilung der Situation anhand der bisher gebräuchlichen (kostengünstig einzusetzenden) Verfahren, wie z. B. TA Luft, ODIF oder TALAR. Damit anhand der errechneten Konzentrationen Überprüfung bzw. Abschätzung, ob die Genehmigungsfähigkeit einer Anlage offensichtlich besteht oder ob sie offensichtlich nicht besteht. Anwendung der im folgenden für Stufe 2 beschriebenen komplexen Verfahren nur dann, wenn Zweifel bestehen. Wann solche Zweifel angebracht sind, ist nicht sicher anzugeben. In erster Näherung wird diesbezüglich der Ansatz einer Abweichung zwischen Rechenergebnis und Grenzwert (10 % Häufigkeit) von mindestens dem Faktor 2 empfohlen, d.h. bei Berechnungen, die eine jährliche Häufigkeit von Geruchsstunden von 5 % bis 20 % der Stunden des Jahres ausweisen sind Zweifel angebracht.

Stufe 2) Komplexe Ausbreitungsmodellierung der Geruchsstoffkonzentration

2.1) Mangels Alternative wird trotz nicht in wünschenswertem Umfang vorhandener Reife und Validierung der Modelle als zunächst gangbarer Weg empfohlen: Berechnung von Stundenmittelwerten der Geruchsstoffkonzentration mit dem Lagrangeschen Ausbreitungsmodell LASAT. Falls Gebäudeeinflüsse auf das Strömungsfeld zu berücksichtigen sind, erfolgt der Einsatz des Strömungsteils des prognostischen Modells MISKAM. Falls Einflüsse von Topographie zu berücksichtigen sind, erfolgt Einsatz des diagnostischen Windfeldmodells von LASAT. Falls gleichzeitig Einflüsse von Topographie und Gebäuden zu berücksichtigen sind, wird unterschieden zwischen Nahfeld (Entfernung der Untersuchungspunkte von der Quelle weniger als 20 Gebäudehöhen) und Fernfeld. Im Nahfeld erfolgt die Berechnung des Strömungsfeldes mit MISKAM, die Ausbreitungsrechnung mit LASAT, Topographie geht nur über die topographiebeeinflusste Windstatistik ein. Im Fernfeld erfolgt die Berechnung des Strömungsfeldes mit dem diagnostischen Windfeldmodell von LASAT, die Ausbreitungsrechnung mit LASAT, die Gebäude gehen in das Strömungsfeld örtlich nur als parametrisierte Rauigkeiten ein.

2.2) Auch die verfügbaren Konzentrationsfluktuationsmodelle sind nicht im wünschenswerten Zustand. Als zunächst gangbarer Weg für die Berücksichtigung der Konzentrationsfluktuationen und der Berücksichtigung, daß laut GIRL eine Stunde bereits dann als Geruchsstunde zu zählen ist, wenn es in 6 Minuten der Stunde zu Geruchswahrnehmungen kommt, wird folgendes Vorgehen empfohlen: Nicht Ansatz des Faktors 10 wie beim Einsatz des TA Luft-Modells sondern Ansatz eines Faktors 4. Dieser Faktor 4 wurde im Rahmen der vorliegenden Studie ermittelt als das Maximum aus einer Vielzahl von veröffentlichten Meßwerten aus der Natur, sowie aus einer Vielzahl von Messungen im Windkanal. Die Meßergebnisse zeigen, daß der Faktor im Bereich zwischen 2 und knapp 4 liegt, je nach Windgeschwindigkeit, Abstand von der Quelle, Einflüssen von Gebäuden etc., diese Abhängigkeiten wurden im Rahmen der vorliegenden Studie jedoch nicht näher parametrisiert.

Der o.a. Faktor 4 darf nicht bei der Anwendung von Gaußfahnenmodellen eingesetzt werden, dort muß es beim durch Messungen belegten Faktor 10 bleiben. Der Faktor 4 in Verbindung mit komplexeren Modellen als dem Gaußfahnenmodell bedeutet nicht unbedingt, daß mit dem komplexen Verfahren niedrigere jährliche Häufigkeiten von Geruchswahrnehmungen im Vergleich zu einer TA Luft-Modellierung errechnet werden, denn z. B. bei niedriger aerodynamischer Geländerauhigkeit errechnet LASAT höhere Stundenmittelwerte der Konzentration als die TA Luft (bei hoher Geländerauhigkeit allerdings nicht).

Der vorliegende Endbericht beinhaltet eine erste, im Rahmen der vorliegenden Studie nicht systematisch durchführbare, Validierung des vorgeschlagenen Rechenverfahrens. Dafür werden 2 Methoden verwendet: a) Die Fälle werden nachgerechnet, anhand derer das bestehende TA Luft Faktor-10-Modell entwickelt und validiert wurde. Damit wird geprüft, ob das im vorliegenden Projekt vorgeschlagene Rechenverfahren dabei zumindest gleich gut abschneidet. b) Stichprobenartige Überprüfung der Rechenergebnisse anhand von vorliegenden Datensätzen.

Die zu Punkt a durchgeführte Überprüfung der vorgeschlagenen Rechenverfahren anhand der Daten des "Auberg-Experimentes" des Landesumweltamtes (LUA) Nordrhein-Westfalen ergab eine Übereinstimmung der berechneten Geruchsfahnen mit den Fahnenbegehungen. Die Abweichungen lagen in derselben Größenordnung wie für das TA Luft Faktor-10-Modell (ca. 60 % der Fälle Übereinstimmung, ca. 30 % Überschätzungen und weniger als 10 % Unterschätzung).

Die zu Punkt b durchgeführte stichprobenhafte Nachrechnung einer Rasterbegehung des Landesumweltamtes (LUA) Nordrhein-Westfalen in der Umgebung eines Schweinemastbetriebes zeigte tendenziell eine Unterschätzung des Begehungsergebnisses durch die Modellrechnung. Die Modellergebnisse lagen jedoch weitestgehend innerhalb des 99%-Vertrauensbereichs der Begehungsdaten. Aufgrund des z. T. auch vom LUA erkannten weiteren Untersuchungsbedarfs bezüglich der Ergebnisse der Begehung, kann keine vertiefte Wertung der Relevanz der Unterschätzung erfolgen.

Die vorliegende Studie wird abgeschlossen mit einer ersten Überprüfung der Sensitivität der Rechenergebnisse auf die Eingangsdaten der Ausbreitungsrechnung. Untersucht wurden die Einflüsse des Lüftungsregimes, des Gebäudes an dem emittiert wird, der umgebenden Gebäude, der Geländerauhigkeit, der Zusammenfassung von Quellen, der Fahnenüberhöhung und der Quellhöhe. Die Ergebnisse können verwendet werden bei der Beurteilung von dem LfUG vorgelegten Gutachten wenn es um die Frage geht, ob die Ausbreitungsrechnung realistisch oder eher zu optimistisch oder zu pessimistisch durchgeführt wurde.

2 VERANLASSUNG

Die derzeitige praktische Handhabung der Ausbreitungsrechnung bei Gutachten zur in Sachen anzuwendenden GIRL ist oft unbefriedigend. Die gängigerweise verwendeten Modelle dürften teilweise eigentlich in Entfernungen < 100 m von der Quelle nicht angewendet werden (z. B. RL VDI 3782 Bl. 1 bzw. TA Luft oder ODIF, d.h. alle Gaußfahnenmodelle), teilweise vernachlässigen sie wichtige strömungstechnische / physikalische Gegebenheiten der Ausbreitung (z. B. Gebäudeeinflüsse) und teilweise ist unklar, wie einzelne Aspekte zu behandeln sind (z. B. Zusammenfassung von mehreren Quellen oder Bestimmung der effektiven Quellhöhe bei bodennahen Quellen). Andererseits ist aber auch nur unzureichend bekannt, welche Modelle eine seriöse Modellierung ermöglichen und wie bei einzelnen Teilaspekten vorzugehen ist.

Es ist Ziel des vorliegend beschriebenen Projektes, ein Modell auszuwählen oder zu modifizieren für folgenden Anwendungsbereich: Immissionsprognose im Bereich von Wohngebäuden in 20 m bis 200 m Entfernung von Tierställen und den dazugehörigen Gülle- und Dunglagerplätzen. Nicht Emissionsbestimmung, nicht Bewertung. Zu berücksichtigende Parameter: Quellhöhe 0 m bis 10 m, Lüftungsregimes wie z. B. in RL VDI 3471 beschrieben, eine Punktquelle, mehrere Punktquellen, Flächen- und Volumenquellen, Quellen zum Teil auf oder an Gebäuden, ggf. weitere Gebäude in Luv und Lee der Quelle(n) in 5 m bis 200 m Entfernung, Schornsteinüberhöhung, Topographie.

Mit dem Modell soll im Rahmen einer Sensitivitätsstudie der Einfluß verschiedener Parameter auf die Geruchsstoffimmissionen untersucht werden: Lüftungsregime, Gebäude auf denen oder an denen emittiert wird, im Ausbreitungspfad befindliche Gebäude, Geländerauhigkeit, Zusammenfassung mehrerer Quellen, Einfluß thermischer sowie impulsbedingter Abluffahnenüberhöhung, Quellhöhe und auch Einfluß von Kaltluftabflüssen.

Auf der Basis dieser Untersuchungen soll die Beurteilbarkeit von Gutachten durch das LfUG verbessert werden, andererseits soll ermöglicht werden, den Gutachtern auf soliderer Basis als bisher Empfehlungen oder Vorgaben für die Ausbreitungsrechnungen in ihren Gutachten zu machen.

3 PROBLEME BEIM EINSATZ VON GAUSSFAHNENMODELLEN

Da Gaußfahnenmodelle die in Bodennähe starke Höhenabhängigkeit der Windgeschwindigkeit nicht berücksichtigen, da ihre Ausbreitungsparameter im allgemeinen nicht für die Ausbreitung aus bodennahen Quellen gelten, da diese Ausbreitungsparameter auch nur für Entfernungen zwischen Quelle und Untersuchungspunkt von mehr als 100 m gültig sind und da Gaußfahnenmodelle Gebäudeeinflüsse nur über sehr vereinfachte empirische Korrekturfaktoren berücksichtigen können, sind sie für die Aufgabenstellung des vorliegenden FuE-Vorhabens (Quellhöhe 0 m bis 10 m, Entfernungsbereich 20 m bis 200 m, Berücksichtigung von Gebäudeeinflüssen) im Grundsatz nur schlecht geeignet. Da es jedoch gebräuchliche Modelle sind, werden diese Mängel im folgenden näher erläutert.

3.1 Höhenabhängigkeit der Windgeschwindigkeit

Das im Anhang C der TA Luft gegebene Ausbreitungsmodell enthält bei der Anwendung für das Aufgabengebiet der vorliegenden Studie die zuvor geschilderten Probleme eines Gaußfahnenmodells. Es wurde für den Einsatzbereich der TA Luft, also die Anwendung bei hohen Schornsteinen entwickelt. In diesem Einsatzbereich kommt keiner der o.a. Mängel zum Tragen, das passiert erst, wenn das Modell in den bei der vorliegenden Studie relevanten Fällen eingesetzt wird.

Ein Problem ist z. B. die Notwendigkeit der Angabe der Windgeschwindigkeit in effektiver Quellhöhe. Bei einer Bodenquelle ist die effektive Quellhöhe $h = 0$. In dieser Höhe gilt für die Windgeschwindigkeit in Quellhöhe u_h , aber $u_h = 0$. Damit errechnet sich in jeder Entfernung von der Quelle eine unendlich hohe Immission. Um sich aus diesem Dilemma zu retten, wird in der Praxis bei Bodenquellen die Windgeschwindigkeit in einer Höhe h größer 0 eingesetzt, für deren Wahl jedoch oft keine stichhaltige Begründung geliefert werden kann. Häufige Werte für den Ansatz der effektiven Quellhöhe liegen zwischen 1 m und 10 m. **Tab. 3.1** zeigt, daß dadurch der errechnete Konzentrationswert bis zum Faktor 2 beeinflußt werden kann.

Alle direkt auf dem Ausbreitungsmodell der TA Luft aufbauenden Modelle enthalten dieses Problem, nicht jedoch die auf RL VDI 3782 Bl. 1 aufbauenden. Die RL VDI 3782 Bl. 1 kompensiert das o. a. Problem der Angabe der Windgeschwindigkeit in effektiver Quellhöhe. Sie definiert (dort Abschnitt 6.1) statt dessen eine entfernungsabhängige Transportgeschwindigkeit und schaltet so die diesbezüglich bei der Anwendung der TA Luft auf Bodenquellen vorliegende Unsicherheit aus.

effektive Quellhöhe [m]	relative Konzentration (unabhängig von Windgeschwindigkeit)
h = 0	∞
h = 1	1.9
h = 3	1.4
h = 10	1.0

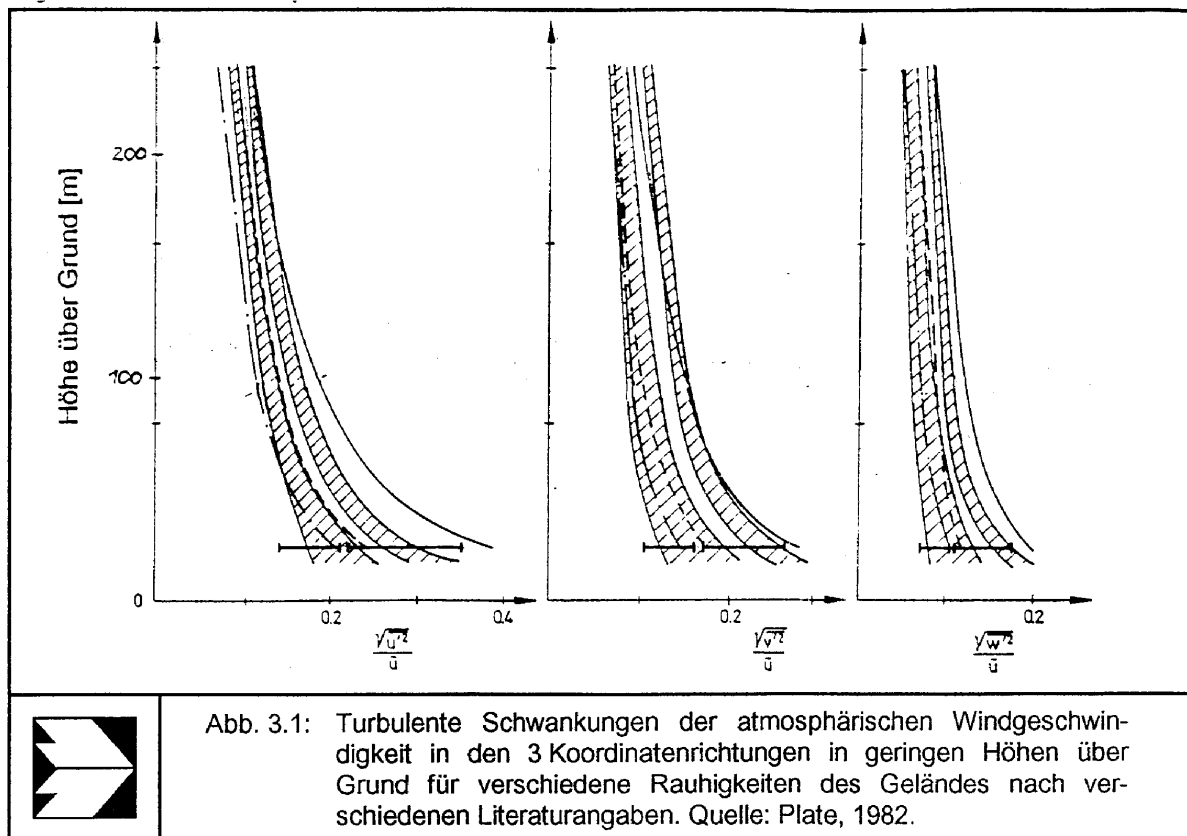
Tab. 3.1 Errechnete Konzentration in Abhängigkeit von der Wahl der effektiven Quellhöhe relativ zum Konzentrationswert bei einer effektiven Quellhöhe h von h = 10 m. Werte am Beispiel der Ausbreitungsklasse III/1.

3.2 Ausbreitungsparameter

Die RL VDI 3782 Bl. 1 weist darauf hin (dort Abschnitt 3), daß die Ausbreitungsparameter der Richtlinie (identisch mit denen der TA Luft) aus Experimenten im Entfernungsbereich > 100 m von der Quelle ermittelt wurden. Sie meldet damit Bedenken an gegen den Einsatz des Modells im Entfernungsbereich < 100 m, also einem Bereich, der für das vorliegende FuE-Vorhaben sehr wichtig ist. Theoretische Untersuchungen zeigen, daß der Verlauf der Ausbreitungsparameter für Entfernungen < 100 m eigentlich anders aussehen sollte als für Entfernungen > 100 m. In der angelsächsischen Literatur werden deshalb oft für den Entfernungsbereich < 100 m separate Ausbreitungsparameter empfohlen. In Deutschland hat sich dieses Verfahren jedoch bisher nicht durchgesetzt. Da das primäre Interesse des vorliegenden FuE-Vorhabens nicht auf der Gaußfahnenmodellierung liegt, wird deshalb darauf nicht näher eingegangen.

Im übrigen sind die Ausbreitungsparameter der TA Luft, dem Anwendungsbereich der TA Luft entsprechend, wegen ihrer Höhenabhängigkeit aus Messungen für vergleichsweise große Quellhöhen bestimmt worden. Nur dafür sind diese Ausbreitungsparameter seriös einsetzbar. Die starke Höhenabhängigkeit der Wind- und Turbulenzverhältnisse (siehe **Abb. 3.1**) gerade in Höhen unterhalb 50 m verdeutlicht die Unsicherheiten bei der Anwendung der für größere Quellhöhen vorgesehenen Ausbreitungsparameter. In dieser **Abb. 3.1** ist u der horizontale Windgeschwindigkeitsvektor in Hauptströmungsrichtung, v der horizontale Windgeschwindigkeitsvektor senkrecht dazu und w der vertikale Windgeschwindigkeitsvektor, σ_x , σ_y und σ_z sind die Standardabweichungen der Windgeschwindigkeiten in den 3 Koordinatenrichtungen. Auf den 3 Abszissen sind die Standardabweichungen der Windge-

schwindigkeiten in den 3 Koordinatenrichtungen aufgetragen, jeweils dividiert durch \bar{u} , den Stundenmittelwert der Windgeschwindigkeit. Je größer der Wert auf der Abszisse, desto größer ist die örtliche Verwirbelung von Abgasen in dieser Höhenschicht.



3.3 Gebäudeeinflüsse

Die Berücksichtigung von Gebäudeeinflüssen bei Ausbreitungsrechnungen mit der TA Luft ist mit dem Programm AUSTAL (1987) möglich. Das Verfahren ist identisch mit dem Rechenverfahren der TA Luft, es bietet jedoch eine Erweiterung in Form eines empirischen Moduls zur Berücksichtigung von Gebäudeeinflüssen. Der Einfluß des Gebäudes, auf dem die Quelle sitzt, wird durch ein Herabsetzen der effektiven Quellhöhe und ein Vergrößern der Ausbreitungsparameter der Abgasfahne durch einen additiven Term quantifiziert. Eine Validierung dieses Verfahrens ist den Autoren des vorliegenden Berichtes nicht bekannt geworden, über die Güte kann deshalb nichts ausgesagt werden.

4 STAND DER ARBEITEN IN DEUTSCHLAND UND ANGRENZENDEN LÄNDERN

4.1 VDI

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) veröffentlichte im Oktober 1998 den Gründruck der Richtlinie „Ausbreitung von Geruchsstoffen in der Atmosphäre“ (RL VDI 3788 Bl. 1), in der Hinweise zur Ausbreitungsmodellierung von Geruchsstoffen gegeben werden. Diese Hinweise sind in Form allgemeiner Anforderungen an die Eingangsdaten, an die Ausbreitungsmodellierung und an die Qualitätssicherung der Modelle enthalten. Die Richtlinie gibt weniger konkrete Hinweise für die praktische Gutachtertätigkeit, sondern enthält vielmehr den Rahmen für Folgerichtlinien, welche dann ihrerseits die konkreten Hinweise geben sollen. So ist z. B. in RL VDI 3788 Bl. 1 eine sehr detaillierte Aufstellung gegeben mit den Parametern, welche bei der Immissionsprognose von Geruchsstoffen eine Rolle spielen. Die Folgeblätter, welche dann einzelne Modelle beschreiben, sollen dann genau darlegen, welche der Parameter sie berücksichtigen können, also Ihren Anwendungsbereich eindeutig definieren.

Herr Dr. Janicke hat auf dem Seminar der Firma IFU GmbH, Flöha, im Juni 1998 das von ihm entwickelte Modell MEPOD vorgestellt, auf welchem eine Folgerichtlinie zur o. a. RL VDI 3788 Bl. 1 aufgebaut werden wird. Dieses Modell soll sowohl für bodennahe Punkt- als auch Flächenquellen geeignet sein und die Konzentrationsfluktuationen durch komplexe Modellierung betrachten können, jedoch nicht den Einfluß von Gebäuden. Das Modell war zum Zeitpunkt der Projektbearbeitung noch nicht verfügbar. Sowie es zu Verfügung steht, sollte es auf jeden Fall für Anwendungsfall „ebenes Gelände, keine Gebäude“ (siehe Abschnitt 5.5.1) näher in Betracht gezogen werden, weil die Modellierung der Konzentrationsfluktuationen zumindest vom theoretischen Ansatz her vermutlich besser ist als das in der vorliegenden Studie, und das Verfahren zur Berechnung der Stundenmittelwerte der Konzentrationen möglicherweise nicht schlechter ist aber weniger Rechenzeit benötigt.

Seit Oktober 1997 vertreibt das Ingenieurbüro Lung, Berlin das zusammen mit Dr. Krause von der FAL Braunschweig entwickelte Modell BAGEG (Lung, 1997). Der Rechenkern ist ein Gaußfahnenmodell, der Einfluß von Gebäuden wird über eine Näherungslösung etwa wie in AUSTAL berücksichtigt, die Fluktuationen der Konzentrationen über eine begehungskalibrierte Häufigkeitsverteilung. Dieses Modell sowie das Modell EMIK wurden primär zur Anwendung im landwirtschaftlichen Bereich entwickelt. Nach Aussagen von Herrn Lung (Lung, 1997) streben die Entwickler an, dieses Modell für eine Folgerichtlinie zur o.a. RL VDI 3788 Bl. 1 bereitzustellen, diese Folgerichtlinie ist jedoch noch nicht fertiggestellt. Im Anhang A4 werden die beiden Modellen EMIK und BAGEG vorgestellt und bezüglich ihrer Verwendbarkeit im vorlie-

genden Projekt untersucht. Andere Geruchsausbreitungsmodelle auf Gaußfahnenbasis wurden bereits beim Länderausschuß für Immissionsschutz (LAI) untersucht und daher hier nicht gesondert aufgeführt.

4.2 Landesbehörden

Soweit abgefragt, sind bei den Landesbehörden keine Modelle im Einsatz oder in der Entwicklung, welche standardmäßig für die Aufgabenstellung der vorliegenden Studie eingesetzt werden.

4.3 Umweltbundesamt

Das Umweltbundesamt fördert gegenwärtig die Entwicklung des Kinematic Simulation Particle Models (KSP-Modell). Siehe dazu Yamartino et al. (1996) und Graff et al. (1998). Sein Einsatzbereich ist derjenige der TA Luft (Entfernungen < 30 km), es können damit jedoch auch Konzentrationsfluktuationen errechnet werden. Das Programm war zur Zeit des Abschlusses der vorliegenden Studie jedoch noch nicht verfügbar.

4.4 Universitäten

Am Institut für Meteorologie und Klimatologie der Universität Hannover wird derzeit ein Ausbreitungsmodell für Geruchsstoffe entwickelt, das auf der Basis eines entsprechenden Strömungsfeldes (z. B. durch ein prognostisches Strömungsmodell bereitgestellt) die Konzentrationsfluktuationen berechnet. Das Projekt ist noch nicht abgeschlossen, so daß derzeit keine Aussagen zur Güte und Verfügbarkeit möglich sind.

4.5 Angrenzende europäische Länder

Es wurde eine Recherche in den Niederlanden, der Schweiz, Österreich und Dänemark bezüglich der Berechnung von Geruchsstoffimmissionen im Bereich der Landwirtschaft durchgeführt. Primäres Ziel war die Suche nach Ausbreitungsmodellen, die sowohl Fluktuationen als auch eine Immissionszeitbewertung (Geruchsstunde) berücksichtigen und die man für die vorliegende Aufgabenstellung hätte übernehmen können. Für das Ergebnis der Recherche siehe Anhang A1. Es wurde nichts für das vorliegende Projekt direkt Verwertbares gefunden.

5 ERARBEITUNG EINER EMPFEHLUNG FÜR SACHSEN

Als erstes Ergebnis der vorliegenden Studie wird als Handlungsempfehlung für die Ausbreitungsrechnung in den o.a. Fällen folgendes zweistufige Vorgehen empfohlen. Grundlage der Empfehlung sind die Vorgaben der Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL).

Stufe 1) Ausbreitungsmodellierung zur Relevanzüberprüfung

Wie bisher Ausbreitungsrechnung und Beurteilung der Situation anhand der bisher gebräuchlichen (kostengünstig einzusetzenden) Verfahren, wie z. B. TA Luft, ODIF oder TALAR. Damit anhand der errechneten Konzentrationen Überprüfung bzw. Abschätzung, ob die Genehmigungsfähigkeit einer Anlage offensichtlich besteht oder ob sie offensichtlich nicht besteht. Anwendung der im folgenden für Stufe 2 beschriebenen komplexen Verfahren nur dann, wenn Zweifel bestehen. Wann solche Zweifel angebracht sind, ist nicht sicher anzugeben. In erster Näherung wird diesbezüglich der Ansatz einer Abweichung zwischen Rechenergebnis und Grenzwert (10 % Häufigkeit) von mindestens dem Faktor 2 empfohlen, d.h. bei Berechnungen, die eine jährliche Häufigkeit von Geruchsstunden von 5 % bis 20 % der Stunden des Jahres ausweisen sind Zweifel angebracht.

Stufe 2) Komplexe Ausbreitungsmodellierung der Geruchsstoffkonzentration

Für die komplexe Berechnung der Konzentrationen gibt es keine Modelle, die für den vorliegenden Einsatz im wünschenswerten Zustand validiert sind. Trotzdem wird nachfolgend eine Empfehlung für den Einsatz (und eine erste Validierung) von Modellen gegeben: Mit Hilfe eines Ausbreitungsmodells sollen zunächst die einzelnen Stundenmittelwerte der Geruchsstoffkonzentrationen innerhalb eines Jahres berechnet werden. Dieses Modell wird im folgenden „Ausbreitungsmodell Stundenmittelwert“ genannt. Anschließend wird aufbauend auf diese Stundenmittelwerte unter Berücksichtigung der Konzentrationsfluktuationen innerhalb einer Stunde und der in der GIRL festgelegten Definition der Geruchsstunde errechnet, welche der Stunden des Jahres als Geruchsstunden zu zählen sind. Das dafür vorgestellte Modell wird im folgenden „Fluktuations- und Bewertungsmodell“ genannt.

5.1 Ausbreitungsmodell Stundenmittelwert

Die im vorliegenden Projekt formulierten Anwendungsfälle bringen es wie in Kapitel 3 erläutert mit sich, daß die Gaußfahnenmodelle nicht anwendbar sind. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, auf komplexe Modelle zurückzugreifen. Da auch diese gewissen Einschränkungen un-

terliegen, werden typische Anwendungsfälle definiert in denen jeweils einzelne Modelle oder Kombinationen verschiedener Modelle verwendet werden sollen.

Von den in Anhang A2.4.2 beschriebenen Modellen halten die Autoren der vorliegenden Studie eine Kombination von Teilen aus den Modellpaketen LASAT (Version 2.6) und MISKAM (Version 3.5) aufgrund ihrer Verbreitung, des mehrjährigen Einsatzes in diversen Projekten sowie der weitestgehenden Übereinstimmung ihrer Möglichkeiten mit dem Forderungskatalog von Kapitel 2 am besten für die hier gestellte Aufgabe geeignet. Aus dem Paket LASAT wird das Lagrangesche Ausbreitungsmodell (Partikelmodell), das Strömungsmodell für ebenes Gelände und das diagnostische Modell zur Berechnung der Strömung im Einflußbereich von Topographie verwendet, aus dem Paket MISKAM das prognostische Modell zur Berechnung der Strömung im Einflußbereich von Gebäuden. Wie zuvor erwähnt gibt es keine Modelle, die für den vorliegenden Einsatz im wünschenswerten Umfang durch Vergleich mit Naturdaten validiert sind. Trotzdem wird die Empfehlung für den Einsatz von Modellen gegeben, da es sich dabei im Prinzip um renommierte Verfahren handelt, die zumindest viele der systembedingten Mängel der o. a. Gaußfahnenmodelle nicht enthalten. In den **Abb. 5.1** bis **5.6** werden die Anwendungsfälle und die jeweils anzuwendenden Modelle und Vorgehensweisen näher vorgestellt.

5.1.1 Anwendungsfall 1: Ebenes Gelände, keine Gebäude

Im einfachsten Fall befindet sich die Geruchsquelle in ebenem Gelände und die Ausbreitung wird nicht durch Gebäude beeinflusst. Siehe **Abb. 5.1**. Für Untersuchungspunkte in beliebigen Entfernungsbereichen (20 m bis 200 m) von der Quelle empfiehlt sich dann das Modell LASAT.

5.1.2 Anwendungsfall 2: Ebenes Gelände, mit Gebäuden, Nahfeld

Befinden sich in ebenem Gelände relevante Gebäude nahe der Quelle, (siehe **Abb. 5.2**) d.h. das Quellgebäude ist von Einfluß oder Gebäude im Ausbreitungspfad, und liegen Untersuchungspunkte im Nahbereich der Quelle, dann ist als Grundlage für die Ausbreitungsrechnungen zunächst mit MISKAM das Strömungsfeld (Windrichtung und Windgeschwindigkeit) für den Fall der neutral geschichteten Atmosphäre zu berechnen. Hierbei werden die einzelnen Gebäude mit ihren Abmessungen (Höhe, Grundriß) und Positionen im Gelände berücksichtigt. Dieses Strömungsfeld wird vom Ausbreitungsmodell LASAT übernom-

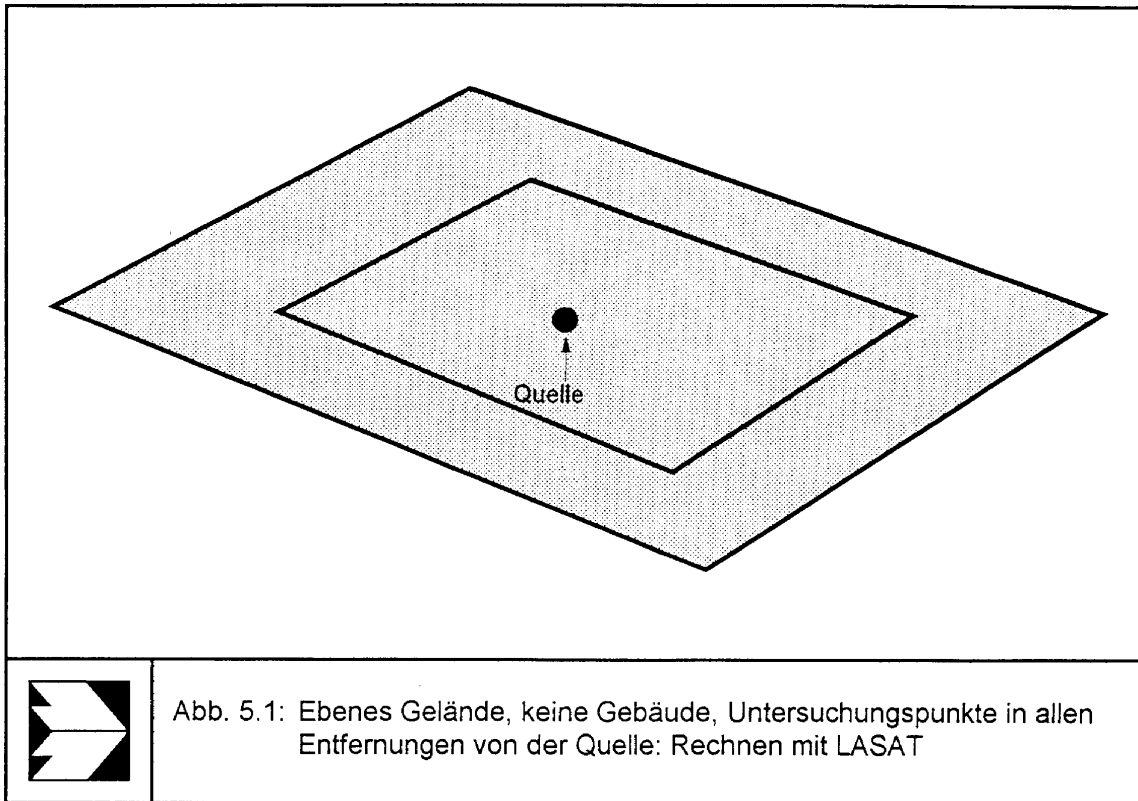


Abb. 5.1: Ebenes Gelände, keine Gebäude, Untersuchungspunkte in allen Entfernungen von der Quelle: Rechnen mit LASAT

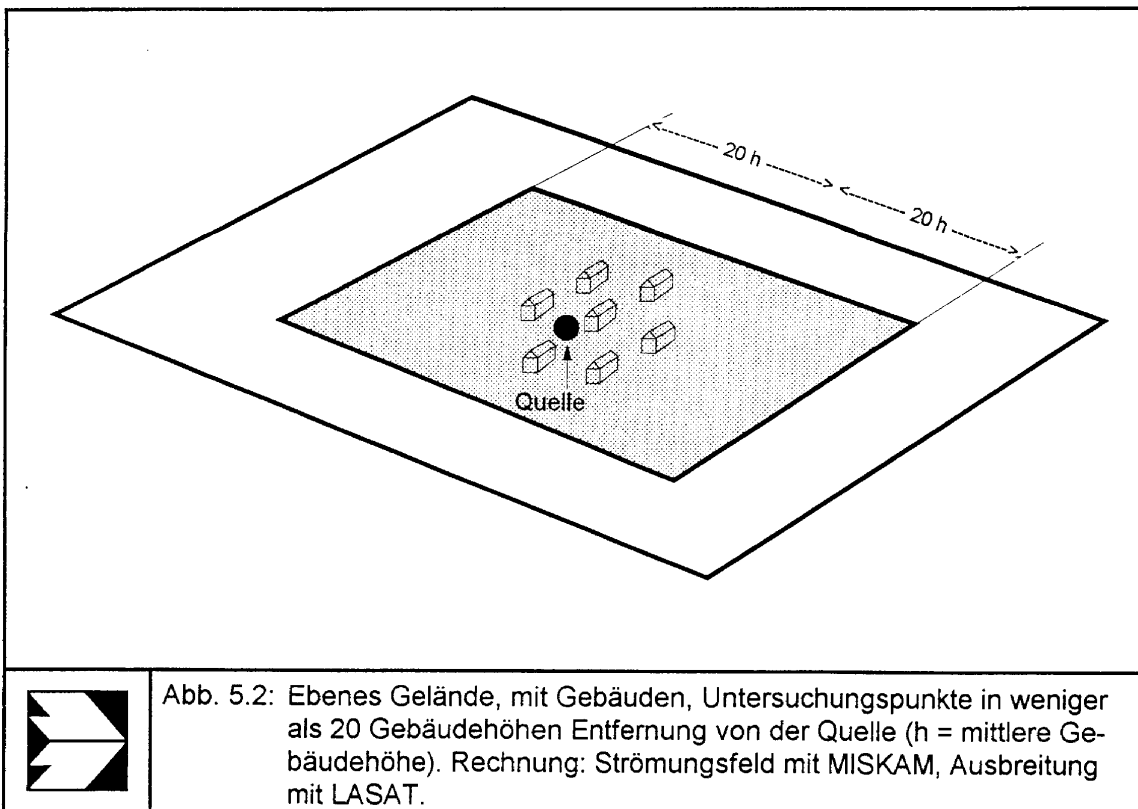
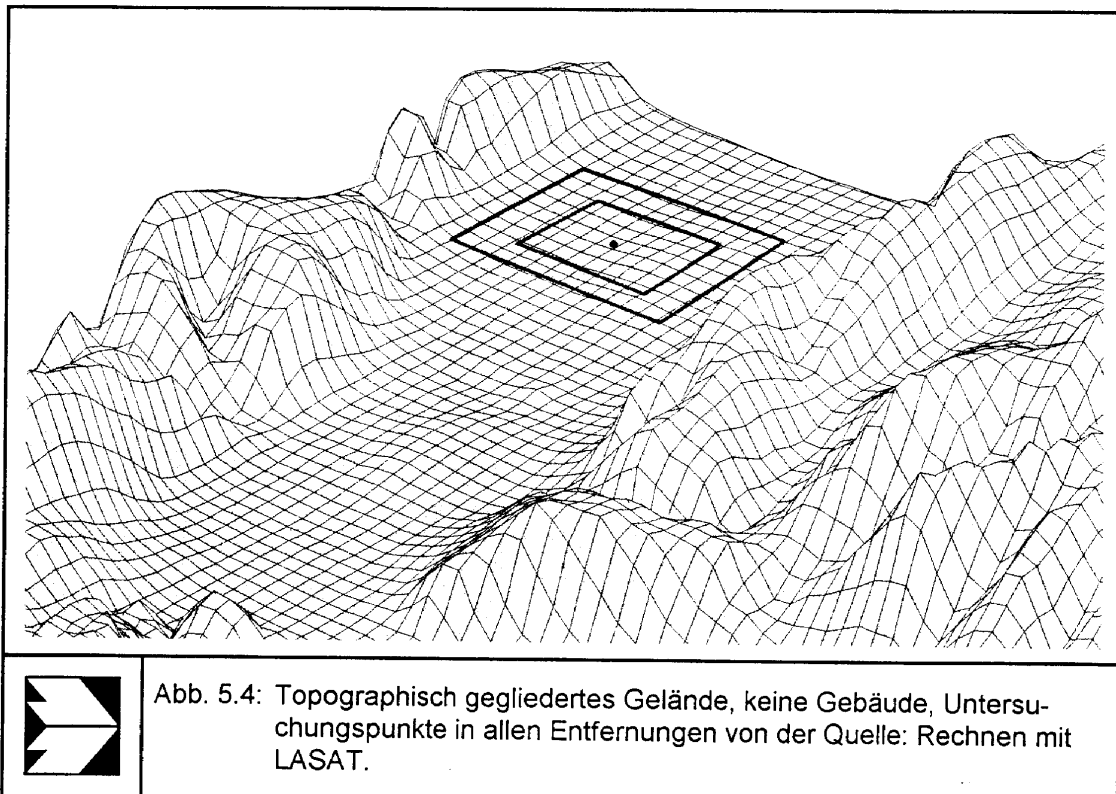
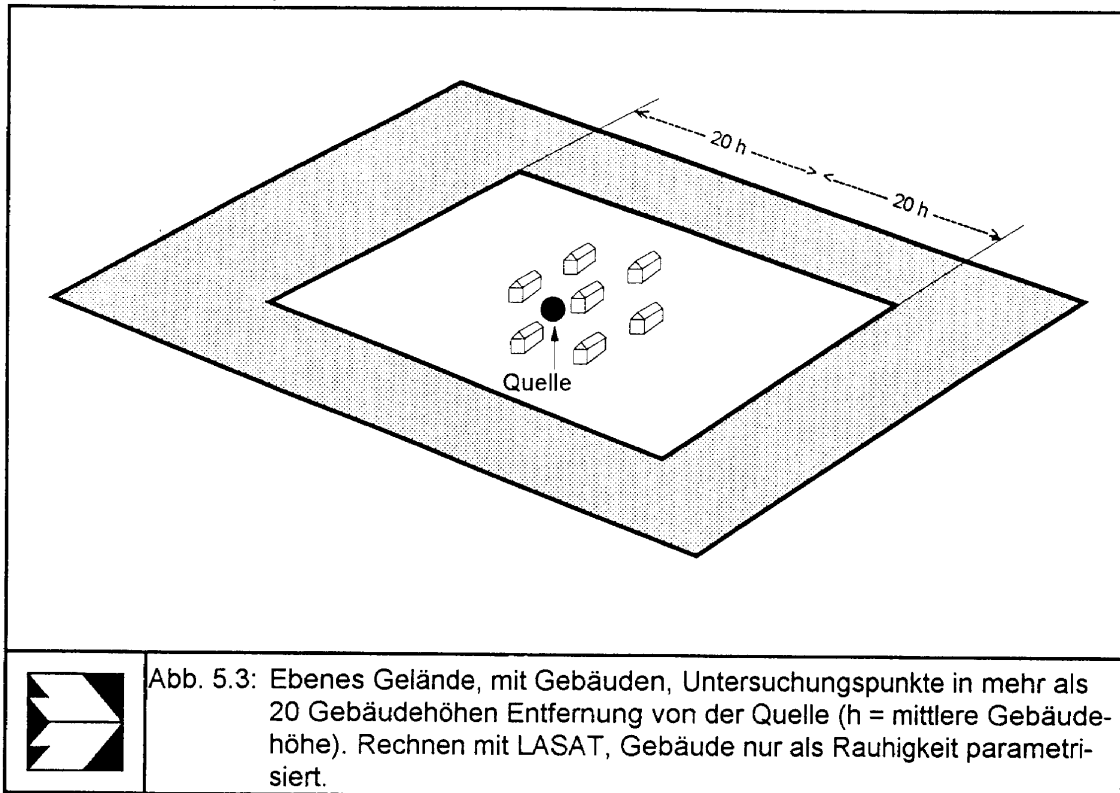


Abb. 5.2: Ebenes Gelände, mit Gebäuden, Untersuchungspunkte in weniger als $20h$ Gebäudehöhen Entfernung von der Quelle (h = mittlere Gebäudehöhe). Rechnung: Strömungsfeld mit MISKAM, Ausbreitung mit LASAT.



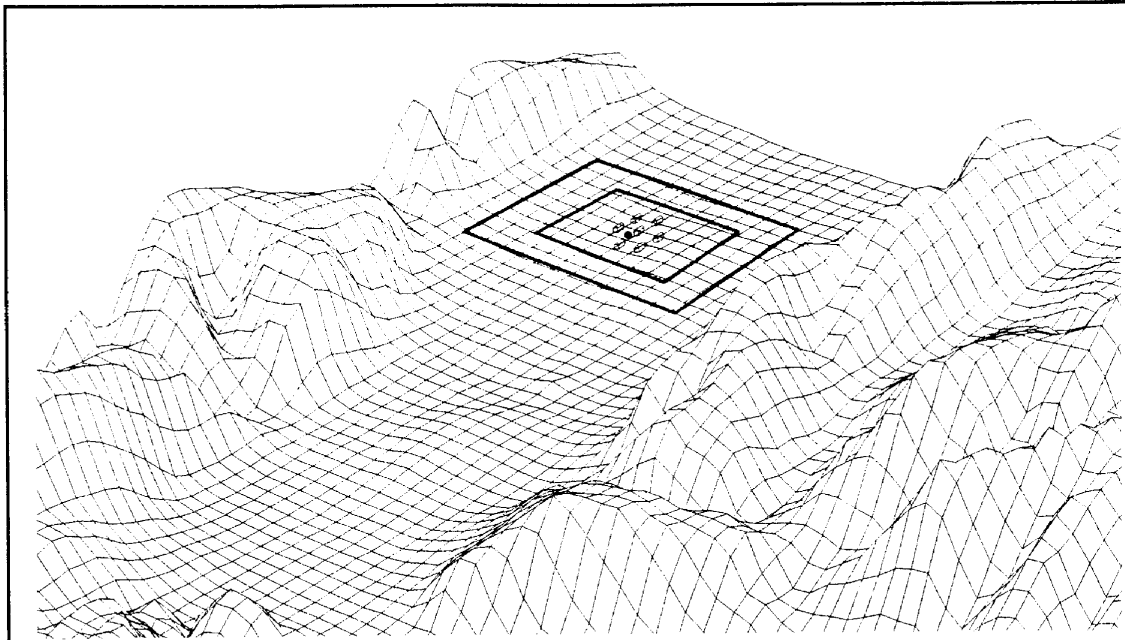


Abb. 5.5: Topographisch gegliedertes Gelände, mit Gebäuden, Untersuchungspunkte in weniger als 20 Gebäudehöhen Entfernung. Rechnen: Strömungsfeld mit MISKAM, Ausbreitung mit LASAT. Topographie geht nur über Windstatistik ein.

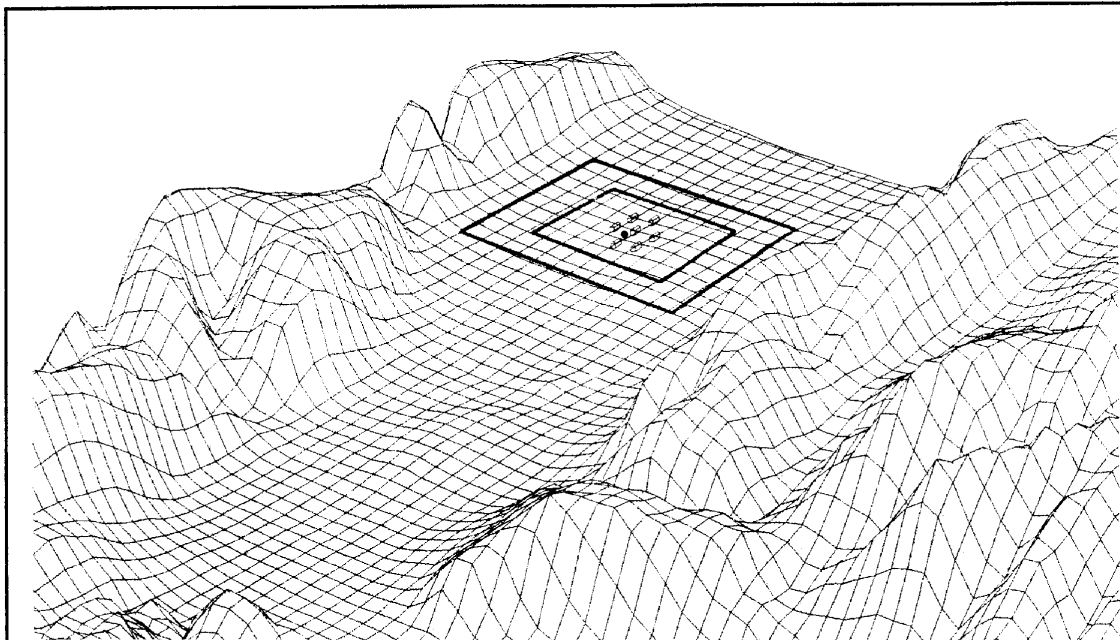


Abb. 5.6: Topographisch gegliedertes Gelände, mit Gebäuden, Untersuchungspunkte mehr als 20 Gebäudehöhen Entfernung. Rechnen mit LASAT, Gebäude nur als Rauigkeit parametrisiert.

men, welches die Turbulenz- und Ausbreitungsrechnung für alle Stabilitätszustände der Atmosphäre durchführt.

Die Definition der Abmessungen des Nahbereichs und die Relevanz der Gebäude auf die Ausbreitung hängt von den Positionen der Gebäude relativ zur Quelle sowie den Gebäudeabmessungen ab. Hierzu können im Rahmen der vorliegenden Studie nur Anhaltswerte gegeben werden, im Zweifelsfall sind die Gebäude zu berücksichtigen.

Für diese Abschätzung wird die mittlere Höhe des Quellgebäudes oder der Gebäude auf dem Ausbreitungspfad herangezogen, für die praktische Anwendung werden auch die Hauptwindrichtung und die Positionen der relevanten Untersuchungspunkte berücksichtigt. So erstreckt sich z. B. nach Hosker (in Randerson, 1984) die direkte Nachlaufzone hinter Einzelgebäuden (Bereich, in dem die Strömung die Richtung umkehrt) je nach Breite der Gebäude bis in Entfernungen von 2 bis in ca. 10 Gebäudehöhen von der Leeseite der Gebäude und z. B. nach Lee et al. (1990) ist ca. 20 Gebäudehöhen hinter dem Gebäude die Änderung des zeitlichen Mittelwertes der Strömungsgeschwindigkeit auf unter 20 % und die der Turbulenz auf unter 10 % abgeklungen. Soll also der Einfluß des Quellgebäudes oder eines anderen Gebäudes auf die Strömung erfaßt werden, sollte das Gebiet, in dem mit MISKAM die Strömungsverhältnisse berechnet werden, in erster Näherung in jede Richtung mindestens 20 Gebäudehöhen um das zu berücksichtigende Gebäude ausgedehnt sein. Siehe **Abb. 5.2**.

5.1.3 Anwendungsfall 3: Ebenes Gelände, mit Gebäuden, Fernfeld

Befindet sich die Quelle innerhalb eines Gebäudekomplexes, der jedoch für die Beurteilung deshalb keine Rolle spielt, weil die Untersuchungspunkte z. B. mehr als 20 Gebäudehöhen entfernt sind und dort keine Gebäude vorhanden sind bzw. keine wesentliche Rolle spielen, so ist es nicht nötig, die Bebauungsstruktur einzeln aufzulösen. Siehe **Abb. 5.3**. Hier reicht im Modell LASAT die Berücksichtigung, daß im Gebäudebereich eine erhöhte Geländerauhigkeit vorliegt, so daß die in Anwendungsfall 2 (im folgenden immer nur kurz „Fall 2“ genannt) beschriebene Strömungsmodellierung mit MISKAM entfallen kann. Das Strömungsfeld wird in Fall 3 mit dem Strömungsteil von LASAT bestimmt, die Ausbreitungsrechnung wird mit dem Ausbreitungsteil von LASAT durchführt. Die in diesem Fall für die Teilflächen mit Bebauung anzusetzenden aerodynamischen Rauheitslängen z_0 können z. B. Wieringa (1993) entnommen werden.

5.1.4 Anwendungsfall 4: Mit Topographie, keine Gebäude

Wird das Strömungsfeld im Untersuchungsgebiet durch topographische Einflüsse geprägt, und liegen im einfachsten dieser Fälle keine Gebäudeeinflüsse vor (siehe **Abb. 5.4**), dann kann für jeden Entfernungsbereich von der Quelle mit dem Modell LASAT gerechnet werden. Das lokale Windfeld wird dabei zunächst aus einer geeigneten Ausgangsstatistik durch das diagnostische Windfeldmodell von LASAT berechnet, die Ausbreitungsrechnung in diesem Windfeld wird dann durch den Ausbreitungsteil von LASAT durchgeführt.

5.1.5 Anwendungsfall 5: Mit Topographie, mit Gebäuden, Nahfeld

Wenn die Gebäude im Nahfeld um den Emittenten berücksichtigt werden sollen und sich das Untersuchungsgebiet in topographisch gegliedertem Gelände befindet (ohne daß das Untersuchungsgebiet selbst allzu ausgeprägte Höhenunterschiede aufweist, siehe **Abb. 5.5**), wird ähnlich wie in Fall 2 eine Kombination der Modelle MISKAM und LASAT verwendet. Zur Eingrenzung des Nahfelds kann die Definition aus Fall 2 übernommen werden.

Das Strömungsfeld innerhalb des Untersuchungsgebietes wird unter Berücksichtigung der Gebäude mit dem Strömungsmodell von MISKAM berechnet. Die für die Ausbreitungsrechnung mit LASAT notwendige standortspezifische Windstatistik wird durch Übertragung einer geeigneten Referenzstatistik auf das Untersuchungsgebiet erstellt. Diese übertragene Statistik beinhaltet dann die Einflüsse der Topographie.

5.1.6 Anwendungsfall 5: Mit Topographie, mit Gebäuden, Fernfeld

Wenn die Untersuchungspunkte außerhalb des Einflußbereichs von Gebäuden im Fernfeld der Quelle liegen, die Ausbreitung aber von topographischen Gegebenheiten beeinflusst ist, liegt der Fall der **Abb. 5.6** vor. Entsprechend Fall 3 werden dann die Gebäude nur durch entsprechende Rauigkeiten im bebauten Gebiet berücksichtigt. Das topographiegeprägte Windfeld wird zunächst durch das diagnostische Windfeldmodell von LASAT berechnet, dann wird innerhalb dieses Windfeldes die Ausbreitung mit dem Ausbreitungsmodell von LASAT bestimmt.

5.1.7 Sonderfälle

Die in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellten Fälle können nicht alle in der Realität vorkommenden Fälle abdecken sondern nur eine Empfehlung für eine Klassifizierung und eine Empfehlung für ein Vorgehen nach Durchführung der Klassifizierung anbieten. Bei der Umsetzung kann es durchaus zu Situationen kommen, bei denen nicht klar ist wie klassifiziert werden soll und wobei dann z. B. nur mit einer Vernachlässigung der weniger wichtigen Eingangsparmeter gearbeitet werden kann. Dies ist z. B. vorstellbar, wenn Geruchsquelle und Bebauung in deutlich ausgeprägten, gegliederten Hangbereichen liegen und der Nahbereich von Interesse ist. Hier müssen fallspezifische Entscheidungen getroffen werden. So muß z. B. entweder der Einfluß der Topographie auf die Beeinflussung der Ausbreitungsklassenstatistik beschränkt werden (wie in Fall 5), oder es muß der Einfluß der Gebäude vernachlässigt werden (wie in Fall 4), oder es muß z. B. hilfsweise das im Paket LASAT vorhandene Modul verwendet werden, welches mit Hilfe eines diagnostischen Strömungsmodells das Strömungsfeld im Einflußbereich von Gebäuden berechnet. Dieses in LASAT vorhandene Modul ist im Vergleich zum physikalischen Ansatz im Strömungsteil von MISKAM deutlich einfacher aufgebaut, über die Validierung dieses Moduls ist den Autoren der vorliegenden Studie nur wenig (z. B. Röckle et al., 1998) bekannt, es wird deshalb nicht näher darauf eingegangen.

Zu den Sonderfällen gehören auch die Situationen mit Kaltluft. In Abschnitt 7.5 wird dafür eine entsprechende Handlungsempfehlung gegeben.

5.1.8 Zusammenfassung Ausbreitungsmodell Mittelwert

Da es derzeit kein Ausbreitungsmodell gibt, das alle hier zugrunde gelegten Anforderungen erfüllt, wird bei der Empfehlung über die Vorgehensweise bei der Geruchsausbreitungsmodellierung auf eine Kombination verschiedener Modelle zurückgegriffen. Hiermit können die Stärken und Vorteile der einzelnen Modellkonzeptionen gezielt eingesetzt werden, um ein optimales Ergebnis zu erhalten. Es werden 6 typische Anwendungsfälle definiert, denen jeweils eine bestimmte Vorgehensweise zugeordnet wird. Diese sind in **Tab. 5.1** bezüglich der Eingangsrandbedingungen und der anzuwendenden Modelle zusammengefaßt. Die Koppelung eines mit MISKAM errechneten Strömungsfeldes mit einer mit LASAT durchzuführenden Ausbreitungsrechnung ist unproblematisch.

Anwendungsfall	Topographieeinflüsse	Gebäudeeinflüsse	Untersuchungspunkte in Entfernungen < 20 Gebäudehöhen	Rechnung mit den relevanten Teilen aus Programmpaket
1 (Abb. 5.1)	nein	nein	entfällt	LASAT
2 (Abb. 5.2)	nein	ja	ja	MISKAM + LASAT
3 (Abb. 5.3)	nein	ja	nein	LASAT
4 (Abb. 5.4)	ja	nein	entfällt	LASAT
5 (Abb. 5.5)	ja	ja	ja	MISKAM + LASAT
6 (Abb. 5.6)	ja	ja	nein	LASAT

Tab. 5.1: Tabellarische Zusammenfassung der Parameter und der Rechenmethoden.

5.2 Fluktuations- und Bewertungsmodell

Auch wenn der Stundenmittelwert der Geruchsstoffkonzentration unterhalb der Geruchsschwelle liegt, können innerhalb der Stunde kurzzeitig höhere Konzentrationen erreicht werden, die kurzzeitig zu Geruchswahrnehmungen führen. Das Rechenverfahren für die Ausbreitung von Geruchsstoffen kann sich deshalb nicht auf die Angabe eines Stundenmittelwertes beschränken, sondern es muß auch etwas über die Fluktuationen innerhalb dieser Stunde aussagen.

Zur Beschreibung dieser Fluktuationen gibt es keine in wünschenswertem Umfang validierten Modelle. Im allgemeinen werden dazu statistische Verteilungsfunktionen verwendet, die angeben, wie oft eine bestimmte Konzentration innerhalb einer Stunde vorliegt. In der Praxis werden diese Verteilungsfunktionen und ihre freien Parameter aus Begehungsdaten oder Messungen der Konzentrationsfluktuationen abgeleitet. Nun ist aber in der GIRL festgelegt, daß bei einer Wahrnehmung von Gerüchen in mehr als 10 % der Zeit einer Stunde die ganze Stunde als Geruchsstunde zu zählen ist, und daß bei einer Wahrnehmung in weniger als 10 % der Zeit einer Stunde die Wahrnehmung nicht berücksichtigt wird. Aus dieser Festlegung ergibt sich, daß (bei Anwendung der GIRL) nicht die Kenntnis der gesamten Verteilungsfunktion notwendig ist, sondern nur das Verhältnis C_{90} zu \bar{c} . Hierbei bezeichnet C_{90} diejenige Konzentration, die in 10 % der Zeit der Stunde überschritten wird, und \bar{c} den Stundenmittelwert der Konzentration.

Im weiteren kann also das Augenmerk speziell auf die Bestimmung des Wertes C_{90}/\bar{c} gelegt werden. Dazu wurden Veröffentlichungen über Messungen in der Natur und im Windkanal ausgewertet, die das gesuchte Verhältnis direkt angeben und auch Veröffentlichungen, welche die Konzentrationsfluktuationen mittels Verteilungsfunktionen darstellen. Zusätzlich wurden Ergebnisse aus Windkanalmeßreihen aus unserem Hause ausgewertet, die aus Untersuchungen zur Quantifizierung von Nachbarschaftsbeschwerden innerhalb bebauten Geländes vorliegen. Aus allen diesen Auswertungen kann die Bandbreite des Verhältnisses C_{90}/\bar{c} für unterschiedliche Randbedingungen ermittelt werden.

In **Abb. 5.7** sind auf der Ordinate alle gefundenen Werte für C_{90}/\bar{c} dargestellt. Sie stammen aus 6 verschiedenen Windkanaluntersuchungen in unserem Hause, aus einer fremden Windkanaluntersuchung und aus 9 Meßkampagnen im Freiland. Die Zahlen auf der Abszisse sind Nummern für die Kennung der Autoren. Diese Kennnummern der Autoren sowie nähere Angaben zu den dabei untersuchten Situationen sind in den **Tab. A3.1** bis **A3.5** in Anhang A3 gegeben. Es handelt sich um Messungen bei verschiedenen Stabilitätszuständen der Atmosphäre, bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten, um Situationen mit und ohne Gebäude, um Messungen sowohl in Luv als auch in Lee von Gebäuden und um verschiedene Freisetzungshöhen.

Aus diesen Ergebnissen lassen sich folgende Aussagen ableiten: Aus allen gefundenen Freilandmessungen und Windkanaldaten (ca. 100 Werten) ist zu erkennen, daß sich das Verhältnis C_{90}/\bar{c} im Bereich zwischen etwas über 1 und 4 bewegt. Eine funktionale Abhängigkeit von bestimmten Einflußgrößen wie Stabilität der Atmosphäre, Entfernung von der Quelle, Windgeschwindigkeit, Freisetzungshöhe etc. konnte in den Rohdaten erkannt werden, wurde wegen nicht ausreichender Belastbarkeit im Rahmen der vorliegenden Studie jedoch nicht parametrisiert. Anhand von **Abb. 5.7** wird daher empfohlen, für das Verhältnis von C_{90}/\bar{c} grundsätzlich einen Wert von 4 als obere Grenze anzusetzen. Wie die **Abb. 5.7** zeigt, liegt man mit diesem Wert auf der „sicheren Seite“, der Faktor 4 ist 1.3 bis 1.6 mal so groß wie der Mittelwert von 2.5 bis 3.

Die Bestimmung dieser Bandbreite beruht auf Messungen, die an Punktquellen durchgeführt wurden. Aufgrund der vor allem im Nahbereich geringen Aufweitung einer Punktquellenfahne und der Intermittenz (Wechsel zwischen Konzentrationen > 0 und Konzentrationen $= 0$) sind bei ausgedehnten Flächenquellen kleinere Verhältnisse von C_{90}/\bar{c} zu erwarten. Ähnliches gilt für die Windkanalmessungen von Punktquellen. Durch die seitliche Begrenzung im Windkanal ist das Mäandern der Geruchsfahne eingeschränkt und dadurch ein geringeres Verhältnis von C_{90}/\bar{c} zu erwarten.

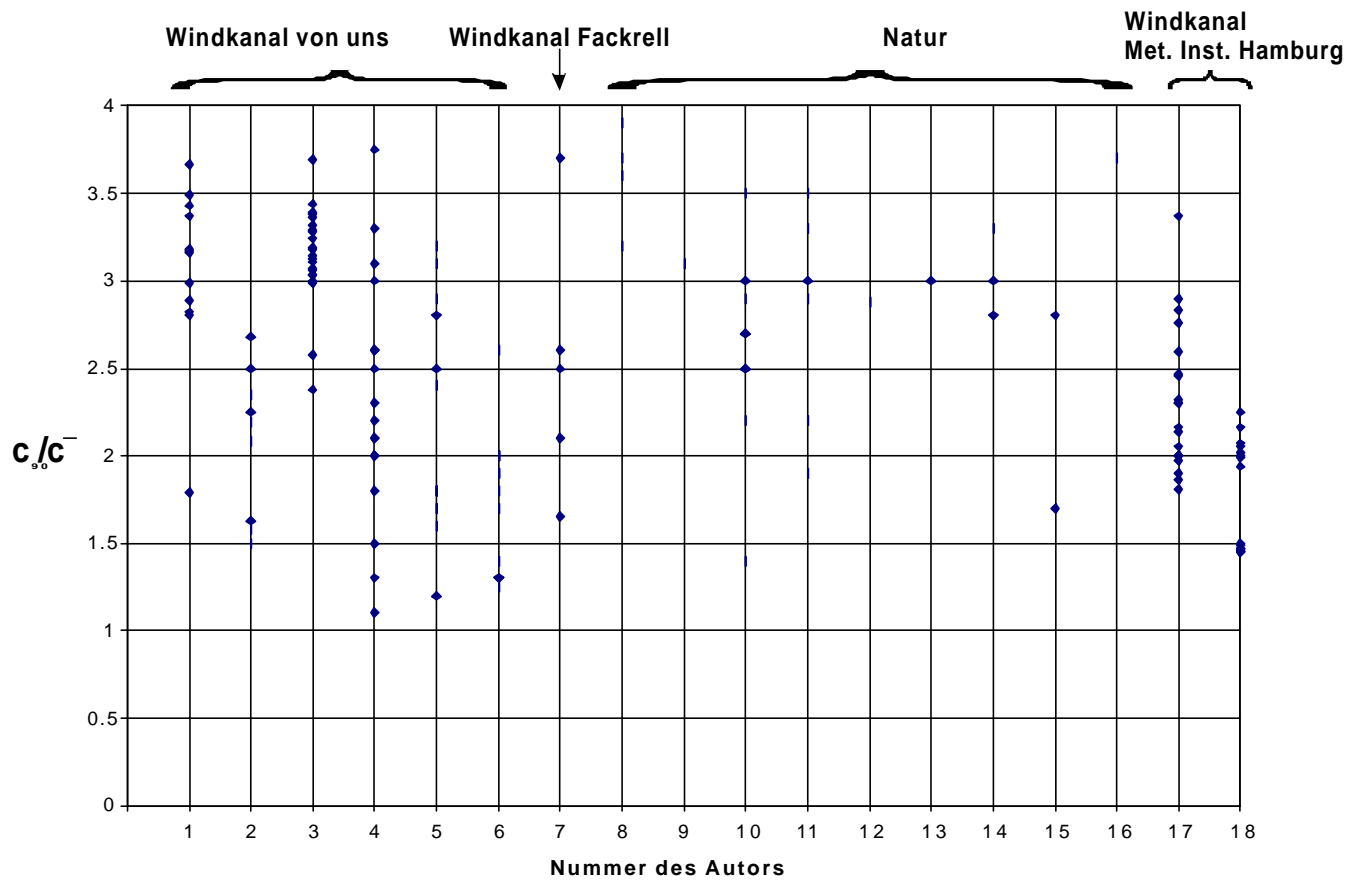


Abb. 5.7: Werte für c_{90}/\bar{c} aus eigenen Windkanalmessungen, fremden Windkanalmessungen und den Ergebnissen veröffentlichter Naturmessungen verschiedener Autoren. Nummer auf Abszisse ist Nummer des Autors. Für Nummern der Autoren und nähere Randbedingungen siehe Tab. A3.1 bis Tab. A3.5 in Anhang A3.

Das Fluktuations- und Bewertungsmodell zur Berücksichtigung der Konzentrationsfluktuationen und der Vorschrift in der GIRL für die Zählung einer Stunde als Geruchsstunde lautet also: Man multipliziere den mit LASAT (und ggf. MISKAM) errechneten Stundenmittelwert der Geruchsstoffkonzentration mit dem Faktor 4. Ist der so errechnete Konzentrationswert größer gleich 1 GE/m^3 , ist die (ganze) Stunde als Geruchsstunde zu zählen, ist er kleiner als 1 GE/m^3 ist diese Geruchswahrnehmung nicht zu berücksichtigen. Identisch wäre folgende Aussage: Eine Stunde ist dann als Geruchsstunde zu zählen, wenn der Stundenmittelwert der Geruchsstoffkonzentration größer gleich 0.25 GE/m^3 beträgt.

Der o. a. Faktor 4 darf nicht bei der Anwendung von Gaußfahnenmodellen eingesetzt werden, dort muß es beim durch Messungen belegten Faktor 10 bleiben. Der Faktor 4 in Verbindung mit komplexeren Modellen als dem Gaußfahnenmodell bedeutet nicht unbedingt, daß mit dem komplexen Verfahren niedrigere jährliche Häufigkeiten von Geruchswahrnehmungen im Vergleich zu einer TA Luft-Modellierung errechnet werden, denn z. B. bei niedriger aerodynamischer Geländerauhigkeit errechnet LASAT höhere Stundenmittelwerte der Konzentration als die TA Luft (bei hoher Geländerauhigkeit allerdings nicht).

6 VALIDIERUNG

6.1 Validierung mit den Auberg-Begehungsdaten

Es soll nachfolgend aufgezeigt werden, wie sich die mit dem vorgeschlagenen Verfahren errechneten Häufigkeiten von Geruchswahrnehmungen vergleichen mit den "Validierungsdatensätzen" für das TALuft Faktor-10-Modell. Bei der Recherche nach verwertbaren Naturdatensätzen, mit denen das TA Luft Faktor-10-Modell validiert bzw. entwickelt wurde, konnten nur die Daten der Begehungskampagnen der LIS Essen (heute Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, LUA) auf dem Auberg-Gelände bei Mülheim aus den Jahren 1982 und 1983 ermittelt werden. Das LUA stellte freundlicherweise die Daten der damals durchgeführten Fahnenbegehungen im Originalzustand zur Verfügung. Eine genaue Beschreibung der „Auberg-Experimente“ kann den „Materialien Nr. 21: Ausbreitungsuntersuchungen von Gerüchen anhand einer Modellquelle“ des LUA aus dem Jahre 1995 entnommen werden. In Ermangelung anderer Datensätze wurden die Daten der "Auberg-Experimente" hier verwendet, obwohl zum Zeitpunkt von deren Erhebung noch keine standardisierte Vorgehensweise bei Geruchsbegehungen existierte und somit in den Daten Unsicherheiten enthalten sind.

Damals wurden die Begehungsdaten (ca. 4 000 Einzelmeßwerte aus 91 Fahnenbegehungen) mit den Ergebnissen von Einzelfallrechnungen mit dem TA-Luft-Modell unter Verwendung des Faktors 10 verglichen. Es wurde damals sowohl die Definition der Fahhengrenze (entspricht der Definition der Geruchsstunde der GIRL) zwischen den Werten von 2.5 %, 5 %, 7.5 % und 10 % der Meßzeit als auch die Definition der Geruchsschwelle beim Rechenmodell zwischen den Werten 1 GE/m^3 und 3 GE/m^3 variiert.

Als Ergebnis wurde damals ermittelt, daß mit der Definition der Geruchsstunde bei 10 % der Begehungszeit und einer Geruchsschwelle von 1 GE/m^3 eine Übereinstimmung zwischen Begehung und Rechnung bei ca. 60 % der Meßwerte vorlag. Als Übereinstimmung wurde gewertet, wenn die Ausbreitungsrechnung Konzentrationen größer dem Wert der Geruchsschwelle geteilt durch den Faktor 10 (z. B. $1 \text{ GE/m}^3/10 = 0.1 \text{ GE/m}^3$) lieferte und gleichzeitig die Geruchswahrnehmungshäufigkeit am selben Ort bei den Begehungen größer dem jeweiligen Definitionswert für die Geruchsfahne (z. B. 10 % der Meßzeit) war. Übereinstimmung lag auch vor, wenn beide Methoden gleichzeitig Werte unterhalb der angegebenen Schwellenwerte lieferten. In den Fällen, in denen Messung und Rechnung nicht übereinstimmten, handelte es sich meist um Überschätzung durch das Rechenmodell, d.h. das Modell lieferte noch Geruchsstoffkonzentrationen über der Schwelle, obwohl der Meßpunkt außerhalb der defi-

nierten Fahngrenze lag. Unterschätzungen kamen in o. a. Fall bei weniger als 5 % der Meßwerte vor.

Wenn die Geruchsstunde (Fahngrenze) so definiert war, daß in wenigstens 2.5 % bzw. 5 % der Meßzeit Gerüche auftraten, und die Geruchsschwelle mit 1 GE/m^3 angenommen wurde, lag der Prozentsatz der Übereinstimmung etwas höher, ebenso bei Definition der Geruchsschwelle bei 3 GE/m^3 und Geruchsstundendefinition von 10 %. In letzterem Fall stiegen die Unterschätzungen vor allem bei größeren Quellabständen jedoch stark an (ca. 30 % der Meßwerte).

Die oben diskutierten Ergebnisse führten letztendlich dazu, daß in der GIRL die Geruchsstunde mit 10 % positiven Geruchsmeldungen innerhalb des Meßzeitintervalls von 10 Minuten definiert wurde und die Geruchsschwelle bei der Ausbreitungsrechnung nach TA Luft Faktor 10 mit 1 GE/m^3 .

Ziel des hier durchgeführten Vergleichs war die Überprüfung des vorgeschlagenen Modells (LASAT, Version 2.6 inklusive Fluktuationsfaktor 4) anhand der Begehungsdaten unter Beachtung der Vorgaben der GIRL (Geruchsstundendefinition 10 % und Schwellenwert 1 GE/m^3). Folgende Eingangsdaten wurden aus den „Auberg-Experimenten“ benutzt:

- Quellhöhe der Modellquelle: 10 m ü.Gr.
- Austrittsgeschwindigkeit der Abluft: 10 m/s
- Abluftvolumenstrom: 1 000 m^3/h
- Geruchsstoffstrom: 14 000 GE/s
- Positionen der Standorte der Geruchsprobanden quer zur festgelegten Fahnenachse
- Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Ausbreitungsklasse zu jeder Begehung (10-Minutenintervall)
- Geruchswahrnehmungshäufigkeit für jeden Meßpunkt und jedes Meßzeitintervall
- Entfernung Quelle - Meßpunkt

Die Rauigkeitslänge z_0 wurde mit 0.05 abgeschätzt, da das Behebungsgelände mit unterschiedlich hohem Gras bestanden war.

Insgesamt lagen 3 812 Meßwerte mit Geruchswahrnehmungshäufigkeiten vor. Von diesen Werten waren 208 (das sind ca. 5.5 %) mit einer um die Hälfte reduzierten Quellstärke (d. h. $7 000 \text{ GE/s}$) ermittelt worden. Aufgrund des Fehlens einer entsprechenden Kennung im Daten-

satz konnten diese Werte nicht gesondert behandelt werden. Auch eine Nachfrage beim LUA erbrachte keine Hinweise. Diese Werte wurden somit mit einer um den Faktor 2 zu hohen Quellstärke gerechnet, das ist bei der Interpretation des Ergebnisses zu berücksichtigen.

Mit dem Programm LASAT (Version 2.6) wurde für jedes 10-Minutenintervall, für das Begehungsdaten vorlagen, mit den entsprechenden Meteorologiedaten die Lage und Ausdehnung der Geruchsstoffkonzentrationsfahne berechnet. Es konnten insgesamt 372 Fahnen berechnet werden.

Die Windrichtung lag in 5 Grad Klassen eingeteilt vor, die Windgeschwindigkeit in 0.5 m/s Schritten und die Ausbreitungsklasse entsprechend den Vorgaben der TA Luft. Diese Werte wurden von LASAT genau übernommen, so daß im Gegensatz zu einer TA Luft-Rechnung keine Einteilung in Geschwindigkeits- und Richtungsklassen erfolgte. Ansonsten wurde LASAT mit der Standardkonfiguration betrieben.

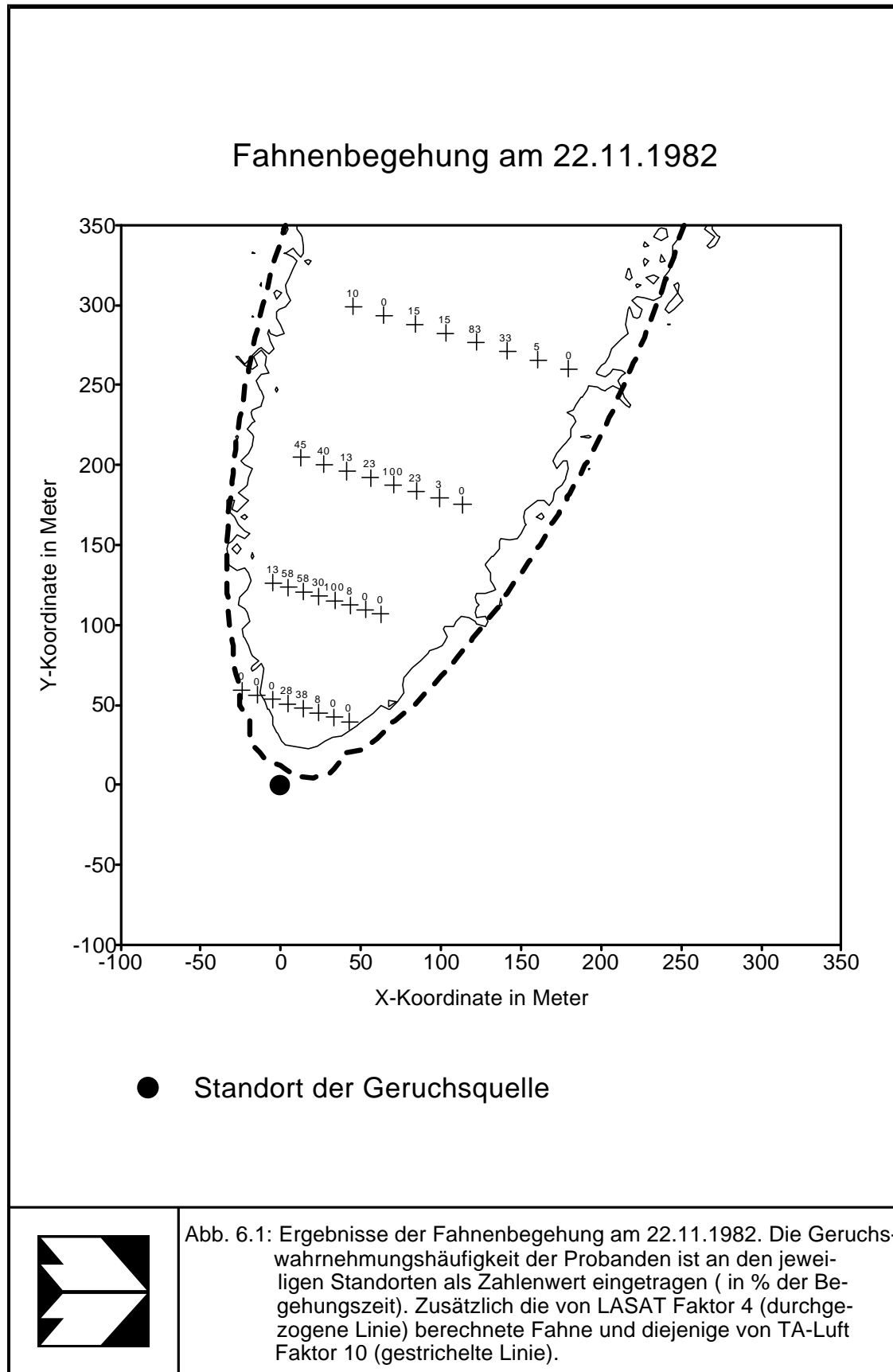
In **Abb. 6.1** ist als Beispiel das Ergebnis einer Begehung und der Vergleich mit der berechneten Fahne dargestellt. In diesem Fall gibt das Modell eine größere Fahne wieder als dies bei den Begehungen registriert wurde. Aufgrund der Tatsache, daß die Begehung jedoch nicht bis zum Fahnenende ausgedehnt wurde, läßt sich über die tatsächliche Erstreckung der Fahne nichts aussagen. Tendenziell scheint die Fahne durch beide Modelle etwas breiter wiedergegeben zu werden als durch die Begehung.

Die mit LASAT berechneten 91 Fahnen wurden Meßpunkt für Meßpunkt mit den Begehungsdaten verglichen. Um eine möglichst genaue Übereinstimmung der Koordinaten von Begehungsstandorten und Rechengitter zu erhalten wurde das Modell mit einer Gitterauflösung von 5 m betrieben. Bei einem minimalen Abstand der Meßpunkte von 10 m kann somit der einzelne Meßpunkt reproduziert werden.

Für das Programm LASAT Faktor 4 wurde eine Trefferquote (Übereinstimmung) von 62 % der Einzelwerte erzielt. Die Überschätzungen betrafen 29 % der Einzelwerte, während Unterschätzungen in 8 % auftraten. Dieses Ergebnis entspricht somit demjenigen mit dem TA Luft Faktor-10-Modell.

Nimmt man als Geruchsschwelle für die Ausbreitungsrechnung 3 GE/m^3 an, so steigen zwar die Übereinstimmungen auf 68 % an, jedoch kommt es jetzt mit 18 % häufiger zu Unterschreitungen als zu Überschreitungen (15 %).

Ingenieurbüro Lohmeyer



Berechnet man die Fahnen mit LASAT und einem Faktor 10, so sinkt die Trefferquote auf 58 % und die Überschreitungen steigen auf 37 %, während die Unterschreitungen auf 5 % sinken.

Somit können mit dem hier vorgeschlagenen Modell LASAT Faktor 4 die Ergebnisse der „Auberg-Experimente“ zufriedenstellend reproduziert werden.

6.2 Validierung anhand von Rasterbegehungsdaten

Das Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen führte im Jahre 1992 (Juli bis Dezember) eine Rasterbegehung nach GIRL in der Umgebung eines Schweinemastbetriebes durch. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind bei Both et al. (1995) nachzulesen. Das LUA stellte uns freundlicherweise die für den Standort repräsentative Ausbreitungsklassenstatistik für den Zeitraum Juli bis Dezember 1992 zur Verfügung, so daß die Ergebnisse mit dem hier vorgeschlagenen Modell nachgerechnet werden konnten. Da die Beurteilungsflächen mehr als 750 m von dem Schweinemastbetrieb entfernt waren, konnte nur für diesen Bereich, also nicht für die im vorliegenden Projekt interessierenden Entfernungen < 200 m, ein Vergleich der Begehung mit der Rechnung durchgeführt werden.

Folgende Eingangsdaten konnten dem oben genannten Bericht entnommen werden:

Geruchsstoffmassenstrom:	394 x 10 ⁶ GE/h
Anzahl der Einzelauslässe:	12
Freisetzungshöhe :	8 m ü.Gr.
Abluftvolumenstrom je Einzelauslass:	6 300 m ³ /h
Austrittsgeschwindigkeit der Abluft:	10 m/s
Ablufttemperatur:	20 °C

Die Abluftüberhöhung wurde entsprechend den Vorgaben für kalte Quellen nach RL VDI 3782, Bl. 3 berechnet. Ein Gebäudeeinfluß wurde nicht berücksichtigt, da bei der großen Entfernung zwischen Quelle und Beurteilungsfläche kein Einfluß mehr feststellbar ist (siehe auch Abschnitte 7.2 und 7.3).

Nach den mündlichen Mitteilungen des LUA war die Umgebung um den Betrieb zum Teil mit einzelnen Baumreihen bestanden, ansonsten waren landwirtschaftliche Nutzflächen mit Getreidebewuchs und Hackfrüchten vorhanden, die während den Herbst- und Wintermonaten abge-

erntet waren. Für diese Situation wurde eine Rauigkeitslänge von 0.3 m angenommen. Vergleichsrechnungen mit anderen Rauigkeitslängen (0.1 m, 0.05 m) ergaben nur eine geringe Veränderung des Ergebnisses (siehe auch Abschnitt 7.1), weil alle diese 3 Rauigkeitslängen noch nicht rauhes Gelände beinhalten.

Das Ergebnis der Ausbreitungsrechnung ist in **Abb. 6.2** im Vergleich zu den Begehungsergebnissen dargestellt. Es ist zu erkennen, daß die Häufigkeiten aus der Ausbreitungsrechnung bis auf eine Beurteilungsfläche (8) kleiner als die Häufigkeiten aus der Rasterbegehung sind. Die größten Abweichungen treten westlich der Quelle auf. Die hohe gemessene Auftretenshäufigkeit ist derzeit nicht plausibel, da die Häufigkeiten von Ost- bis Nordostwinden in der Ausbreitungsklassenstatistik für den Zeitraum Juli bis Dezember 1992 relativ gering sind und somit dort keine hohen Geruchswahrnehmungshäufigkeiten berechnet werden. Diese Auffälligkeit wird auch in dem Bericht des LUA zu den Begehungen erwähnt.

Zur Bewertung des Ergebnisses muß auch die statistische Sicherheit der Begehungsdaten berücksichtigt werden. Die Erhebung durch Probanden wurde entsprechend den geltenden Regeln sorgfältig durchgeführt. Normalerweise wird in der GIRL die ermittelte Häufigkeit mit einem Korrekturfaktor multipliziert, um die statistische Sicherheit bezüglich der Aussage „Grenzwert eingehalten“ zu erhöhen. Dieser Faktor wird hier bei dem Vergleich nicht verwendet.

In der RL VDI 3940 wird anhand einer Binomialverteilung die Aussagesicherheit eines Begehungsergebnisses mit 104 Erhebungen je Beurteilungsfläche angegeben. Bezüglich der hier diskutierten Begehungsergebnisse sind die Bandbreiten der „wahren Geruchszeitanteile“ (= Fachausdruck) für verschiedene Aussagesicherheiten in **Tab. 6.1** aufgelistet.

In der Tabelle sind die tatsächlich ermittelten Geruchsstunden und die hieraus resultierenden Geruchswahrnehmungshäufigkeiten in den Spalten 2 und 3 aufgetragen. Die 4. Spalte beinhaltet die Ergebnisse der LASAT-Rechnung. Danach folgen die aus der Binomialverteilung ermittelten wahren Geruchszeitanteile in %. Diese Spalten geben an, innerhalb welcher Grenzen die Werte liegen können, wenn man eine gewisse Aussagesicherheit wünscht. Der höhere Wert gibt jeweils den wahren Geruchszeitanteil wieder, der mit 95 bzw. 99%iger Sicherheit ausgeschlossen werden kann (bei 3 Geruchsstunden kann z. B. mit 95%iger Sicherheit ausgeschlossen werden, daß wahre Häufigkeiten von mehr als 7.3 % auftreten). Analoges gilt für den niedrigeren Wert, d.h. mit 95 bzw. 99%iger Sicherheit wird dieser Wert überschritten.

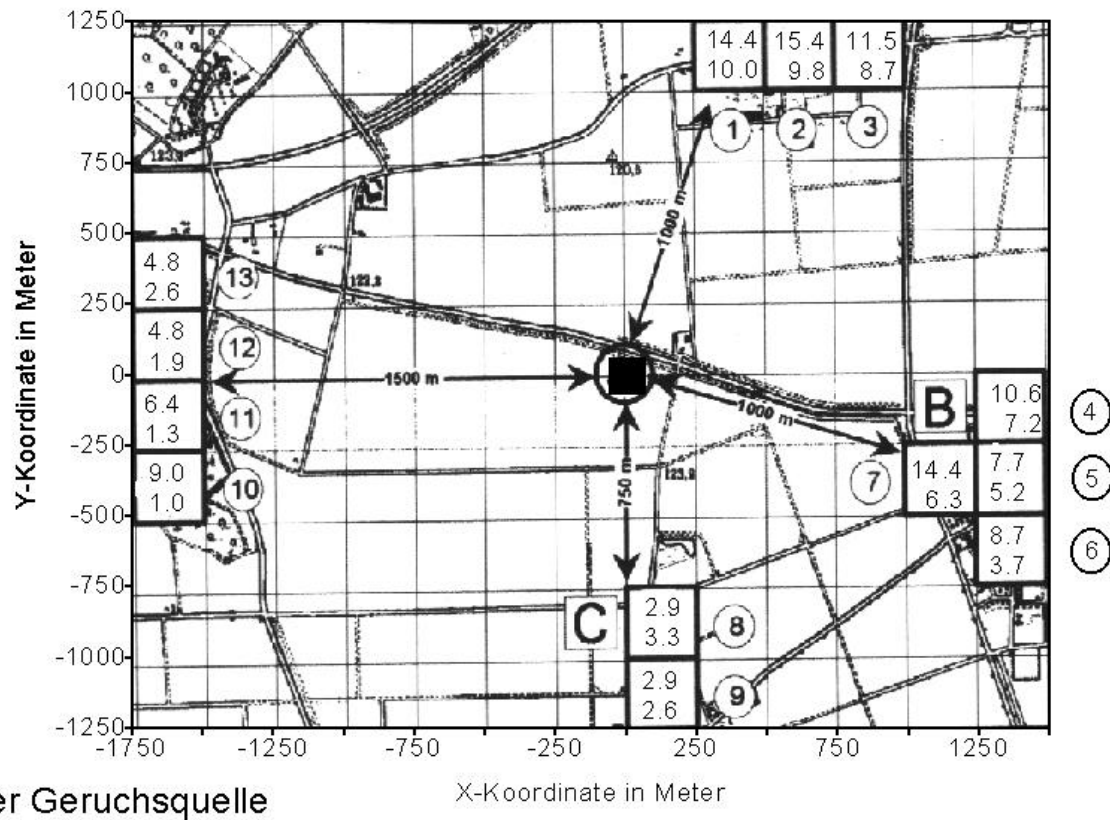


Abb. 6.2: Ergebnis der Ausbreitungsrechnung mit dem Modell LASAT Faktor 4 für einen Schweinestall. Aufgetragen ist die Geruchswahrnehmungshäufigkeit in Prozent der Jahresstunden aus den Begehungsdaten (oberer Wert) und aus der Ausbreitungsrechnung (unterer Wert).

Flächen-Nr. in Abb. 6	Anzahl Geruchsstunden	Geruchshäufigkeit aus Begehung	Geruchshäufigkeit aus Rechnung	wahre Geruchszeitanteile 99 % Vertrauensbereich		wahre Geruchszeitanteile 95 % Vertrauensbereich	
				unterer Wert	oberer Wert	unterer Wert	oberer Wert
1	15	14.4	10.0	8.1	24.0	9.8	21.3
2	16	15.4	9.8	8.9	25.5	10.7	22.4
3	12	11.5	8.7	6.0	21.0	7.6	18.0
4	11	10.6	7.2	5.4	19.8	6.8	16.9
5	8	7.7	5.2	3.4	16.0	4.7	13.5
6	9	8.7	3.7	4.0	17.2	5.3	14.6
7	15	14.4	6.3	8.1	9.4	9.8	21.3
8	3	2.9	3.3	0.8	9.4	1.3	7.3
9	3	2.9	2.6	0.8	9.4	1.3	7.3
10*	7	9.0	1.0	-	-	-	-
11*	5	6.4	1.3	-	-	-	-
12	5	4.8	1.9	1.8	12.0	2.6	9.9
13	5	4.8	2.6	1.8	12.0	2.6	9.9

* Erhebungsumfang N = 78 statt 104

Tab. 6.1: Bandbreite der wahren Geruchshäufigkeit bei verschiedenen Vertrauensbereichen.

Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß die Modellergebnisse größtenteils innerhalb des 99%igen Vertrauensbereichs der Begehungen liegen, jedoch wird das Ergebnis vom Modell systematisch unterschätzt. Das Mittel über alle Beurteilungsflächen liegt für die Ausbreitungsrechnung bei ca. 60 % der Begehungsergebnisse. Die Problematik hierbei ist der unbekannte Vertrauensbereich der Ausbreitungsrechenergebnisse. Das Modell LASAT (Version 2.6) wurde bei den Berechnungen in der Standardkonfiguration betrieben mit Ausnahme des Parameters Twf, der die vertikale Lagrangekorrelationszeit skaliert. Nach Angaben des Programmentwicklers soll dieser Wert bei bodennahen Quellen nicht gesetzt werden.

Der Anwender kann bei dem hier beschriebenen Modelltyp viele Modellparameter in weiten Bereichen variieren. Es ist möglich, daß bei Änderung mancher Modellparameter (in physikalisch sinnvollen Bereichen) das Ergebnis der Berechnung eine bessere Übereinstimmung mit den Begehungen aufweist. Aufgrund des Aufwandes konnte dies hier nicht durchgeführt werden und müßte in einer gesonderten Untersuchung geschehen.

7 SENSITIVITÄTSSTUDIE

Es wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um die Einflüsse bestimmter Parameter auf die Ergebnisse der Immissionsprognose zu ermitteln. Folgende Parameter wurden untersucht: Quellhöhe, Geländerauhigkeit, Lüftungsregime, Gebäude (sowohl auf denen bzw. an denen emittiert wird als auch im Ausbreitungspfad befindliche), Abluffahnenüberhöhung, Kaltluftabflüsse.

Die Vorgehensweise orientiert sich an den in Kapitel 5 dargestellten Anwendungsfällen; die Eingangsdaten wurden (für den vorliegenden Fall modifiziert) entsprechend den realen Verhältnissen der 1998 erstellten Studie „Vergleichende Untersuchung der Geruchsstoffimmissionsverhältnisse bei verschiedenen Lüftungssystemen in Schweinemastställen“ für die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft übernommen.

Im einzelnen sind dies:

Ausbreitungsklassenstatistik der Station Dresden-Klotzsche (vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt)

Gebäudeabmessung Stall: Länge 50 m, Breite 25 m, Giebelhöhe 6 m, Traufhöhe 3 m

Zentralkamin, Seitenwandfreisetzung oder diffuse Freisetzung

Rechengebiet groß 400 m x 400 m)	1 000 m x 1 000 m	(teilweise
Auflösung	25 m	
Rechengebiet klein	200 m x 200 m	
Auflösung	12.5 m (teilweise 6.25 m)	
Quellstärke	3 000 GE/s	
Freisetzungsdauer	100 % der Jahresstunden	

Bei den Rechnungen wurde immer eine auftriebsfreie und impulslose Geruchsquelle betrachtet. Abluffahnenüberhöhungen wurden durch unterschiedliche effektive Quellhöhen berücksichtigt. Die Ausbreitungsrechnungen wurden mit den in Kapitel 5 empfohlenen Programmpaketen LASAT und MISKAM in deren Standardkonfigurationen durchgeführt. Als Fluktationsfaktor wurde 4 angesetzt, so daß bei der Überschreitung einer errechneten Geruchsstoffkonzentration von 0.25 GE/m^3 eine Geruchsstunde vorlag.

Die Ergebnisse der einzelnen Ausbreitungsrechnungen wurden zum Teil zu Rasterwerten zusammengefaßt, um eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Dies entspricht auch der

Struktur der Rechenergebnisse, die bei LASAT nicht als Werte an einem Punkt vorliegen, sondern immer als Mittel über das jeweilige Rechengitter (Volumenmittelwert).

Bei allen Angaben ist zu berücksichtigen, daß diese für die hier verwendete Windstatistik Dresden-Klotzsche gelten. Bei extremen Verteilungen bezüglich Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Ausbreitungsklassen können diese Entfernungen auch größer sein.

7.1 Anwendungsfall 1: Ebenes Gelände, keine Gebäude

Die Ausbreitungsrechnung für diesen Fall wurde mit dem Modell LASAT (Version 2.6) durchgeführt, wobei die Geruchsquelle in das Zentrum des Rechengebietes gelegt wurde.

Folgende Fälle wurden gerechnet:

Rechnung Nr.	Quellentyp	effektive Quellhöhe	Rauhigkeitslänge z_0	Umgebungstyp
R1	Punktquelle	6 m ü.Gr.	0.02 m	kurzes Gras
R2	Punktquelle	6 m ü.Gr.	0.15 m	Felder mit hohem Bewuchs
R3	Punktquelle	6 m ü.Gr.	0.5 m	Büsche, Bäume
R4	Punktquelle	6 m ü.Gr.	1.0 m	Wald, hohe Bäume
R5	Punktquelle	1 m ü.Gr.	0.02 m	kurzes Gras
R6	Punktquelle	1 m ü.Gr.	1.0 m	Wald, Bäume
R7	Punktquelle	10 m ü.Gr.	0.02 m	kurzes Gras
R8	Punktquelle	10 m ü.Gr.	0.15 m	Felder mit hohem Bewuchs
R9	Punktquelle	10 m ü.Gr.	1.0 m	Wald, hohe Bäume
R10	Punktquelle	15 m ü.Gr.	0.15 m	Felder mit hohem Bewuchs
R11	Volumenquelle 50x20x6m ³	N-S orientiert	0.15 m	Felder mit hohem Bewuchs
R12	Volumenquelle 50x20x6 m ³	SW-NO orientiert	0.15 m	Felder mit hohem Bewuchs

Tab. 7.1: Eingangsdaten der Ausbreitungsrechnung mit auftriebsloser, impulsfreier Punktquelle.

Die Ergebnisse der Berechnungen als Geruchswahrnehmungshäufigkeiten in Prozent der Jahresstunden sind graphisch dokumentiert und werden nachfolgend diskutiert.

In **Abb. 7.1** sind für die Quelhöhen 1 m, 6 m und 10 m sowie die Rauigkeitslängen 0.02 m und 1 m die Geruchswahrnehmungshäufigkeiten als Rasterwerte nicht wie standardmäßig nach GIRL im 250 m x 250 m-Gitter, sondern um im Sinne des vorliegenden Projektes detaillierte Information zu geben, im 100 m x 100 m-Raster dargestellt. Die Geruchsquelle befindet sich jeweils im Zentrum des Rechengebietes.

Man erkennt, daß bei steigender Quelhöhe die Wahrnehmungshäufigkeiten sinken, wobei dieser Effekt in größerer Entfernung zur Quelle abnimmt, so daß in einer Entfernung von 500 m fast kein Unterschied zwischen den einzelnen Rechnungen mehr zu sehen ist. Im Nahfeld (weniger als 100 m) treten Unterschiede auf, die bei glattem Gelände ($z_0 = 0.02$ m) ausgeprägter sind als bei rauhem Gelände ($z_0 = 1$ m). In glattem Gelände (linke Spalte in **Abb. 7.1**) reduziert sich die Wahrnehmungshäufigkeit bis zu einem Faktor 5 beim Übergang von Quelhöhe 1 m zu 10 m, während bei rauhem Gelände (rechte Spalte in **Abb. 7.1**) die Reduktion bei weniger als einem Faktor 3 liegt.

Ein interessanter Effekt tritt im Nahfeld bei abgehobenen Quellen auf, wenn die Rauigkeit variiert wird. Bei bodennahen Quellen ($h = 1$ m) reduziert sich die Geruchswahrnehmungshäufigkeit im gesamten Rechengebiet, wenn die Bodenrauigkeit zunimmt (oberen beiden Bilder in **Abb. 7.1**). Befindet sich die Quelle jedoch etwas oberhalb des Bodens (z. B. schon bei einer Quelhöhe von 6 m ü.Gr.), treten im Nahfeld Erhöhungen und im Fernfeld Reduktionen der Geruchswahrnehmungshäufigkeit auf, wenn die Rauigkeit zunimmt. Die erhöhte Turbulenz führt im Nahfeld zu einem Heruntermischen der Fahne auf den Boden, im Fernfeld, wenn sie ohnehin schon auf dem Boden ist, zu einer erhöhten Verdünnung.

In **Abb. 7.2** wird dieses Ergebnisse nochmals für das Nahfeld dargestellt. Für das Gebiet von 200 m x 200 m wurde eine feinere Rechenauflösung (6.25 m) gewählt, so daß die Unterschiede deutlich hervortreten. Bei einer Quelhöhe von 1 m (obere Abbildungsreihe in **Abb. 7.2**) treten bei Erhöhung der Rauigkeit nur Reduktionen der Wahrnehmungshäufigkeit auf. Bei einer Quelhöhe von 10 m (untere Abbildungsreihe in **Abb. 7.2**) werden bei glattem Gelände ($z_0 = 0.02$ m) im direkten Umfeld der simulierten Punktquelle (weniger als 25 m Abstand) kaum Geruchsstoffe zum Boden transportiert, während bei rauhem Gelände ($z_0 = 1$ m) auch im Nahfeld deutliche Wahrnehmungshäufigkeiten errechnet werden.

Dies bedeutet, daß die richtige Ermittlung des Parameters Rauigkeitslänge gerade bei Aussagen im Nahfeld von punktförmigen Quellen von wesentlicher Bedeutung ist. Die

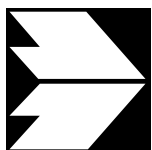
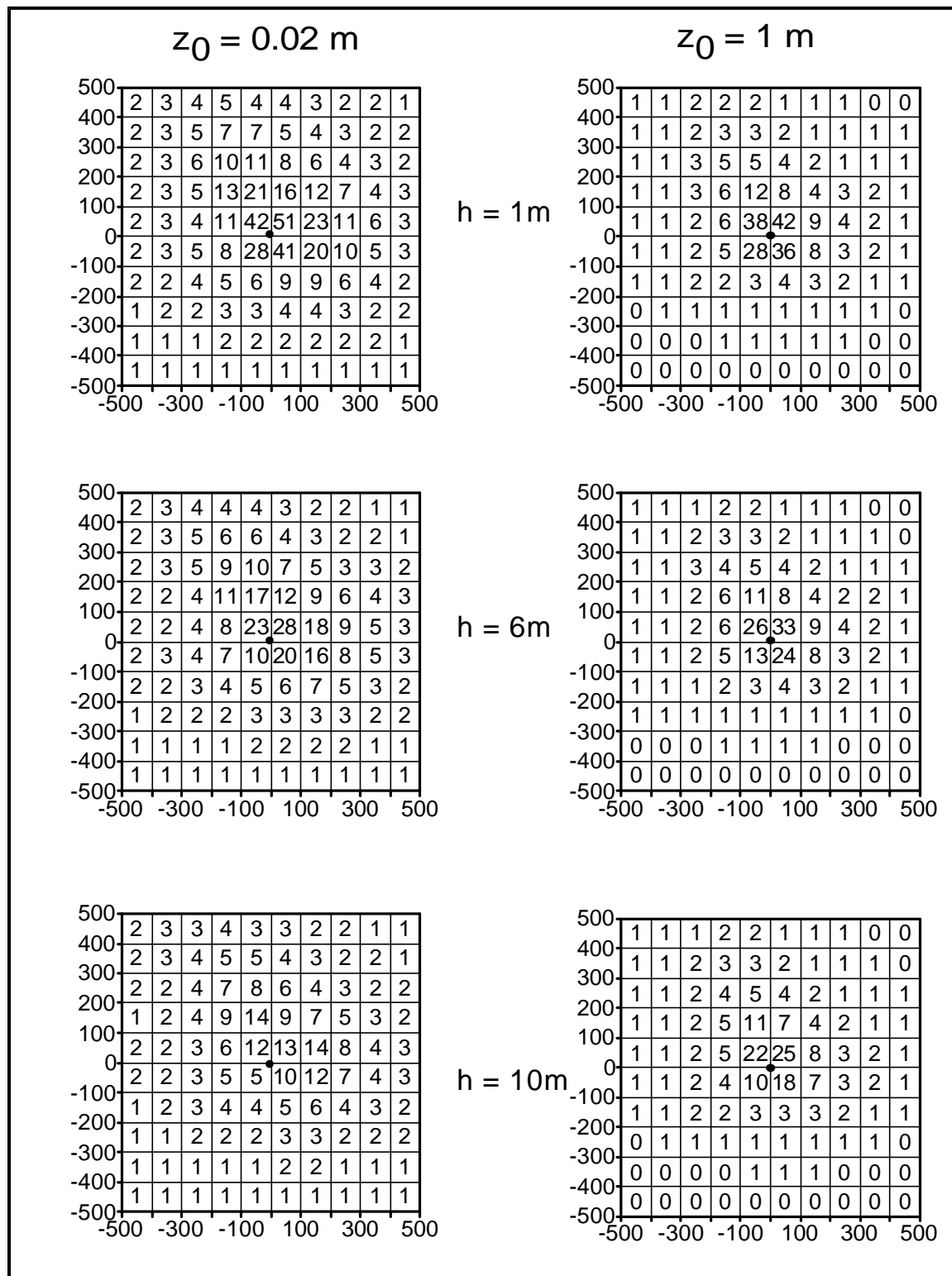


Abb. 7.1: Geruchswahrnehmungshäufigkeit in Prozent der Jahresstunden für verschiedene Rauigkeitslängen z_0 (senkrecht) und Quellhöhen h (waagrecht). Die Geruchsquelle liegt im Zentrum des Rasters.

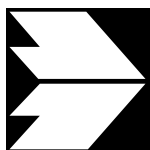
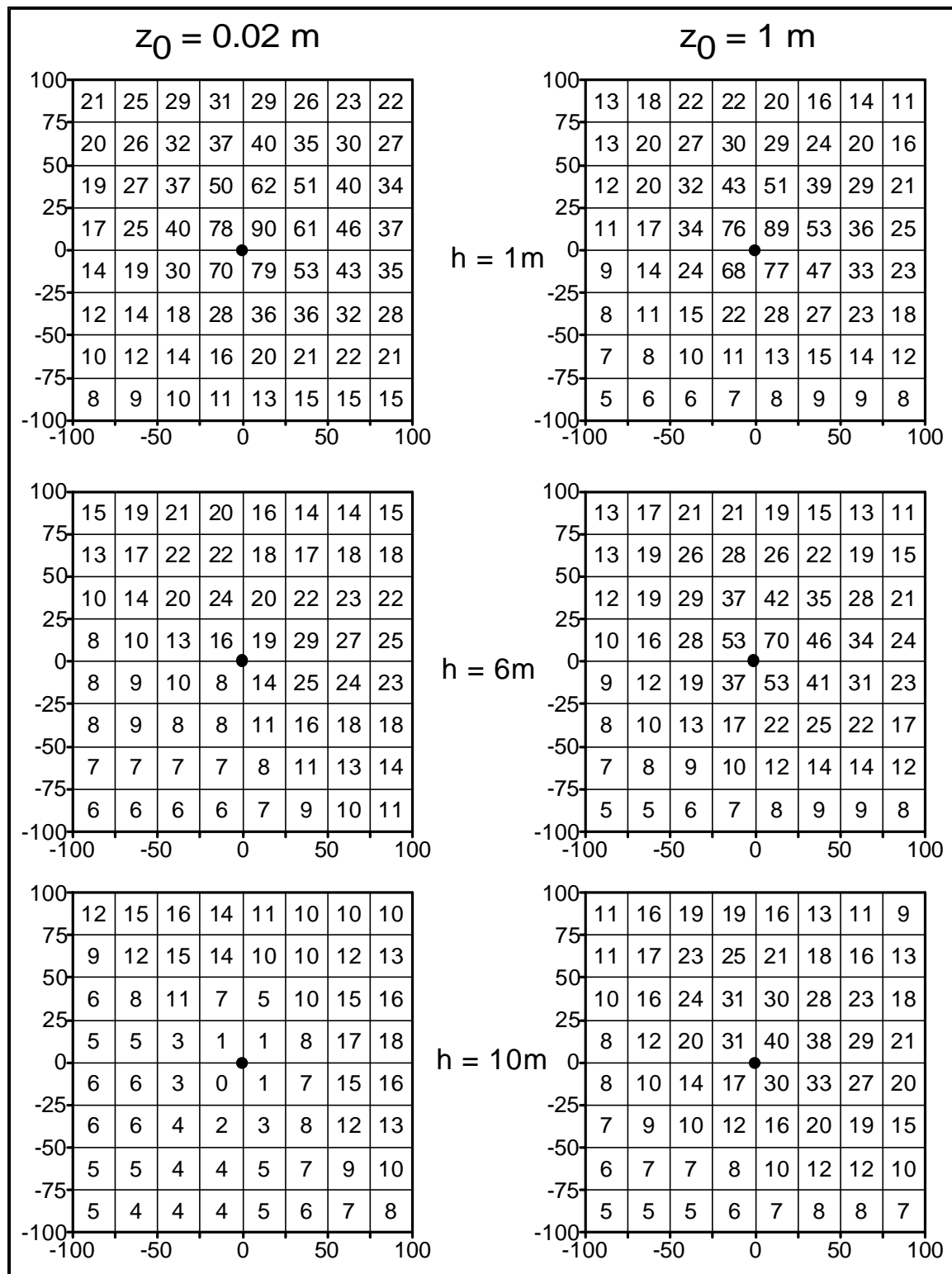


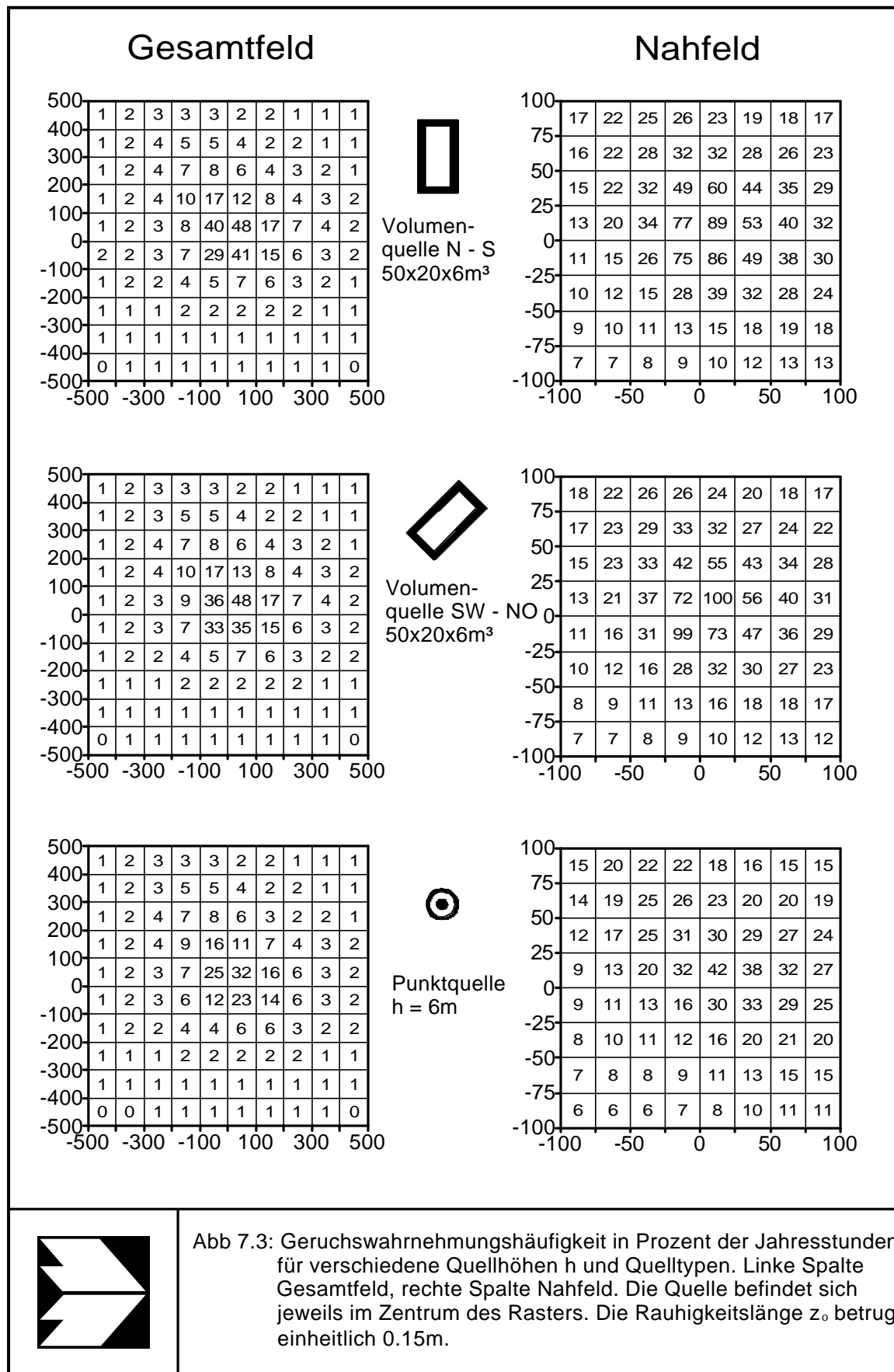
Abb. 7.2: Geruchswahrnehmungshäufigkeit in Prozent der Jahresstunden für verschiedene Rauheitslängen z_0 (senkrecht) und Quellhöhen h (waagrecht). Die Geruchsquelle liegt im Zentrum des Rasters. Dargestellt ist der Nahbereich um die Quelle.

Schätzung der Rauigkeitslänge erfordert vom Anwender Erfahrung und Grundwissen über die Vorgänge in der bodennahen Luftschicht. Eine gute Übersicht über die Problematik der Bestimmung der Rauigkeitslänge und Schätzwerte für verschiedene Geländetypen liefert Wieringa (1993).

In **Abb. 7.3** wird die Auswirkung eines veränderten Quelltyps dargestellt. In der oberen Reihe der **Abb. 7.3** ist das Ergebnis bei einer Nord-Süd orientierten Volumenquelle dargestellt, im Vergleich zu einer Südwest-Nordost orientierten Volumenquelle (mittlere Reihe) und einer Punktquelle (untere Reihe). Bei der Volumenquelle (Länge 50 m, Breite 20 m, Höhe 6 m, Zentrum bei $X=0$, $Y=0$) wird die gesamte Emission über die Oberfläche verteilt, so daß z. T. direkt am Boden freigesetzt wird und z. T. abgehoben. Die Volumenquelle stellt bei diesen Rechnungen kein festes Strömungshindernis dar. Die Bodenrauigkeit wurde hier einheitlich mit $z_0 = 0.15$ m angesetzt.

Man sieht, daß ab einer Entfernung von ca. 200 m zur Quelle kein wesentlicher Ergebnisunterschied zwischen den drei Freisetzungarten besteht. Im Nahfeld kann es jedoch wichtig sein, bei Vorhandensein einer diffusen Freisetzung über viele Auslässe die Ausdehnung der Geruchsquelle zumindest näherungsweise durch eine Volumenquelle zu simulieren und nicht in einer Punktquelle zusammengefaßt. Bis in Entfernungen von ca. 100 m zum Zentrum der Quelle liefert die Volumenquelle höhere Werte als die abgehobene Punktquelle in 6 m ü.Gr. Ab einem Entfernungsbereich von 100 m bis 200 m liefert die Volumenquelle etwa gleich große oder geringfügig höhere Werte als die Punktquelle. Auch die Orientierung der Volumenquelle spielt im Nahfeld eine Rolle (Vergleich obere Reihe mit mittlerer Reihe in **Abb. 7.3**).

Die dargestellten Unterschiede zwischen Volumenquelle und Punktquelle betreffen in grober Näherung das jeweilige Lüftungsregime eines Stalles. Die Volumenquelle stellt eine freie Lüftung über viele Öffnungen dar, während die Punktquelle eher die Emission über einen einzelnen Schornstein repräsentiert. In der Studie „Vergleichende Untersuchung der Geruchsstoff-Immissionsverhältnisse bei verschiedenen Lüftungssystemen in Schweinemastställen“ für die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft wurde detailliert untersucht, welche Unterschiede zwischen einer zentralen Entlüftung über einen erhöhten Monoschacht im Vergleich zur Entlüftung über mehrere einzelne Lüfteröffnungen auftreten. Die Ergebnisse dieser Studie decken sich mit den hier gefundenen, nämlich, daß ab einer Entfernung von ca. 200 m zur Quelle die hier untersuchten Lüftungsregime keinen wesentlichen Einfluß auf die auftretenden Geruchswahrnehmungshäufigkeiten im Jahresmittel haben.



Im Nahbereich macht es jedoch Sinn, die Freisetzungsbedingungen bei der Ausbreitungsrechnung entsprechen den tatsächlichen Gegebenheiten zu erfassen.

Bis 100 m Entfernung liefert die Volumenquelle höhere Konzentrationen, was für den Anwender bedeutet, daß er innerhalb dieses Bereiches Einzelquellen, die sich über das Gebäude verteilen, nicht in eine abgehobene Punktquelle zusammenfassen sollte, sondern jede Quelle ist einzeln nach Ort und Höhe über Grund zu berücksichtigen.

7.2 Anwendungsfall 2: Ebenes Gelände, mit Gebäuden, Nahfeld

Entsprechend den Empfehlungen in Abschnitt 5.1.2 wird bei der Berücksichtigung von Gebäuden auf das Strömungsmodell von MISKAM (Version 3.5) zurückgegriffen und die Ausbreitungsrechnung sowie die Turbulenzmodellierung mit dem Modell LASAT (Version 2.6) durchgeführt. Hierbei berechnet das Modell MISKAM die durch Gebäude modifizierte Windrichtung und Windgeschwindigkeit für neutrale Schichtung und übergibt dieses an das Modell LASAT, welches die Turbulenz- und Ausbreitungsrechnung für alle Stabilitätsklassen durchführt.

Es wurde bei den folgenden Betrachtungen unterschieden zwischen dem Fall, daß nur das emittierende Gebäude mit seinen Abmessungen aufgelöst wird und dem Fall, daß im Umfeld des emittierenden Gebäudes weitere Gebäude berücksichtigt werden müssen. Außerhalb des Bereiches mit Gebäuden wurde eine einheitliche Rauheitslänge $z_0 = 0.15$ m angesetzt. Die Emissionen und Abmessungen entsprechen den in Kapitel 7. angegebenen Werten.

Die angeführten effektiven Quellhöhen können sowohl als Höhe des Kamins bei weitestgehend impulsfreiem Austritt als auch als effektive Quellhöhe bei überhöungsbehafteter Freisetzung interpretiert werden. Bei der Seitenwandlüftung wurde aus jeweils 4 Öffnungen je Stallängsseite (1.5 m hoch, 1 m breit) gleichverteilt impulsfrei emittiert.

Es wurde bei der Darstellung der Ergebnisse in diesem Fall auf eine Flächenmittelung verzichtet, um die Form und Ausdehnung der Häufigkeitsverteilung im Nahbereich um die Gebäude besser sichtbar zu machen. Es wird der Nahbereich bis in eine Entfernung von ca. 10 mal der Freisetzungshöhe sowie ein größerer Bereich bis in eine Entfernung von ca. 20 mal der Freisetzungshöhe dargestellt. Für Rechnungen über diesen Bereich hinaus steigt der Rechenbedarf stark an, da die Gitterpunktanzahl von der Auflösung der gewünschten Gebäudestruktur abhängt, d. h. daß eine besonders feine Auflösung von Details der Gebäude mit einer Beschränkung hinsichtlich der Größe des Rechengebietes verbunden ist.

Folgende Rechnungen wurden durchgeführt:

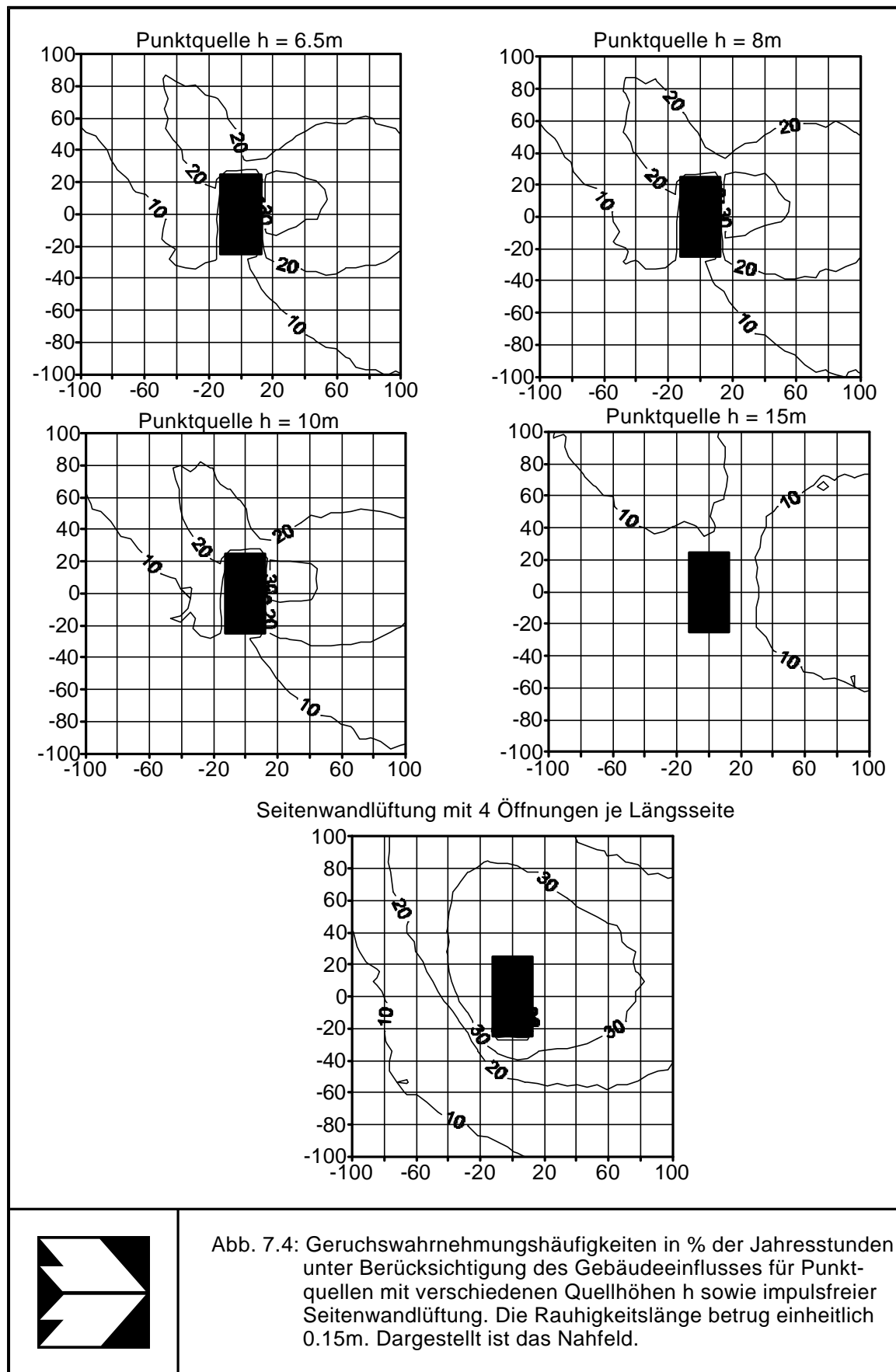
Rechnung Nr.	Quellentyp	effektive Quellhöhe	Rauhigkeitslänge z_0	Gebäudetyp
R1	Punktquelle	6.5 m ü.Gr.	0.15 m	Einzelgebäude
R2	Punktquelle	8.0 m ü.Gr.	0.15 m	Einzelgebäude
R3	Punktquelle	10.0 m ü.Gr.	0.15 m	Einzelgebäude
R4	Punktquelle	15.0 m ü.Gr.	0.15 m	Einzelgebäude
R5	Seitenwand	1.5 - 3.0 m ü.Gr.	0.15 m	Einzelgebäude
R6	Punktquelle	6.5 m ü.Gr.	0.15 m	mehrere Gebäude
R7	Punktquelle	10.0 m ü.Gr.	0.15 m	mehrere Gebäude
R8	Punktquelle	15.0 m ü.Gr.	0.15 m	mehrere Gebäude
R9	Seitenwand	1.5 - 3.0 m ü.Gr.	0.15 m	mehrere Gebäude

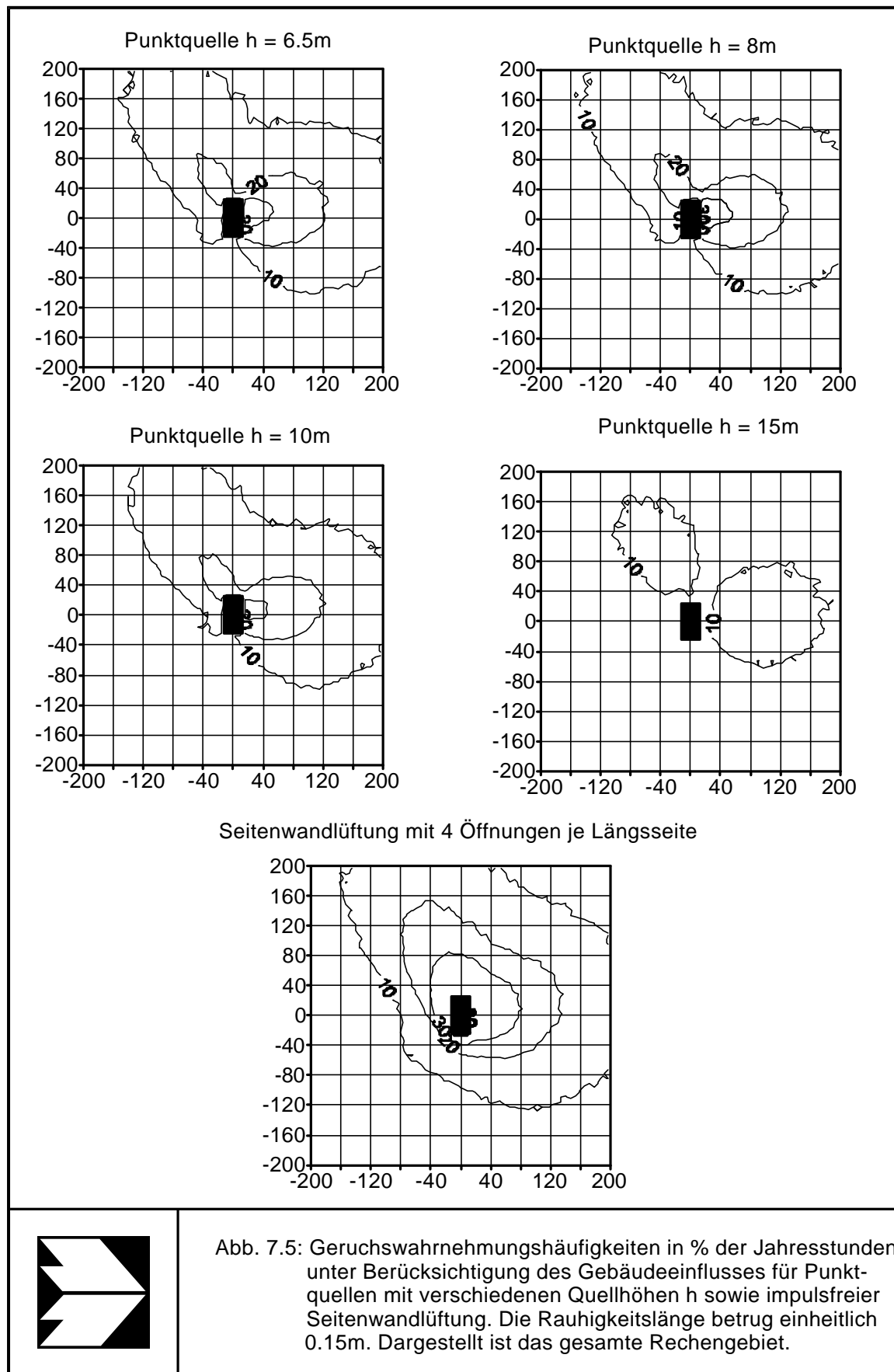
Tab. 7.2: Eingangsdaten der Ausbreitungsrechnung.

In **Abb. 7.4** (Nahbereich) und **Abb. 7.5** (größeres Gebiet) sind die Ergebnisse für den Fall des Einzelgebäudes aufgetragen. Es ist hier deutlich zu erkennen, daß das Gebäude bei Freisetzungshöhen, die weniger als ca. 2mal die Gebäudehöhe betragen, einen Effekt dahingehend erzeugt, daß die Geruchswahrnehmungshäufigkeiten nur wenig mit der Freisetzungshöhe variieren (auf **Abb. 7.4** die Höhen 6.5 m, 8 m und 10 m). Erst bei einer größeren Freisetzungshöhe emittiert man in das vom Gebäude nur noch wenig beeinflusste Strömungsfeld, so daß die Wahrnehmungshäufigkeiten deutlich absinken. Die größten Wahrnehmungshäufigkeiten erhält man bei einer bodennahen Seitenwandfreisetzung (unteres Bild in **Abb. 7.4**), die sich v.a. im Nahfeld stark auswirkt.

Die Berücksichtigung des Gebäudes liefert niedrigere Geruchswahrnehmungshäufigkeiten im Nahfeld (bis ca. 100 m), wenn die Freisetzung direkt am Dach erfolgt, im Vergleich zu einer Punktquelle (gleiche Höhe über Grund) ohne Gebäude.

Vergleicht man eine bodennahe Punktquelle (1 m über Grund), die hier nicht als Ergebnisbild dargestellt ist, mit der Seitenwandlüftung (mit Gebäudeeinfluß, **Abb. 7.5** unten), so er-





geben sich bei der Seitenwandlüftung im Nahfeld (hier ca. 100 m) höhere Wahrnehmungshäufigkeiten. Dies gilt nicht für die Volumenquelle (siehe **Abb. 7.3**) im Vergleich zur Seitenwandlüftung. Hier liefert die Volumenquelle teilweise höhere Konzentrationen im Nahfeld, da kein Gebäude als turbulenz erzeugendes Strömungshindernis auftritt.

Je nach Quellkonfiguration (Punktquelle im Einfluß des Gebäudes oder außerhalb desselben) kann auch noch in Entfernungen von mehr als ca. der 20-fachen Gebäudehöhe ein Unterschied im Ergebnis der Berechnungen mit und ohne Gebäudeeinfluß sichtbar sein. Diese Unterschiede liegen jedoch im Größenordnungsbereich der in Kap. 5.1.2 diskutierten Unterschiede in der Strömungsgeschwindigkeit (20 %).

Im weiteren Vorgehen wurden zusätzlich zu dem Einzelgebäude, welches in den vorgenannten Rechnungen auch als Quellgebäude fungierte, noch umliegende Gebäude modelliert. Es wurden dazu unterschiedlich hohe Gebäude (5 m bis 12 m) um das Quellgebäude herumgruppiert, so daß weitere Strömungshindernisse vorhanden waren.

Die Ergebnisse sind in **Abb. 7.6** und **Abb. 7.7** aufgetragen. Man sieht, daß durch die erhöhte Rauigkeit und den Gebäudeeinfluß innerhalb des bebauten Gebietes (Vergleich **Abb. 7.6** mit **Abb. 7.4**) eine Verteilung dahingehend erfolgt, daß z. T. höhere und z. T. niedrigere Geruchswahrnehmungshäufigkeiten zwischen den Gebäuden auftreten im Vergleich zum Fall, wenn keine umgebenden Gebäude vorhanden sind. Außerhalb des bebauten Bereichs (Vergleich von **Abb. 7.5** und **Abb. 7.7**) tritt jedoch im allgemeinen eine leichte Verringerung der Geruchswahrnehmungshäufigkeiten auf.

7.3 Anwendungsfall 3: Ebenes Gelände, mit Gebäuden, Fernfeld

Für diesen Fall wurde davon ausgegangen, daß die Kenntnis der Verhältnisse innerhalb eines Radius von ca. 20-facher Gebäudehöhe (des emittierenden Gebäudes) keine Rolle spielt, so daß dieser Bereich nicht einzeln bezüglich der Gebäudestruktur aufzulösen ist. Die Angabe einer erhöhten Rauigkeit für die Flächen mit Gebäuden soll diesen Einfluß berücksichtigen. Es wurden daher Vergleichsrechnungen gemacht, die für den Bereich ohne Gebäude eine Rauigkeitslänge von $z_0 = 0.15$ m aufwiesen und für den Bereich mit Gebäuden eine Rauigkeitslänge von 0.25 m, 0.5 m und 1 m. Eine Rauigkeitslänge von 1 m repräsentiert hierbei schon relativ hohe Gebäude bzw. hohen Bewuchs (Wieringa, 1993). Der Bereich mit erhöhter Rauigkeitslänge wurde auf einer Fläche von 200 m x 200 m angesetzt. Die sonstigen Eingangsdaten entsprechen denjenigen des Anwendungsfalls 1 (Abschnitt 7.1).

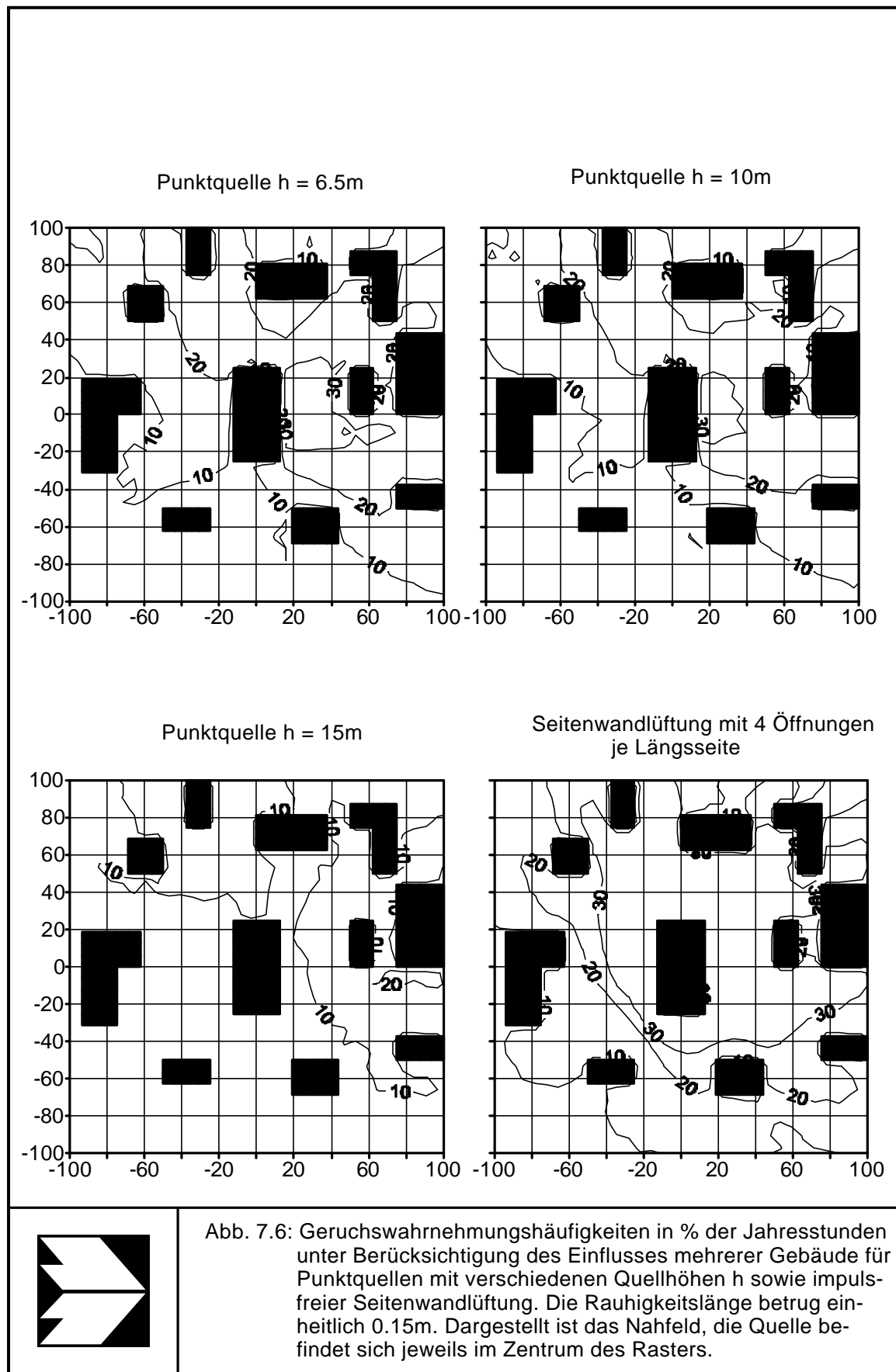
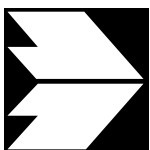


Abb. 7.6: Geruchswahrnehmungshäufigkeiten in % der Jahresstunden unter Berücksichtigung des Einflusses mehrerer Gebäude für Punktquellen mit verschiedenen Quellhöhen h sowie impulsfreier Seitenwandlüftung. Die Rauigkeitslänge betrug einheitlich 0.15m. Dargestellt ist das Nahfeld, die Quelle befindet sich jeweils im Zentrum des Rasters.



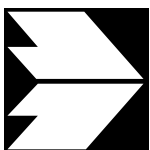
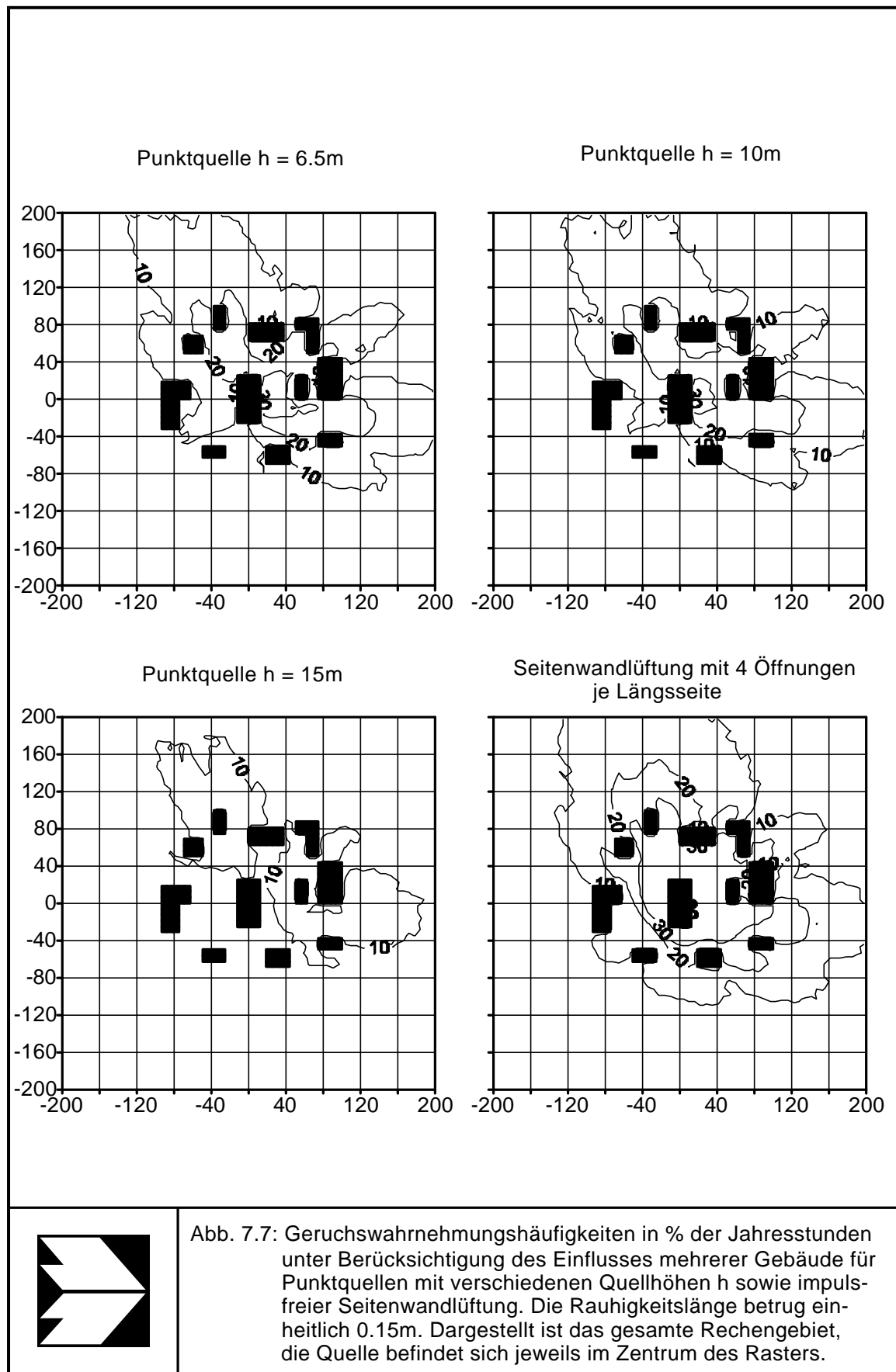


Abb. 7.7: Geruchswahrnehmungshäufigkeiten in % der Jahresstunden unter Berücksichtigung des Einflusses mehrerer Gebäude für Punktquellen mit verschiedenen Quellhöhen h sowie impulsfreier Seitenwandlüftung. Die Rauigkeitslänge betrug einheitlich 0.15m. Dargestellt ist das gesamte Rechengebiet, die Quelle befindet sich jeweils im Zentrum des Rasters.

Sowohl die Strömungs- als auch die Ausbreitungsmodellierung wurde mit dem Modell LASAT (Version 2.6) durchgeführt.

In **Abb. 7.8** ist das Ergebnis am Beispiel einer Volumenquelle dargestellt. Dieser Fall vergleicht sich direkt mit dem Fall der Nord-Süd orientierten Volumenquelle aus **Abb. 7.3**, bei welcher eine einheitliche Rauigkeit angenommen wurde. Es wird deutlich, daß durch den Ansatz der größeren Rauigkeit das Ergebnis außerhalb des 200 m x 200 m Feldes nur wenig geändert wird. Im Vergleich zur einheitlichen Rauigkeit (**Abb. 7.3**) treten im Umfeld etwas niedrigere Geruchswahrnehmungshäufigkeiten auf, was sich mit den Ergebnissen aus Abschnitt 7.3 deckt. Auch dort wurden durch die Berücksichtigung verschiedener Gebäude außerhalb etwas niedrigere Werte ermittelt.

7.4 Weitere Anwendungsfälle

In Kap. 5 werden weitere für die Praxis relevante Anwendungsfälle beschrieben. Allen diesen Fällen gemeinsam ist die Vorgabe, daß es sich nicht (wie bei den bisher behandelten Fällen) um ebenes Gelände handelt, sondern daß jetzt die einzelnen zu betrachtenden Varianten in gegliedertem Gelände liegen.

Der Unterschied in der Vorgehensweise besteht darin, daß eine für einen Meßpunkt in der ferneren Umgebung vorhandene Windstatistik auf den Standort im gegliederten Gelände übertragen werden muß. Zur Vereinfachung wird hierbei angenommen, daß das eigentliche Untersuchungsgebiet (Radius ca. 20-fache Freisetzungshöhe um den Emittenten) in nur wenig gegliedertem Gelände liegt und dieses in ein stärker topographisch strukturiertes Gebiet eingebettet ist. Die Übertragung muß durch hierfür geeignete Institutionen (DWD, Ingenieurbüros etc.) durchgeführt werden, da die hier benützten Programme kein eigenes Modul zur Berechnung einer Statistik der Windverteilung besitzen. Diese Modelle liefern lediglich das Strömungsfeld für einzelnen Situationen. Weitere Einzelheiten bezüglich der Übertragung einer Windstatistik können dem Merkblatt „Anforderungen an die meteorologischen Eingangsdaten für Ausbreitungsrechnung nach TA Luft“ des Länderausschusses für Immissionsschutz (1997) entnommen werden.

Für den hier bearbeiteten Fall wurden zwei Modelltopographien erstellt, die in **Abb. 7.9** und **Abb. 7.10** dargestellt sind. Das Berechnungsgebiet liegt hierbei jeweils in einem Tal.

Die bei den bisherigen Rechnungen verwendete Windstatistik von Dresden-Klotzsche wird als Ausgangsstatistik durch das diagnostische Windfeldmodell des Programms LASAT auf

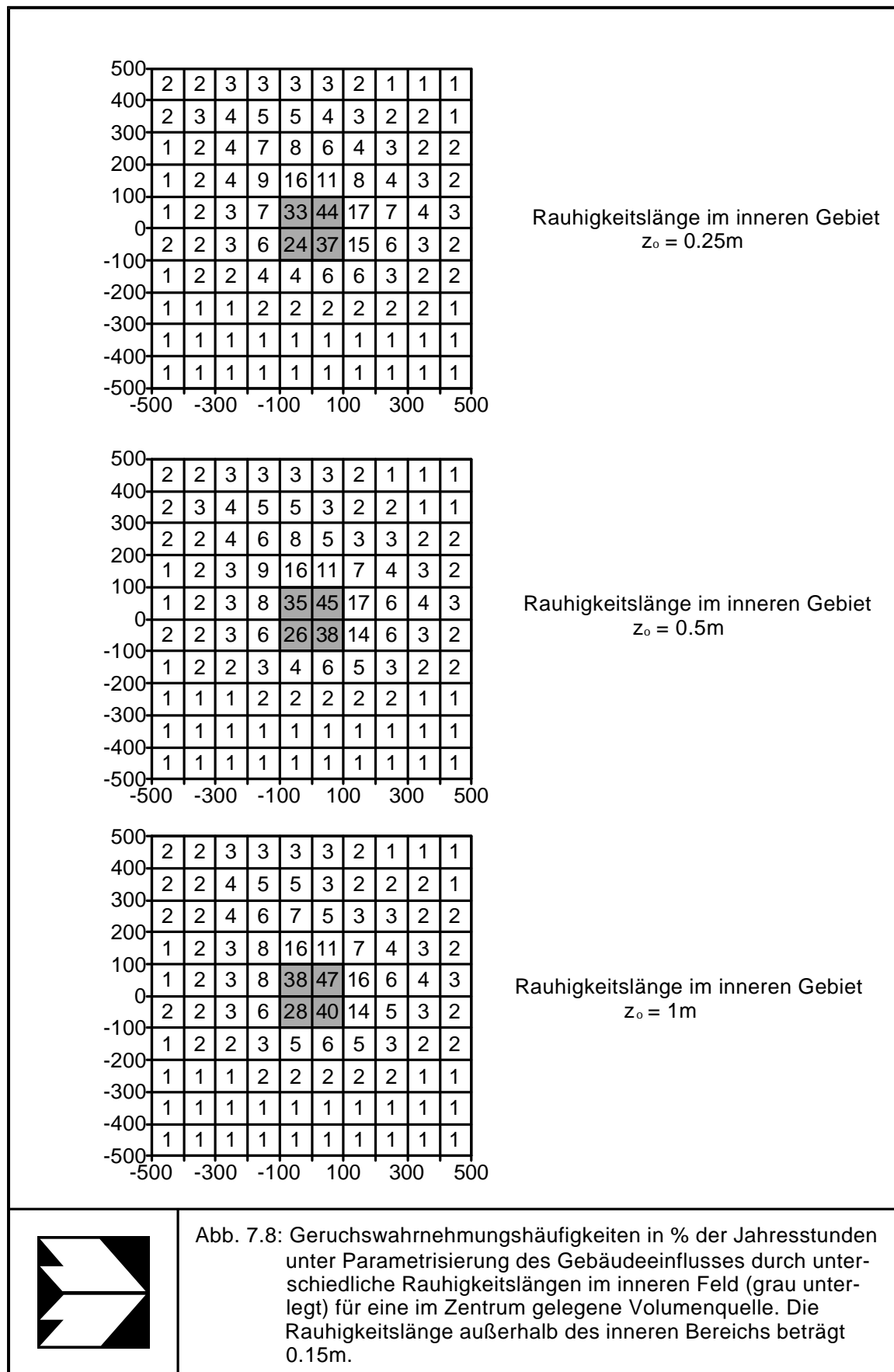


Abb. 7.8: Geruchswahrnehmungshäufigkeiten in % der Jahresstunden unter Parametrisierung des Gebäudeeinflusses durch unterschiedliche Rauhigkeitslängen im inneren Feld (grau unterlegt) für eine im Zentrum gelegene Volumenquelle. Die Rauhigkeitslänge außerhalb des inneren Bereichs beträgt 0.15m.

Modelltopographie 1

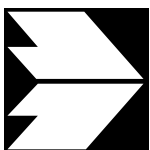
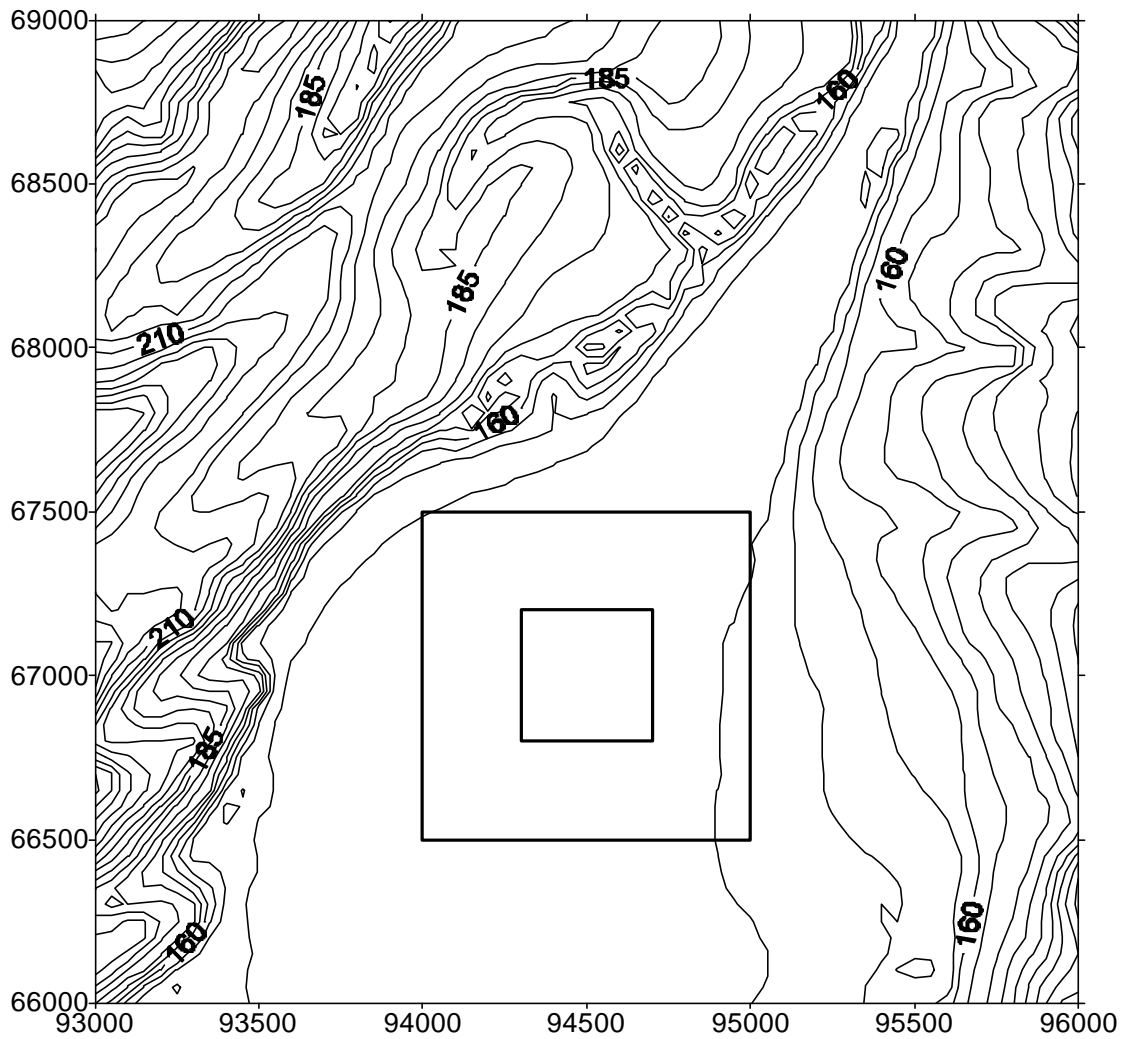


Abb. 7.9: Modelltopographie 1 für die Windfeldübertragung. Das grobe und feine Rechengebiet sind durch Rechtecke gekennzeichnet.

Modelltopographie 2

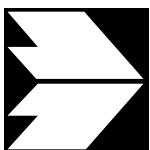
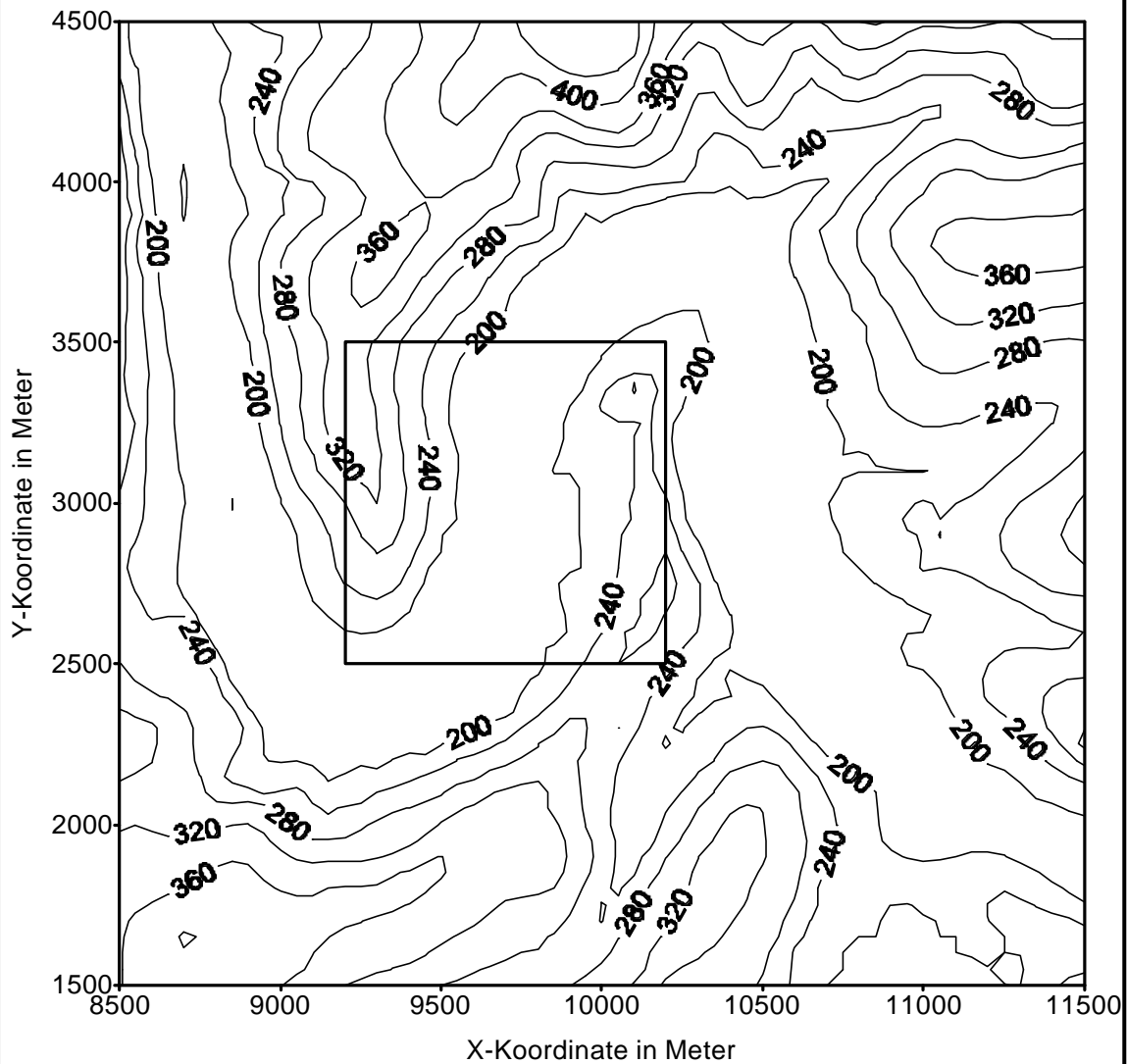


Abb. 7.10: Modelltopographie 2 für die Windfeldübertragung. Das grobe Rechengebiet ist durch ein Rechteck gekennzeichnet.

den jeweiligen Untersuchungsraum übertragen. Das errechnete Strömungsfeld beinhaltet (jeweils örtlich unterschiedlich) die Einflüsse der Topographie auf die Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung.

Mit den so berechneten Windfeldern wurde jeweils eine exemplarische Ausbreitungsrechnung mit LASAT durchgeführt, um den Effekt einer Übertragung aufzuzeigen. Für die weiteren Parameter ergeben sich keine wesentlichen Änderungen gegenüber den in Abschnitt 7.1 bis Abschnitt 7.3 aufgeführten Ergebnissen, da sich nur die Windstatistik ändert.

In **Abb. 7.11** ist das Ergebnis der Berechnungen mit Modelltopographie 1 und in **Abb. 7.12** dasjenige mit Modelltopographie 2 im Vergleich zur Berechnung mit der Statistik Dresden-Klotzsche dargestellt. Obwohl in beiden Fällen die Talstruktur schon deutlich ausgeprägt ist, unterscheiden sich die Ergebnisse deutlich.

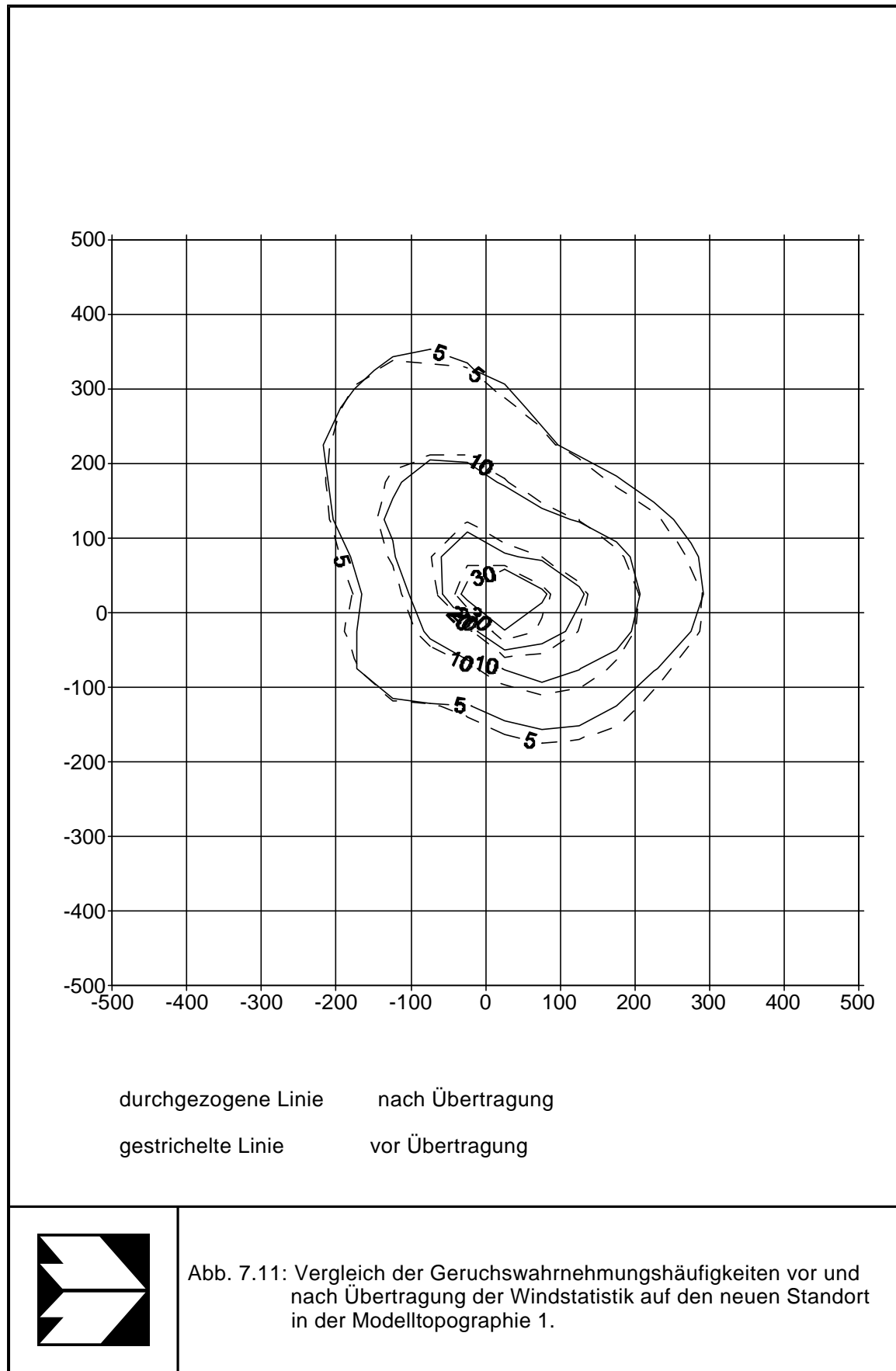
Dies liegt daran, daß die Übertragung auf die relativ ebene Talsohle von Modelltopographie 1 nur geringe Auswirkungen auf die Windrichtungsverteilung hat. Selbst ein Verschieben des Untersuchungsgebietes nach Nordosten innerhalb der Modelltopographie änderte nur wenig am Ergebnis. Bei der genaueren Analyse konnte ermittelt werden, daß die Hauptwindrichtungen der Ausgangsstatistik (West-Südwest, Südost und Nordost) bei der vorgegebenen Topographie nur wenig innerhalb des Untersuchungsgebietes variieren.

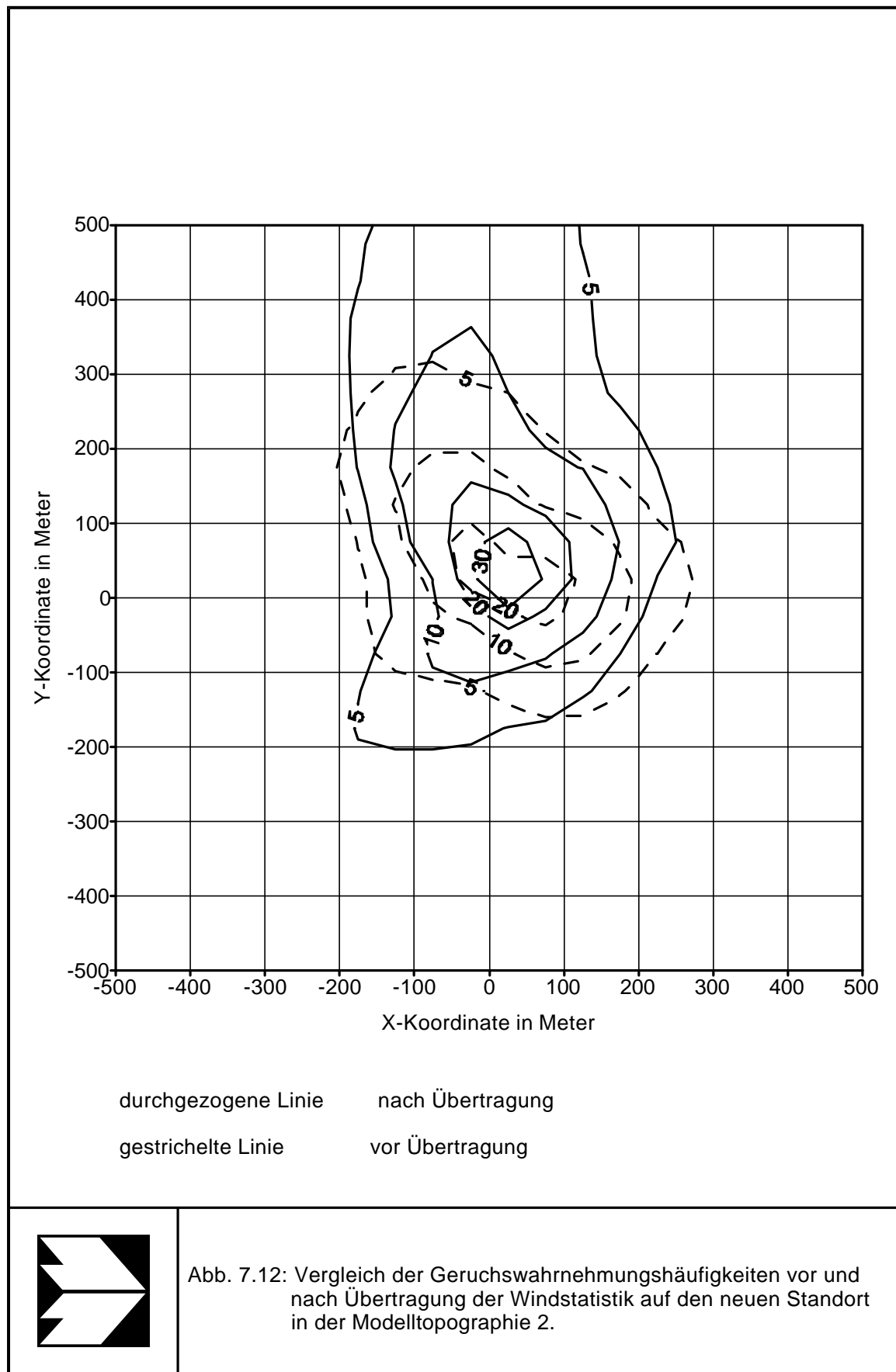
Die topographische Struktur muß deutlicher ausgeprägt sein (tiefere Täler, damit mehr Umströmung als Überströmung auftritt), wie dies bei Modelltopographie 2 der Fall ist. Hier ist das Tal enger und die umliegenden Berge höher. Es erfolgt auch in der Häufigkeitsverteilung eine deutliche Kanalisierung entlang der Talachse.

Die beiden aufgeführten Beispiele sollen aufzeigen, daß bei vorhandener topographischer Gliederung im Rahmen des vorliegenden Projektes eine pauschale Aussage zur Notwendigkeit einer Windfeldübertragung nicht gemacht werden kann.

7.5 Kaltluft

Einen Sonderfall unter den hier beschriebenen Anwendungsfällen stellt die Situation bei Kaltluftabflüssen dar. Kaltluftabflüsse entstehen in wolkenlosen bis schwach bewölkten Nächten, wenn sich aufgrund der negativen Energiebilanz die auf dem Erdboden aufliegenden Luftschichten stark abkühlen. Bei fehlendem oder schwachem Wind beginnen die abgekühlten Luftschichten abzufließen, wenn das Gelände entsprechende Neigungen auf-





weist (i.A. mehr als 2°). Die Abflußbahnen werden durch die Geländestrukturen (Einschnitte, Hänge, Täler etc.) vorgegeben. Gelangen die abfließenden Luftmassen in Bereiche, in denen die Geländeneigung nicht zum weiteren Antrieb ausreicht, so sammeln sie sich nach dem Verlust ihres Impulses an (Kaltluftstagnationsgebiet). Die Intensität von Kaltluftabflüssen hängt unter anderem ab von der Größe der Kaltluftproduktionsflächen, der Kaltluftproduktionsrate, der Geländeneigung und der Geländerauhigkeit.

Die Relevanz von Kaltluftabflüssen für die Ausbreitung von Geruchsstoffen liegt in den reduzierten Austauschbedingungen aufgrund der stabilen Schichtung und der oft nur geringen vertikalen Ausdehnung, innerhalb derer die Geruchsstoffe verteilt werden können. Darüber hinaus beaufschlagen Kaltluftabflüsse immer dieselben Gebiete, die durch die Abflußbahnen vorgegeben werden. Bei einer mittleren Häufigkeit von Kaltluftabflüssen von ca. 10 % bis 20 % in Mitteleuropa kann somit bei Überschreiten der Geruchsschwelle im Kaltluftabfluß eine deutliche Belastung durch Gerüche auftreten.

Bedingt durch den thermischen Antrieb der Kaltluftabflüsse, können diese mit den in der vorliegenden Studie vorgeschlagenen Modellen nicht berechnet werden. Hierzu sind entweder spezielle Kaltluftabflußmodelle oder deutlich aufwendigere Modelltypen als die hier vorgeschlagenen notwendig. Da in der recherchierten Literatur keinerlei Hinweise auf Fluktuationen innerhalb von Kaltluftabflüssen gefunden wurden, ist auch die Bewertung von Geruchsstoffkonzentrationen im Sinne der GIRL unsicher.

Zur Behandlung von Kaltluftabflüssen innerhalb des im vorliegenden Projekt behandelten Kontexts kann ein gestuftes Vorgehen gewählt werden. Als erster Punkt der Vorgehensweise empfiehlt sich die Abschätzung der Relevanz von Kaltluft anhand eines Ortstermins und der Bewertung der Kaltluftbedingungen anhand geeigneter Materials (z. B. topographischer Karten, Gelände nutzungsdaten). Hierzu muß der Bearbeiter entsprechende Erfahrung aus der Behandlung ähnlicher Fälle aufweisen, da er vorerst auf die äußere Einschätzung der Bedingungen angewiesen ist. Hilfreich hierbei ist die Durchführung des Ortstermins zu einer Zeit, zu der die Bedingungen für Kaltluftproduktion gegeben ist. Dies kann schon bei Sonnenuntergang vor Einsetzen der Dämmerung sein, da dann bei günstigen Bedingungen schon die Kaltluftabflüsse einsetzen.

Sollte bei der Überprüfung der Bedingungen zur Kaltluftbildung herausgekommen sein, daß diese bei der Geruchsausbreitung eine Rolle spielen können, so kann in einem zweiten Schritt die näherungsweise Erfassung bei der Ausbreitungsrechnung durch eine Einordnung der Kaltluftabflüsse in die sehr stabile Ausbreitungsklasse einer Ausbreitungsklassenstatistik erfolgen. In unserem Hause durchgeführte Tracergasuntersuchungen haben gezeigt, daß die Ver-

dünnungsverhältnisse innerhalb von Kaltluftabflüssen in der Mehrzahl der Fälle durch die Ausbreitungsparameter der sehr stabilen Ausbreitungsklasse der TA Luft beschrieben werden können. Hierzu ist es jedoch notwendig, die entsprechende Fließrichtung der Kaltluft in die Ausbreitungsklassenstatistik zu integrieren. Hierfür kann kein allgemeines Konzept angegeben werden, da die Verhältnisse in jedem Einzelfall anders gelagert sind.

Für die Fluktuationen innerhalb von Kaltluftabflüssen konnten in der Recherche keine Erkenntnisse gewonnen werden. Als Näherung muß daher mit dem vorgeschlagenen Wert von 4 gearbeitet werden.

7.6 Auswertung

Aus der Sensitivitätsstudie sollen Aussagen zu einigen immer wieder auftretenden Fragen bei der Beurteilung von Gutachten hergeleitet werden. Es ist hierbei zu beachten, daß manche Eingangsgrößen, wie Geruchsquellstärke, Gebäudeabmessungen, Abluftstrom etc., bei den Berechnungen nicht variiert wurden. Es war den Bearbeitern der vorliegenden Studie hierbei bewußt, daß bestimmte Parameter, wie z. B. das Lüftungsregime, auch Einfluß auf die Emission haben können. Es wurde jedoch so verfahren, um die Anzahl der veränderlichen Größen nicht zu groß werden zu lassen. Die folgenden Aussagen beziehen sich alle auf die Effekte, die mit dem in der vorliegenden Studie verwendeten Modell errechnet werden. Ein Vergleich mit den Ergebnissen anderer Modelle (z. B. TA Luft) erfolgte nicht, so daß bekannte Effekte bestimmter Modelltypen (z. B. die starke Quellhöhenabhängigkeit der Ergebnisse des TA Luft-Modells bei bodennaher Freisetzung, siehe Kap. 3.1) nicht einbezogen werden.

7.6.1 Einfluß Lüftungsregime

Zur Beurteilung des Einflusses, den das Lüftungsregime auf das Ergebnis einer Ausbreitungsmodellierung hat, wenn man die Gegebenheiten der Lüftung wie in der vorliegenden Studie modellhaft berücksichtigt, ergaben sich die folgenden Zusammenhänge:

- Bei einer zentralen Lüftungsanlage über Dach (hier als Punktquelle mit Gebäudeeinfluß (Gebäudehöhe 6 m) simuliert) erniedrigt sich die Geruchswahrnehmungshäufigkeit im Nahfeld (bis in ca. 200 m bis 300 m) um die Quelle, wenn die Freisetzung direkt am Dach ohne Impuls erfolgt (z. B. Lüfter mit Abdeckung) gegenüber einer über Grund gleich hohen Punktquelle ohne Gebäudeeinfluß. Dieser Effekt tritt bei den hier gewählten Dimensionen eines niedrigen Gebäudes (typische Schweinestallhöhe) auf.

- Hat die Abluft jedoch einen Vertikalimpuls (d. h. effektive Quellhöhe größer Kaminhöhe ü.Gr.) oder erfolgt die Freisetzung deutlich über dem Dach (hier: 4 m über Dach), so erhöht sich die Wahrnehmungshäufigkeit im Nahfeld gegenüber einer gleich hohen Punktquelle ohne Gebäudeeinfluß.
- Die Seitenwandlüftung liefert im Vergleich zu einer bodennahen Punktquelle geringfügig höhere Häufigkeiten im Nahfeld, jedoch können durch die Gebäudestruktur auch Bereiche mit geringerer Häufigkeit auftreten.
- Seitenwandlüftung (4 Öffnungen je Längsseite, ohne Abluftimpuls) mit Gebäudeeinfluß liefert ähnliche Ergebnisse wie die Volumenquelle ohne Gebäudeeinfluß, mit geringen Erhöhungen in Stallängsachse.
- Die Zusammenfassung von sechs dünnen, niedrigen Einzellüftern zu einem dicken, hohen Monoschacht unter Berücksichtigung des Gebäudeeinflusses bringt im Nahfeld Verbesserungen.
- Die angegebenen Abhängigkeiten wirken sich vornehmlich auf das Nahfeld (im vorliegenden Fall bis ca. 200 m bis 300 m) aus.

7.6.2 Gebäude mit Emission

Ein Gebäude, an dem oder aus dem heraus emittiert wird, beeinflußt das Strömungsfeld, so daß Änderungen in den Ausbreitungsbedingungen auftreten. Die Effekte, die auftreten können, hängen eng mit dem Lüftungsregime (zentrale Freisetzung über Dach, Seitenwandlüftung etc.) zusammen, weshalb Aussagen aus dem vorangehenden Unterkapitel auch hier auftreten.

- Die Berücksichtigung des Gebäudes liefert niedrigere Geruchswahrnehmungshäufigkeiten im Nahfeld, wenn die Freisetzung direkt am Dach erfolgt im Vergleich zu einer Punktquelle (gleiche Höhe über Grund) ohne Gebäude. Dies gilt für niedrige Quellhöhen (hier 6 m ü.Gr.).
- Wenn die effektive Quellhöhe durch Impuls oder höheren Kamin steigt, treten im Nahfeld bei Berücksichtigung des Gebäudes höhere Wahrnehmungshäufigkeiten auf als wenn das Gebäude unberücksichtigt bleibt.
- Die Lüftung über die Seitenwand (mit Gebäude) kann beim vorgeschlagenen Modell durch eine Volumenquelle (ohne Gebäude) angenähert werden, wenn die Dimensionen eingehal-

ten werden (Ausdehnung der Volumenquelle nicht wesentlich größer als Länge oder Höhe des Bereichs mit Lüftungsöffnungen).

- Eine bodennahe Punktquelle (ohne Gebäude) liefert geringfügig niedrigere Häufigkeiten als die Simulation der Seitenwandlüftung mit Gebäude, jedoch können aufgrund der Gebäudestruktur auch Bereiche in Nahfeld auftreten, wo umgekehrte Verhältnisse vorliegen (allerdings nur geringe räumliche Ausdehnung).

7.6.3 Umgebende Gebäude

Umgebende Gebäude sorgen durch die Veränderung der Windgeschwindigkeit, der Turbulenz und durch die Umströmung der einzelnen Gebäude für veränderte Ausbreitungsbedingungen. Allgemein läßt sich folgendes sagen:

- Innerhalb der Gebäudestruktur treten sowohl Erhöhungen als auch Erniedrigungen der Wahrnehmungshäufigkeit gegenüber dem Fall ohne Gebäude auf. Eine einheitliche Tendenz läßt sich nicht erkennen.
- Außerhalb des Bereichs mit Gebäuden sind die Häufigkeiten eher etwas geringer im Vergleich zum Fall ohne Gebäude.

7.6.4 Geländerauhigkeit

Die Auswirkungen der Geländerauhigkeit auf das Ergebnis von Ausbreitungsrechnungen ist z. T. gekoppelt an die Quellhöhe. Folgende Aussagen können getroffen werden:

- Bei Freisetzung am Boden (hier $h = 1$ m) ergeben höhere Geländerauhigkeiten in allen Entfernungsbereichen niedrigere Häufigkeiten, d. h. in glattem Gelände (z. B. Grasland) sind die bodennahen Belastungen höher als in rauhem Gelände (mit Bäumen, Gebäuden etc.).
- Bei Punktquellen über dem Boden (hier $h \geq 6$ m) liefert eine größere Rauhigkeit im Nahfeld höhere Häufigkeiten und im Fernfeld niedrigere Häufigkeiten. Die Entfernung, bei der die Häufigkeit sich nicht ändert, ist von der effektiven Quellhöhe ü.Gr. abhängig.

- Berücksichtigt man Bebauung, innerhalb derer die Quelle liegt, durch eine höhere Rauigkeit, so werden im Fernfeld die Häufigkeiten etwas geringer, wobei die Effekte im hier untersuchten Fall klein waren.

7.6.5 Zusammenfassung von Quellen

Zur Minimierung des Rechenaufwandes werden oft mehrere gleichartige Abluftöffnungen zu einer einzigen Quelle zusammengefaßt. Hierbei ist zu beachten, daß bei der rein fiktiven Zusammenfassung für die Ausbreitungsrechnung die Daten, die die Abluffahnenüberhöhung bestimmen (z. B. Abluftvolumenstrom, Austrittsdurchmesser etc.), nicht zusammengefaßt werden dürfen, sondern nur die Emissionsmassenströme, so daß für die Überhöhung nur die Daten der Einzelquelle herangezogen werden. Unter diesem Aspekt spielt die Zusammenfassung von Quellen zu einer zentralen Punktquelle im Fernfeld keine Rolle. Lediglich im Nahfeld können bei langen Gebäuden quer zur Gebäudelängsachse Erhöhungen aufgrund der dann fehlenden räumlichen Trennung der Quellen gegeben sein.

7.6.6 Fahnenüberhöhung

Die Abluffahnenüberhöhung wird bei landwirtschaftlichen Anlagen oft unterschiedlich behandelt. Die Überhöhungsformel nach RL VDI 3471 gilt für Schweineställe, deren Abluftöffnungen relativ nah über Dach geführt werden. Die RL VDI 3782 Bl. 3 berechnet höhere effektive Quellhöhen, da hier von einer Freisetzung im weniger gestörten Strömungsfeld über Dach ausgegangen wird. Von einer Berechnung der Überhöhung nach TA Luft sollte bei den hier betrachteten Anlagen abgesehen werden, da die Überhöhungsformel nur für warme Quellen gilt und dies selbst im Winter mit Übertemperaturen der Stalluft von ca. 20 °C nicht der Fall ist. In der Studie „Vergleichende Untersuchung der Geruchsstoffimmissionsverhältnisse bei verschiedenen Lüftungssystemen in Schweinemastställen“ für die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft wurde gezeigt, daß eine Fahnenüberhöhung nach RL VDI 3782 Bl. 3 im Nahfeld deutliche Reduktionen der Geruchswahrnehmungshäufigkeit bringt im Vergleich zur Überhöhungsrechnung nach RL VDI 3471.

Die Berechnung der Fahnenüberhöhung sollte bei Zusammenfassung von Einzelquellen nur mit den Daten der Einzelquelle erfolgen. Siehe Abschnitt 7.6.5.

7.6.7 Quellhöhe

In dem vorliegenden Vorhaben wurde bei unterschiedlichen Quellhöhen eine auftriebs- und impulslose Quelle simuliert, so daß die angegebenen Höhen als effektive Quellhöhe anzusehen sind. Folgende Zusammenhänge wurden ermittelt:

- Bei einer Punktquelle ohne Gebäudeeinfluß erfolgt eine Abnahme der Geruchswahrnehmungshäufigkeit mit zunehmender Quellhöhe. Im Nahfeld sind die Effekte stark ausgeprägt und im Fernfeld schwächer.
- Bei Freisetzung mit Gebäudeeinfluß ändert sich die Geruchswahrnehmungshäufigkeit mit steigender Quellhöhe fast nicht, solange die Freisetzungshöhe innerhalb des Einflußbereiches der Gebäudeumströmung liegt. Im vorliegenden Fall wurde dieser Einflußbereich mit ca. 2facher Gebäudehöhe abgeschätzt. Bei Quellhöhen über diesem Wert erfolgt die Abhängigkeit wie bei der unbeeinflussten Punktquelle.

7.6.8 Sonstiges

In den vorgenannten Kapiteln wurde unterschieden zwischen Nahbereich und Fernfeld. Eine genaue Definition der Entfernungsbereiche kann aufgrund der Vielzahl der Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Größen in der vorliegenden Studie nicht angegeben werden. Es konnte jedoch gezeigt werden, daß der Gebäudeeinfluß eines einzelnen Gebäudes bis in eine Entfernung von ca. der 20-fache Gebäudehöhe reicht, wenn die Quelle in Gebäudenähe emittiert. Im vorliegenden Fall kann die Grenze zwischen Nahbereich und Fernfeld bei ca. 200 m bis 300 m Entfernung von der Quelle angesetzt werden. Manche Einflüsse sind allerdings auch in größeren Entfernungen noch relevant (z. B. Geländerauhigkeit).

8 LITERATUR

- AUSTAL (1987) (Fath, J., Lühring, P.-G.): Ausbreitungsrechnungen nach TA Luft. - Anwenderhandbuch zur Durchführung mit dem Programmsystem AUSTAL 86. Berlin: E. Schmidt Verl. 1987, UBA-Materialien 2/87.
- Axenfeld, F., Janicke, L., Münch, J. (1984): Entwicklung eines Modells zur Berechnung des Staubniederschlages. UBA-FB 10402562, Umweltbundesamt.
- Barr, S., Clements, W.E. (1984): Diffusion modelling: Principles of application. In: Atmospheric science and power production (Hrsg. D. Randerson). DE84005177 (DOE/TIC-27601), National Technical Information Service, U.S. Dep. Of Commerce, Springfield, Virginia.
- Both, R., Essers, K.-H., Gliwa, H., Külske, S. (1995): Untersuchungen zur Geruchsausbreitung und Geruchserhebung an einem großen Schweinemastbetrieb. Jahresbericht 1995. Hrsg.: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA NRW).
- Dinar, N., Kaplan, H., Kleiman, M. (1988): Characterization of concentration fluctuations of a surface plume in a neutral boundary layer. Bound.-Layer Met. 45, pp. 157-175.
- Eichhorn, J. (1989): Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen mikroskaligen Stadtklima-Modells. Dissertation, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz.
- Emeis, S. (1997): Numerical dispersion models for emission monitoring by spectroscopic remote sensing methods. Spectroscopic Atmospheric Monitoring Techniques, Klaus Schäfer (Hrsg.), SPIE Proceeding Series, Vol 3106, pp. 120-127.
- Fackrell, J.E. (1978): Plume concentration statistics measured on the Tilbury-Northfleet model, Bericht R/M/N 1016, Central Electricity Generating Board, Research Division, Marchwood Engineering Laboratories.
- Gifford, F.A. (1961): Use of routine meteorological observations for estimating atmospheric dispersion. Nuclear Safety, 2, pp. 47-51.
- Graff, A., Strimaitis, D., Yamartino, R. (1998): Regulatory-oriented features of the kinematic simulation particle model. Air Pollution Modeling and Its Application XII, Plenum Press, New York, 1998.
- Gross, G., Röckle, R., Janssen, U. (1994): ASMUS - Ein numerisches Modell zur Berechnung der Strömung und der Schadstoffverteilung im Bereich einzelner Gebäude. Das Strömungsfeld, Meteorologische Zeitschrift NF 3, S. 267-274.

- Hanna, S.R. (1984): The exponential probability density function and concentration fluctuations in smoke plumes. *Bound.-Layer Met.* 29, pp. 361-375.
- Hanna, S.R. (1984): Concentration fluctuations in a smoke plume. *Atm. Environment*, Vol. 18, No. 6, pp. 1091-1106.
- Hanna, S.R., Chang, J.S., Strimaitis, D.G. (1990): Uncertainties in source emission rate estimates using dispersion models. *Atm. Environment*, No. 12, pp. 2971-2980.
- Janicke, L. (1985): Particle simulation of dust transport and deposition and comparison with conventional models. In: *Air pollution modeling and its application IV* (Hrsg.: De Wispelae-re). Plenum Press, New York.
- Janicke, L. (1997): Ausbreitungsmodell LASAT, Referenzbuch zu Version 2.6, Ing.-Büro Lutz Janicke, Alter Postweg 21. 26427 Dunum.
- Janicke, L., Klug, W., Rafailidis, St., Schatzmann, M., Yamartino, R. (1998): Validierung des „Kinetic Simulation Particle Model“ (KSP-Modell) für Anwendungen im Vollzug des BImSchG, Forschungsbericht 98-2954.354 des Umweltbundesamtes. Zusammenge-stellt im Meteorologischen Institut der Universität Hamburg. Oktober 1998.
- Keck, M., Schmidlin, A. (1998): Vergleich der Geruchsschwellen bei Rinderställen mit und ohne Laufhofnutzung. VDI-Berichte 1373, Gerüche in der Umwelt - Innenraum- und Außenluft. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf.
- Krause, K.-H., Mejer, G.-J. (1985): Transmission luftgetragener Fremdstoffe von der Pro-duktionsstätte. *Jahrbuch der FAL* 1985, G102-G103.
- Leene, J.A., Delannay, D., Jensen, A.G. (1990): Handbook on obstacle wake effects related to wind turbine siting. TNO-Report 90-117, im Auftrag der Commission of the European Communities, Directorate-General of Science, Research and Development.
- Lohmeyer, A., Düring, I., Bächlin, W., Schädler, G. (1998): Assessment of air quality under EU Directives: Possibilities of models in draft of German guideline VDI 3782-8. Vortrag beim VDI-Kolloquium "Neuere Entwicklungen bei der Messung und Beurteilung der Luftquali-tät", 27. - 29.4.1999, Heidelberg.
- Løfstrøm, P., Jørgensen, H. Lyck, E., Mikkelsen, T. (1996): Test of a new concentration fluctuation model for decision-makers. In: *Air Pollution Modeling and ist Applications XI* (edited by S.E. Gryning and F.A. Schiemeier), pp. 285-292, vol. 21, Plenum Press, New York, 1996.

Lung (1997): Persönliche Mitteilung an Herrn Lohmeyer.

Mole, N., Jones, C.D. (1994): Concentration fluctuation data from dispersion experiments carried out in stable und unstable conditions. Bound. Layer Met., 67, pp. 41-74.

Mylne, K.R., Mason, P.J. (1991): Concentration fluctuation measurements in a dispersing plume at a range of up to 1 000 m. Q.J.R. Meteorol. Soc, 117, pp. 177-206.

Mylne, K.R. (1992): Concentration fluctuation measurements in a plume dispersing in a stable surface layer. Bound.-Layer Met. 60, pp. 15-48, 1992.

Mylne, K.R. (1993): The vertical profile of concentration fluctuations in near-surface plumes. Bound.-Layer Met. 65, pp. 111-136, 1993.

Mylne, K.R., Davidson, M.J., Thomson, D.J. (1996): Concentration fluctuation measurements in tracer plumes using high and low frequency response detectors. Bound.-Layer Met. 79, pp. 225-242, 1996.

Panskus, H. (1995): Ein mikroskaliges diagnostisches Strömungs- und Ausbreitungsmodell für komplex bebauten Gelände. Diplomarbeit Meteorologisches Institut Universität Hamburg.

Pasquill, F. (1961): The estimation of the dispersion of windborne material. Met. Mag., 90, pp. 33-49.

Piringer, M., Schaubberger, G. (1998): Vergleich von empirischen Abstandsregelungen mit dem Gauß'schen Ausbreitungsmodell im Hinblick auf Geruch aus der Nutztierhaltung. In: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (Hrsg.): Gerüche in der Umwelt, Innenraum- und Außenluft. VDI-Berichte 1373, VDI-Verlag, Düsseldorf.

Plate, E J. (1982): Chap. 13, in Engineering meteorology. Elsevier, Amsterdam. ISBN 0-444-41972-1.

Randerson, D (1984): Siehe Barr, S., Clements, W.E. (1984): siehe oben.

Richner, B. , Schmidlin, A. (1995): Mindestabstände von Tierhaltungsanlagen - Empfehlungen für neue und bestehende Betriebe. FAT-Berichte Nr. 476, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon.

Richtlinie VDI 3782, Blatt 3 (1985): Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre. Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung.

Richtlinie VDI 3471 (1986): Emissionsminderung Tierhaltung - Schweine.

- Richtlinie VDI 3472 (1986): Emissionsminderung Tierhaltung - Hühner.
- Richtlinie VDI 3782, Blatt 4 (1991): Umweltmeteorologie. Ausbreitung von Geruchsstoffen in der Atmosphäre (zurückgezogen).
- Richtlinie VDI 3782, Blatt 1 (1992): Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre. Gauß'sches Ausbreitungsmodell für Luftreinhaltepläne.
- Richtlinie VDI 3940 (1993): Bestimmung der Geruchsstoffimmission durch Begehungen.
- Richtlinie VDI 3945, Blatt 1 (1994): Umweltmeteorologie - Atmosphärische Ausbreitungsmodelle - Gauß-Wolken-Modell.
- Richtlinie VDI 3788, Blatt 1 (1997): Umweltmeteorologie - Ausbreitung von Geruchsstoffen in der Atmosphäre.
- Röckle, R. (1990): Bestimmung der Strömungsverhältnisse im Bereich komplexer Bebauungsstrukturen. Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt.
- Röckle, R., Richter, C.-J. (1995): Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen -. Abschlußbericht PEF 92/007/02, Forschungszentrum Karlsruhe.
- Röckle, R., Richter, C.-J., Salomon, Th., Dröscher, F., Kost, J. (1998): Ausbreitung von Emissionen in komplexer Bebauung - Vergleich zwischen numerischen Modellen und Windkanalmessungen, Forschungsbericht FZKA-PEF 295002 des PEF, Forschungszentrum Karlsruhe.
- Schädler, G., Bächlin, W., Lohmeyer, A., van Wees, T. (1996): Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. Berichte Umweltforschung Baden-Württemberg (FZKA-PEF 138). PEF, Forschungszentrum Karlsruhe.
- Schäfer, K., Emeis, S., Stockhause, M. (1998): Inverse Modellierung des Ausbreitungsgeschehens um Tierställe. Beitrag FAL-Fachgespräch, Braunschweig. KTBL Arbeitspapier Nr. 253.
- Schatzmann, M. (1979): An Integral Model of Plume Rise. Atmospheric Environment, Vol. 13, pp. 721-731.
- Schauberger, G. et al. (1997): Österreichische Richtlinie zur Beurteilung von Immissionen aus der Nutztierhaltung in Stallungen. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 57, S. 399-408.

- Schorling, M. (1990): Konzentrationsverteilung von Geruchsträgern und toxischen Stoffen. UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox. 2, S. 89-91.
- Siano, S. (1994): Numerische Simulationen zur Ausbreitung von Luftverunreinigungen in bebautem Gelände. Diplomarbeit im Fach Physik. Hrsg.: Institut für Meteorologie und Klimatologie, Universität Hannover.
- Sievers, U., Zdunkowski, W.G. (1986): A Microscale Urban Climate Model. Beitr. Phys. Atm. Vol. 59, No. 1, pp. 13-40.
- TA Luft (1986): 1. Allg. Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft). GMBL., 37. J., Nr. 7, 28.02.1986, S. 95-143.
- Turner, D.B. (1970): Workbook of atmospheric dispersion estimates. U.S. Dep. Of Health, Education and Welfare, Public Health Service Publication No. 999 - AP - 26, Cincinnati, Ohio.
- Wieringa, J. (1993): Representative roughness parameters for homogeneous terrain. Bound.-Layer Met., 63, pp. 323-363.
- Yamartino, R., Strimaitis, D., Graff, A. (1996): Advanced mesoscale dispersion modeling using kinematic simulation. In: Air Pollution Modeling and Its Application XI, Edited by Gryning and Schiermeier, Plenum Press, New York, 1996.
- Yee, E., Chan, R. (1997): A simple model for the probability density function of concentration fluctuations in atmospheric plumes. Atm. Environment 31, No. 7, pp. 991-1002.

A N H Ä N G E A1 BIS A4

A1 UMFRAGE ÜBER DIE VORGEHENSWEISE IN ANGRENZENDEN EUROPÄISCHEN LÄNDERN

Es wurde eine Recherche in den Niederlanden, der Schweiz und Österreich bezüglich der Erfassung und Bewertung von Gerüchen speziell aus der Landwirtschaft durchgeführt. Primäres Ziel war die Suche nach Ausbreitungsmodellen, die sowohl Fluktuationen als auch eine Immissionszeitbewertung (Geruchsstunde) berücksichtigen und die man für die vorliegende Aufgabenstellung hätte übernehmen können.

A1.1 Niederlande

Nach Piringer und Schauburger (1998) existiert in den Niederlanden ein Schutzabstand zwischen landwirtschaftlichen Anlagen und sensibler Nutzung, der als Funktion der Anzahl von Schweinemastplätzen berechnet wird. Die Abstandskurve in Abhängigkeit der Mastplätze ist dabei durch eine Potenzfunktion gegeben.

Darüber hinaus gibt es die Niederländische Emissionsrichtlinie, die auch die Vorgehensweise bei der Untersuchung von Gerüchen vorschreibt. Vor 1995 existierten für industrielle und gewerbliche Anlagen einheitliche Grenzwerte von 1 GE/m^3 als 98-Perzentilwert für bestehende Anlagen und als 99.5-Perzentilwert für geplante Anlagen. Aus dieser Definition ergibt sich bezüglich der Ausbreitungsrechnung die Erkenntnis, daß das zu verwendende Ausbreitungsmodell keine Fluktuationen zu berücksichtigen hat, sondern nur den Perzentilwert auf der Basis von Stundenmittelwerten.

In der neuen Vorgehensweise werden keine einheitlichen Grenzwerte definiert, sondern die zuständige Behörde kann von Fall zu Fall das akzeptable Belästigungsniveau selbst definieren. Hierbei existieren für verschiedene Industriezweige unterschiedliche Richtgrößen, z. B. 10 GE/m^3 als 98-Perzentilwert bei Kuchenbäckereien und 1.1 GE/m^3 als 98-Perzentilwert bei Schlachthöfen. Diese Einteilung basiert auf der hedonischen Wirkung der unterschiedlichen Gerüche, festgestellt bei entsprechenden Geruchsuntersuchungen.

Dies bedeutet bezüglich des Ausbreitungsmodells, daß die niederländischen Verhältnisse nicht auf die deutsche Situation übertragbar sind.

A1.2 Österreich

In Österreich wurde eine "Vorläufige Richtlinie zur Beurteilung von Immissionen aus der Nutztierhaltung in Stallungen (ÖRL)" entwickelt. Sie dient als Grundlage für die Bewertung von luftgetragenen Emissionen aus der Nutztierhaltung und der sich ergebenden Immissionen. Die Richtlinie definiert einen Schutzabstand als Funktion einer dimensionslosen "Geruchszahl", die proportional der Tierzahl ist. Die Geruchszahl wird durch tierspezifische Geruchsfaktoren, Lüftungstechnische, entmistungstechnische und fütterungstechnische Faktoren (alle Faktoren ≤ 1) modifiziert. Außerdem erfolgt eine geländeklimatische Bewertung des Stallobjekts sowie der Raumnutzung im Umfeld des Stalls. Diese Einflußfaktoren bestimmen den Schutzabstand S über die empirische Beziehung

$$S = 25 \cdot f_M \cdot f_R \cdot \sqrt{G}$$

mit dem dimensionslosen Meteorologiefaktor $f_M (\leq 1)$, dem dimensionslosen raumordnerischen Faktor $f_R (\leq 1)$ und der dimensionslosen Geruchszahl G (siehe auch Schaubberger et al., 1997).

Vergleiche mit Ausbreitungsrechnungen [Gaußfahnenmodell mit variierendem Fluktuationfaktor (2.8 bis 6.5)] bei Piringer und Schaubberger (1998) zeigen qualitativ, daß der Schutzabstand für Tierhaltungsbetriebe mit hohen Emissionen (z. B. große Tieranzahl) zu gering bestimmt wird und für niedrige Emissionen (z. B. kleine Betriebe) zu groß.

Für Tierhaltungsbetriebe wird in Österreich kein eigenes Geruchsausbreitungsmodell festgeschrieben.

A1.3 Schweiz

Ähnlich wie in Österreich wird für die landwirtschaftliche Nutztierhaltung ein Mindestabstand gemäß der "Empfehlung für Mindestabstände von Tierhaltungsanlagen" nach Richner und Schmidlin (1995) definiert.

Der Normabstand N in m berechnet sich nach der empirischen Beziehung $N = 43 \ln(GB) - 40$ aus der dimensionslosen Geruchsbelastung GB , die eine Funktion des Tierbesatzes und eines tierartspezifischen Geruchsbelastungsfaktors f_g (z. B. $f_g = 0.15$ pro Großvieheinheit für Rinder) ist.

Durch Korrekturfaktoren für Geländeform, Höhenlage, Aufstellungs- und Entmistungssystem, Sauberkeit, Fütterung und Lüftung wird der Normabstand zum Mindestabstand umgerechnet (siehe auch Keck und Schmidlin, 1998).

Ein spezifisches Ausbreitungsmodell für den landwirtschaftlichen Bereich ist nicht vorgesehen.

Nach Aussage von Herrn Dr. Hanggartner, ETH Zürich wird für Geruchsausbreitungsrechnungen in der Schweiz häufig das Modell IMMPROG eingesetzt, das ein Geruchsmodul nach der zurückgezogenen RL VDI 3782 Bl. 4 besitzt. Es handelt sich hierbei um ein Gaußfahnenmodell, das auch für Ausbreitungsrechnungen nach TA Luft eingesetzt werden kann.

A1.4 Dänemark

In Dänemark wird mit einem Gaußfahnenmodell gerechnet, die Ausbreitungsklassen werden dabei über Monin-Obuklov-Längen berücksichtigt. Die Beurteilung erfolgt auf Basis eines 99-Perzentilwertes, auf den ein Zuschlag zur Berücksichtigung der Fluktuationen erfolgt, der den Konzentrationswert [GE/m^3] während des 1-Minuten-Maximalwertes innerhalb einer Stunde berücksichtigt. Der Stand der Fluktuationsmodellierung ist in Løfstrøm et al. (1996) beschrieben, diese Modellierung wird gegenwärtig nach Aussagen von Løfstrøm überarbeitet.

A2 ZUSATZINFORMATIONEN BEZÜGLICH MODELLIERUNGSTECHNIKEN UND MODELLAUSWAHL

Im folgenden wird zur Vertiefung des Verständnisses der in Kapitel 5 vorgeschlagenen Vorgehensweise ein kurzer Überblick über die Charakteristika der einzelnen numerischen Modellierungstechniken bzw. der physikalischen Modellierung im Windkanal und zur Modellauswahl gegeben.

A2.1 Allgemeines

Die Ausbreitung von Geruchsstoffen unterliegt grundsätzlich denselben Gesetzmäßigkeiten wie diejenige anderer gasförmiger Stoffe in der Atmosphäre. Es bietet sich daher an, auch bei der Geruchsausbreitungsmodellierung auf bekannte Modelle zurückzugreifen. Das können Modelle sein, die z. T. schon seit Jahren im Einsatz sind oder Modelle die in den letzten Jahren aufgrund der gestiegenen Rechnerleistungen aus dem Forschungsbereich in den allgemeinen gutachterlichen Gebrauch überwechselten. Aufgrund der besonderen Zielsetzungen beim Einsatz als Geruchsausbreitungsmodell müssen diese Modelle jedoch mehr oder weniger modifiziert werden. Bestandteil von Geruchsausbreitungsmodellierungen ist die Simulation der Konzentration auf einer Zeitbasis von wenigen Sekunden, da diese Zeit der zeitlichen Auflösung der menschlichen Nase (1 Atemtakt) entspricht. Weitere Modifikationen betreffen die Berücksichtigung der Randbedingungen, die bei der Geruchsfreisetzung und Ausbreitung im Umfeld landwirtschaftlicher Anlagen gelten (siehe Anforderungskatalog im Kap. 2, Veranlassung).

Derzeitiger Stand der Technik ist die Modellierung einer zeitlich gemittelten Konzentration (Mittelwerte über einige Minuten bis zu einer Stunde) und die Berücksichtigung der Definition der Geruchsstunde in der GIRL und der kurzzeitigen Konzentrationsspitzen über Faktoren bzw. statistische Verteilungsfunktionen. Bei dieser Vorgehensweise werden die emissionsseitigen und topographischen Randbedingungen bei der Berechnung des Mittelwertes berücksichtigt. Die direkte Simulation einer im Sekundenbereich aufgelösten Konzentrationszeitreihe ist zum jetzigen Zeitpunkt aufgrund des großen Rechenzeitbedarfs noch nicht praktikabel.

Die "physikalische" Nachbildung der Ausbreitung von Geruchsstoffen in einem Windkanal erlaubt es, Zeitreihen der Konzentrationsfluktuationen direkt zu messen, jedoch ist der Einsatz dieses Verfahrens eher auf Episodenbetrachtungen beschränkt, da die Modellierung verschiedener Stabilitätszustände (labil bzw. stabil oder Kaltluftabflüsse), die für eine vollständige Erfassung aller Ausbreitungsbedingungen notwendig ist, noch Gegenstand der Forschung ist.

A2.2 Numerische Modellierung

Zur Berechnung der mittleren Konzentration (z. B. Stundenmittelwert) eines Geruchsstoffes oder sonstigen gasförmigen Stoffes im Umfeld einer emittierenden Anlage kommen derzeit im wesentlichen folgende Modelltypen zur Anwendung [siehe auch Emeis (1997), Schäfer et al. (1998)]:

- Gaußmodelle (speziell Gaußfahnenmodelle)
- Lagrange-Partikelmodelle
- Euler-Modelle

Jeder dieser Modelltypen hat bei den in der vorliegenden Studie vorgegebenen Randbedingungen Vor- und Nachteile. Diese werden nachfolgend aufgeführt.

Allen Modellen für die Ausbreitungsmodellierung ist zunächst Information über das Strömungsfeld zugrundezulegen, in dem die Ausbreitung stattfinden soll. Im nächsten Schritt wird die Ausbreitung eines Schadstoffes in diesem Strömungsfeld berechnet. Bei Euler- und Lagrangemodellen sind diese beiden Schritte meist strikt voneinander getrennt, so daß z. B. ein Modell das Strömungsfeld liefern und ein anderes Modell die Ausbreitungsrechnung durchführen kann.

A.2.2.1 Gaußfahnenmodelle

Die gebräuchlichen Gaußfahnenmodelle basieren auf den grundlegenden Arbeiten von Pasquill (1961) und Gifford (1961), die für die Konzentrationsverteilung innerhalb einer Abluffahne eine Gaußverteilung in horizontaler und vertikaler Richtung postulierten und die Ausbreitungsparameter (diese beschreiben die Auffächerung der Abluffahne) aus Meßgrößen ableiteten. Die in der Bundesrepublik gebräuchlichsten Gaußfahnenmodelle sind diejenigen aus Anhang C der TA Luft (1986) und aus der RL VDI 3782 Bl. 1. Darüber hinaus existieren jedoch eine Vielzahl von weiteren Ausführungen von Gaußfahnenmodellen, die sich in der Art der Parametrisierungen (z. B. der Austauschkoeffizienten) unterscheiden (Hanna et al., 1990; Turner, 1970; Barr, und Clements, 1984).

Das Gaußfahnenmodell erlaubt die Berechnung des Stundenmittelwertes einer Immission, z. B. in Abhängigkeit von der Emission und den meteorologischen Bedingungen. Siehe z. B. Formel I in Anhang C der TA Luft (1986). Die Formel ist relativ einfach. Um sie so einfach zu halten, war

bei der mathematischen Beschreibung des Ausbreitungsvorgangs allerdings die oben diskutierte vereinfachende Voraussetzung erforderlich, daß die Strömungs- und Ausbreitungsverhältnisse im gesamten Untersuchungsgebiet ortsunabhängig sind, also z. B. auch unabhängig von der Höhe über Grund, von der Topographie, der Bebauung etc.

In Wirklichkeit ist diese Unabhängigkeit z. B. der Strömungs- und damit der Diffusionsparameter von der Höhe vor allem in Bodennähe natürlich nicht gegeben. Beim ersten Erscheinen der TA Luft im Jahre 1983 (bzw. der noch älteren Raffinerie-Richtlinie) führte die aus heutiger Sicht einfache Formel auf den damals für die praktische Ausbreitungsrechnung verfügbaren Rechnern für die Berechnung der statistischen Immissionskenngrößen zu Laufzeiten von Tagen. Insofern bedeutete damals das Gaußfahnenmodell einen guten Kompromiß zwischen Wünschenswertem und Machbarem.

Weil heute wegen der gestiegenen Rechnerleistungen und der Fortentwicklung der Modellierungstechniken mehr machbar ist, entstehen bei Genehmigungsverfahren (nicht nur bei Geruchsproblemen) oft Verzögerungen dadurch, daß die vom Antragsteller unter Einsatz Gaußfahnenmodellen erstellten Immissionsprognosen von Einsprechern zurückgewiesen werden. Außerdem kann es, wie oben erläutert, bei nicht bestimmungsgemäßigem Einsatz dieser Modelle auch zu Fehlentscheidungen bei der Genehmigung von Anlagen mit relevanten wirtschaftlichen Folgen kommen. Natürlich ist es vernünftig, auch heute noch mit Gaußfahnenmodellen zu rechnen. Solche Fälle mögen sein:

- z. B. Ausbreitung aus hohen Quellen, weil in großer Höhe über Grund die Strömungs- und Turbulenzverhältnisse relativ homogen und die Ausbreitungsparameter für diese Fälle vermessen sind,
- z. B. Ausbreitung der Autoabgasemissionen eines Straßennetzes, bestehend aus Tausenden von Quellen. Wegen der Vielzahl der Quellen muß hier das Ausbreitungsmodell einfach gehalten werden,
- z. B. Ausbreitung für Fälle, die in den Anwendungsbereich der TA Luft fallen, weil dadurch die Rechtssicherheit gewährleistet wird.

Für die Anwendungsfälle des vorliegenden FuE-Vorhabens wäre die Anwendung des Gaußfahnenmodells aber nur zu vertreten, wenn es nichts besseres geben würde.

A2.2.2 Gauß-Wolken-Modelle

Das sogenannte Gauß-Wolken-Modell ist eine allgemeinere Form der Gaußfahnenmodelle und beschreibt die Ausbreitung von Spurenstoffen in der Atmosphäre unter Berücksichtigung von räumlicher und zeitlicher Variation der Strömungsverhältnisse. Durch Vorgabe eines mit einem Windfeldmodell errechneten Strömungsfeldes lassen sich somit Topographie und in eingeschränktem Maße auch Gebäude berücksichtigen. Dieses Modell ist in der RL VDI 3945 Bl. 1 beschrieben. Obwohl dieser Modelltyp viele Einschränkungen des Gaußfahnenmodells nicht aufweist, hat er in der Praxis nur geringe Verbreitung gefunden und wird hier nicht näher betrachtet.

A2.2.3 Strömungsmodellierung für ein Euler- oder Lagrangemodell

Für die Bestimmung des Strömungsfeldes, welches für die Anwendung eines Euler- oder Lagrangemodells bereitzustellen ist, muß zunächst das Untersuchungsgebiet zur Bildung von einzelnen Rechenboxen mit einem horizontalen und vertikalen Gitternetz überzogen werden. Dadurch wird das Untersuchungsgebiet in typischerweise 50 bis 100 Boxen in jeder der beiden horizontalen Richtungen und 10 bis 20 Boxen in vertikaler Richtung überzogen. Das Untersuchungsgebiet wird damit also in $50 \times 50 \times 10 = 2\,500$ bis $100 \times 100 \times 20 = 200\,000$ Boxen eingeteilt.

Mit einem Strömungsmodell werden dann in jeder der Boxen die Strömungsverhältnisse errechnet. In jeder der Boxen werden andere Strömungsverhältnisse vorliegen. So ist es z. B. im Gegensatz zum Gaußfahnenmodell möglich, die vertikale Abhängigkeit der Strömungsverhältnisse auf die Ausbreitung zu berücksichtigen.

Die o. a. Berechnung der Strömungsverhältnisse in den Boxen erfolgt in der Praxis mit unterschiedlichen Modellen. So sind z. B. im Einflußbereich von Gebäuden sowohl sogenannte prognostische mikroskalige Strömungsmodelle als auch diagnostische mikroskalige Strömungsmodelle im Einsatz. Bei den prognostischen Modellen wird die Strömung anhand der Grundgleichungen der Strömungsmechanik berechnet, bei den diagnostischen Modellen verkürzt man das Rechenverfahren dadurch, daß man „Vorwissen“ verwendet. Man definiert z. B., daß sich hinter einem Gebäude ein Wirbel ausbilden muß und berechnet dann z. B. nur noch dessen Abmessungen. Bei den prognostischen Modellen ergibt sich dagegen ohne Einflußnahme durch die Berechnung, ob sich ein Wirbel ausbildet oder nicht und welche Eigenschaften er hat.

Die prognostischen Modelle sind also von der Physik her den diagnostischen Modellen überlegen, dafür benötigen sie mehr Rechenleistung. Der früher zu Zeiten niedriger Rechenleistungen vorhandene Rechenzeit- und Speicherbedarfsvorteil der diagnostischen Modelle beginnt zunehmend zu schwinden, prognostische Strömungsmodelle scheinen sich derzeit durchzusetzen.

Die Boxstruktur des Untersuchungsgebietes erlaubt auch die räumlich differenzierte Berücksichtigung des Einflusses von Topographie (wieder berechenbar mit diagnostischen oder prognostischen Windfeldmodellen) oder von Kaltluftabflüssen (berechenbar mit Kaltluftabflußmodellen).

A2.2.4 Ausbreitungsmodellierung mit Eulermodellen

Euler-Modelle haben als Grundlage die Bilanzgleichungen für Masse, Energie und Impuls. Diese werden für jede Gitterbox numerisch gelöst. Dabei wird die zeitliche Änderung einer Schadstoffkonzentration in Abhängigkeit von der Advektion mit dem Wind, der Turbulenz- und der Quell- und Senkenverteilung an diesem Ort berechnet.

Bei diesen Modellen sind der Gitterpunktabstand, der berechnete Zeitschritt und die Windgeschwindigkeit voneinander abhängig und können nicht beliebig gewählt werden. Bei der Wahl eines fein aufgelösten Gitters muß nicht nur an vielen Punkten gerechnet werden, es muß auch der Zeitschritt verkleinert werden, so daß der Rechenaufwand stark ansteigt.

Ein mögliches Problem bei der Freisetzung stellt die Gitterauflösung dar, da in manchen Modellen der Schadstoff immer über das gesamte Gittervolumen der Box, die den Emissionsort umschließt, verteilt wird. Das kann bei entsprechend großen Gittern zu Unsicherheiten im Nahfeld des Emittenten führen. Darüber hinaus gelten die errechneten Konzentrationen bei allen Modellen als räumliches Mittel über eine Gitterbox. Es liegen also keine punktgenauen Aussagen vor, quasipunktgenau ist das Rechenergebnis nur bei geringen Gradienten und/oder entsprechend feinem Gitter.

Eine Übersicht über gebräuchliche Euler-Modelle ist in Schädler et al. (1996) gegeben. Einzelheiten zu den Modellansätzen können bei Eichhorn (1989), Gross et al. (1994), Pankus (1995), Röckle (1990), Röckle und Richter (1995), Siano (1994) oder Sievers und Zdunkowski (1986) gefunden werden.

A2.2.5 Ausbreitungsmodellierung Lagrangemodell

Bei den Lagrangemodellen (auch Partikelmodelle genannt) wird eine Anzahl von Partikeln freigesetzt und ihre Verfrachtung mit dem Windfeld verfolgt. Notwendige Voraussetzung ist die Vorgabe eines Windfeldes, das aus Messungen oder mittels eines Windfeldmodells oder mikroskaligen Modells bestimmt wird. Die Verdünnung der Fahne entlang des Transportweges wird als turbulenzbedingter Zufallsprozeß realisiert, der die Teilchen auseinander driften läßt (Janicke, 1985; Axenfeld et al., 1984; Janicke, 1997; Schorling, 1990).

Die Konzentration an einem Aufpunkt (Mittelwert über 10 Minuten bis 60 Minuten) wird durch Auszählen der Teilchen innerhalb eines vorgegebenen Kontrollvolumens erhalten. Lagrange-Modelle kommen hauptsächlich als Episodenmodelle zur Anwendung, können jedoch (mit entsprechend längeren Rechenzeiten) auch Jahresmittelwerte berechnen. Bei Eingabe der meteorologischen Daten als Zeitreihe können die Emissionen zeitgleich korreliert berücksichtigt werden. Die Lagrange-Modelle beschreiben die Ausbreitung in direkter Quellnähe besser als andere Modelle.

A2.3 Physikalische Modellierung im Windkanal

A2.3.1 Strömungsmodellierung

Bei der physikalischen Modellierung im Windkanal wird zur Strömungsmodellierung im Windkanal ein maßstabsgetreu nachgebildetes atmosphärisches Windfeld ausgebildet. In dieses Windfeld wird ein maßstabsgerechtes Modell der Gebäude und gegebenenfalls der Topographie (typischer Maßstab 1 : 50 bis 1 : 500) gesetzt, dadurch bildet sich im Bereich des Modells ein naturgetreues neutral geschichtetes Strömungsfeld aus.

Nicht oder nur eingeschränkt anwendbar ist die Strömungsmodellierung im Windkanal bei Vorliegen nichtneutraler Schichtung der Atmosphäre.

A2.3.2 Ausbreitungsmodellierung

Zur Modellierung der Ausbreitung einer Emission im Windkanal wird die Quelle im Modell maßstabsgetreu modelliert und entsprechend den Modellgesetzen betrieben. Die Konzentrationen werden an den Untersuchungspunkten direkt vermessen.

Teilweise nur eingeschränkt anwendbar ist der Windkanal z. B. bei Vorliegen auftriebsbehafteter Emissionen.

Da das vorliegende FuE-Vorhaben auf die numerische Modellierung der Ausbreitung zielt, wird im folgenden auf eine weitere Diskussion der Windkanalmodellierung verzichtet.

A2.4 Modellauswahl

A2.4.1 Allgemeines

Als Kriterium für die Auswahl der Modelle für die Ausbreitungsmodellierung wurde postuliert: Es kommen nur Modelle in Frage, welche allgemein erhältlich sind, welche dokumentiert sind, deren Validierung möglichst weit fortgeschritten und deren Weiterentwicklung gesichert ist. Im übrigen sollten die jeweiligen Entwicklungen beim VDI beachtet werden um zu vermeiden, daß die vorgeschlagene Vorgehensweise von einer evtl. sofort oder in absehbarer Zeit erscheinenden diesbezüglichen VDI-Richtlinie wertlos gemacht wird.

A2.4.2 Modellwahl

Wie zuvor begründet, wurden Gaußfahnenmodelle der speziellen Aufgabenstellung entsprechend ausgeschlossen, d.h. die Auswahl hatte aus den in Deutschland angebotenen microskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodellen zu erfolgen. Diesbezüglich gehören in Deutschland z. B. zu den bekannteren:

- ABC (Dr. Röckle)
- AIRPOL (Dr. Jung)
- DASIM (Prof. Manier)
- IBS (Prof. Schenk)
- LASAT (Dr. Janicke)
- MISKAM/WinMISKAM (Dr. Eichhorn/SFI GmbH)
- kfz.lag (Dr. Schorling)

Ein an eine solche Aufzählung anzuschließender detaillierter wissenschaftlicher Vergleich der Qualitäten der einzelnen Modelle, wie z. B. in Schädler et al. (1996), konnte im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht durchgeführt werden.

LASAT (ohne das diagnostische Strömungsmodell für den Nahbereich von Gebäuden) wurde insbesondere ausgewählt aus folgenden Gründen:

- wegen seiner Popularität, es ist z. B. in mehreren Ingenieurbüros in Sachsen verfügbar.
- es hat ein VDI-Richtlinienkonformes Strahlmodell zur Berechnung der Fortluftfahnenüberhöhung,
- es wird gegenwärtig weiterentwickelt bezüglich Integration des Strahlmodells von Schatzmann (1979), welches bei der Berechnung der Fortluftfahnenüberhöhung das durch Gebäude gestörte Strömungsfeld berücksichtigt
- es hat ein Modul zur Berechnung der Häufigkeit der Stunden eines Jahres, innerhalb derer eine bestimmte Konzentration überschritten ist.
- es hat ein Strömungsmodell zur Berechnung des Strömungsfeldes in topographisch gegliedertem Gelände
- es ist so offen konzipiert, daß es mit anderen Modellen errechnete Strömungsfelder (z. B. um Gebäude oder bei Kaltluftabflüssen) ohne größeren Aufwand integrieren kann.

Das prognostische Strömungsmodell von MISKAM im Falle detailliert zu berücksichtigender Gebäudeeinflüsse wurde insbesondere aus folgenden Gründen gewählt:

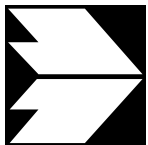
- Es hat sich gezeigt, daß das diagnostische Strömungsmodell in LASAT bei manchen Gebäudekonfigurationen Schwächen hat
- MISKAM hat beim Modellvergleich von Schädler et al. (1996) gut abgeschnitten.
- Die Schnittstelle zur Übernahme von mit WinMISKAM (= MISKAM mit Windows-Benutzeroberfläche) berechneten Strömungsfeldern in LASAT ist vorhanden

Wie im Haupttext erwähnt, ist die Validierung beider Modelle noch nicht im wünschenswerten Zustand.

A3 TABELLARISCHE AUSWERTUNG DER FLUKTUATIONSMESSUNGEN

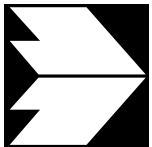
Die folgenden Tabellen **A3.1 bis A3.5** geben die Kennnummern der Autoren aus **Abb. 5.7** sowie nähere Angaben zu den Bedingungen, unter denen die Fluktuationen untersucht wurden.

Nr. in Abb. 5.7	c_{90}/\bar{c}	Windgeschwindigkeit u [m/s]	Meßpunktbezeichnung oder Lage des Meßpunkts bzgl. Gelände	Entfernung zur Quelle x [m]	Lage des Meßpunkts in der Fahne	Meßhöhe z [m]	Quellhöhe h [m]
1	2.8	1.5	Balkon	-	-	-	-
	3.4	1.5	Fenster	-	-	-	-
	3.2	1.5	Fenster	-	-	-	-
	2.9	3	Balkon	-	-	-	-
	3.5	3	Fenster	-	-	-	-
	3	4	Balkon	-	-	-	-
	3.2	6	Balkon	-	-	-	-
	3.4	6	Balkon	-	-	-	-
3.2	6	Fenster	-	-	-	-	
2	2.4	6	-	207	67	10	-
	1.6	6	-	207	13	7	-
	2.3	6	-	207	67	10	-
	2.5	6	-	207	67	17	-
	2.2	6	-	207	80	10	-
	1.5	6	-	207	27	7	-
	1.6	6	-	207	27	10	-
	2.1	6	-	207	0	10	-
2.7	6	-	207	13	10	-	
3	3.1	1.5	Meßpunkt B	-	-	-	-
	3.7	1.5	MeßpunktB	-	-	-	-
	3.3	1.5	Meßpunkt B	-	-	-	-
	3.3	1.5	Meßpunkt B	-	-	-	-
	3.4	3	MeßpunktB	-	-	-	-
	3.1	3	Meßpunkt B	-	-	-	-
	3.1	3	Meßpunkt B	-	-	-	-
	3.2	3	MeßpunktB	-	-	-	-
	3.3	6	Meßpunkt B	-	-	-	-
	3.4	6	Meßpunkt B	-	-	-	-
	3.2	6	MeßpunktB	-	-	-	-
	3.4	6	Meßpunkt B	-	-	-	-
	3.1	6	Meßpunkt A	-	-	-	-
	3	6	Meßpunkt A	-	-	-	-
3.1	6	Meßpunkt A	-	-	-	-	
3.2	6	Meßpunkt A	-	-	-	-	



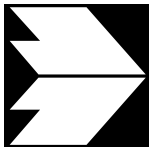
Tab. A3.1: Werte für c_{90}/\bar{c} aus eigenen Windkanalmessungen (siehe 2. Spalte). Für Autoren Nummern 1 bis 3 in Abb. 5.7 siehe Spalte 1.

Nr. in Abb. 5.7	c_{90}/\bar{c}	Windgeschwindigkeit u [m/s]	Meßpunktbezeichnung oder Lage des Meßpunkts bzgl. Gelände	Entfernung zur Quelle x [m]	Lage des Meßpunkts in der Fahne	Meßhöhe z [m]	Quellhöhe h [m]
4	3.8	1.5	Meßpunkt M2	-	-	-	-
	1.8	1.5	Meßpunkt M2, Kamin + 2 m	-	-	-	-
	2.6	1.5	Meßpunkt M1	-	-	-	-
	2.1	1.5	Meßpunkt M1, Kamin + 1 m	-	-	-	-
	1.1	1.5	Meßpunkt M1, Kamin + 2 m	-	-	-	-
	3	3	Meßpunkt M2	-	-	-	-
	2.5	3	Meßpunkt M2, Kamin + 1 m	-	-	-	-
	2	3	Meßpunkt M2, Kamin + 2 m	-	-	-	-
	2.6	3	Meßpunkt M1	-	-	-	-
	2.3	3	Meßpunkt M1, Kamin + 1 m	-	-	-	-
	1.3	3	Meßpunkt M1, Kamin + 2 m	-	-	-	-
	3.3	6	Meßpunkt M2	-	-	-	-
	2.6	6	Meßpunkt M2, Kamin + 1 m	-	-	-	-
	2	6	Meßpunkt M2, Kamin + 2 m	-	-	-	-
	2.2	6	Meßpunkt M1	-	-	-	-
2.1	6	Meßpunkt M1, Kamin + 1 m	-	-	-	-	
1.5	6	Meßpunkt M1, Kamin + 2 m	-	-	-	-	
5	1.8	1.5	Meßpunkt A	-	-	-	-
	1.8	1.5	Meßpunkt A, Kamin + 1.1 m	-	-	-	-
	1.8	1.5	Meßpunkt A, Kamin + 1.6 m	-	-	-	-
	3.1	1.5	Meßpunkt B	-	-	-	-
	2.8	1.5	Meßpunkt B, Kamin + 1.1 m	-	-	-	-
	1.8	3	Meßpunkt A	-	-	-	-
	1.8	3	Meßpunkt A, Kamin + 1.1 m	-	-	-	-
	1.7	3	Meßpunkt A, Kamin + 1.6 m	-	-	-	-
	3.2	3	Meßpunkt B	-	-	-	-
	2.5	3	Meßpunkt B, Kamin + 1.1 m	-	-	-	-
	1.2	6	Meßpunkt B	-	-	-	-
	1.6	6	Meßpunkt B, Kamin + 1.1 m	-	-	-	-
	1.7	6	Meßpunkt A	-	-	-	-
	2.9	6	Meßpunkt A, Kamin + 1.1 m	-	-	-	-
	2.4	6	Meßpunkt A, Kamin + 1.6 m	-	-	-	-



Tab. A3.2: Werte für c_{90}/\bar{c} aus eigenen Windkanalmessungen (siehe 2. Spalte). Für Autoren Nummern 4 bis 5 in Abb. 5.7 siehe Spalte 1.

Nr. in Abb. 5.7	C_{g0} / \bar{C}	Windgeschwindigkeit u [m/s]	Meßpunktbezeichnung oder Lage des Meßpunkts bzgl. Gelände	Entfernung zur Quelle x [m]	Lage des Meßpunkts in der Fahne	Meßhöhe z [m]	Quellhöhe h [m]
6	2	25	LuvBoden	-	-	-	-
	19	25	LuvBoden	-	-	-	-
	2	25	LuvBoden	-	-	-	-
	26	25	LuvBoden	-	-	-	-
	17	25	Luvoben	-	-	-	-
	19	25	Luvoben	-	-	-	-
	18	26	Luvoben	-	-	-	-
	2	25	Luvoben	-	-	-	-
	13	25	Lee	-	-	-	-
	13	25	Lee	-	-	-	-
	13	25	Lee	-	-	-	-
	14	25	Lee	-	-	-	-
	7	Fackrell (1978)					
1.6		-	-	3000	Zentrum	12	150
2.1		-	-	3000	Zentrum	100	150
2.5		-	-	3000	Zentrum	185	150
2.6		-	-	3000	Zentrum	260	150
3.7		-	-	3000	Zentrum	350	150



Tab. A3.3: Werte für c_{g0} / \bar{c} aus eigenen Windkanalmessungen und Messungen von Fackrell. Für Autoren Nummern 6 bis 7 in Abb. 5.7 siehe Spalte 1.

Nr. in Abb. 5.7	c_{90}/\bar{c}	Lage des Meßpunkts in der Fahne	Stabilität	Entfernung des Meßpunkts zur Quelle x [m]	Rauhigkeit z_0 [m]	Meßhöhe z [m]	Quellhöhe h [m]	Windgeschwindigkeit u [m/s]	Intermittenz I
8	Mole, Jones (1994)								
	3.7	Zentrum	stabil	5	-	4	35	45	0.3-0.8
	3.6	Zentrum	stabil	5	-	3	35	45	0.3-0.8
	3.9	Zentrum	stabil	5	-	4	35	45	0.3-0.8
	3.2	-1 m	stabil	5	-	3	35	45	0.3-0.8
9	Hanna (1984)								
	3.1		labil(B)	100	glatt	?	2	27	0.51
10	Dinar et al. (1988)								
	2.2	Zentrum	neutral	10	-	1	1	5	-
	2.5-2.7	±0.75 m	neutral	10	-	1	1	5	-
	3.5	1.5 m	neutral	10	-	1	1	5	-
	1.4-3	±2.25 m	neutral	10	-	1	1	5	-
	2.5-2.9	Zentrum	neutral	16-40	-	1	1	5	-
11	Yee, Chan (1997)								
	3	Zentrum	-	12.5	-	0.5	-	-	
	2.9	Zentrum	-	12.5	-	2	-	-	
	3.5	Zentrum	-	50	-	6	-	-	
	3.3	$y/\sigma_y = 0.5$	-	185	-	3	-	-	
	1.9	$y/\sigma_y = 2.1$	-	185	-	3	-	-	
	2.2	$y/\sigma_y = 2.3$	-	230	-	3	-	-	
12	Krause, Mejer (1985)								
	2.88	-	-	30	-	15	3	2.6	
13	Mylne et al. (1996)								
	3	-	neutral	135	$5 \cdot 10^{-3}$	-	-	6-10	
14	Mylne (1993)								
	2.8	Zentrum	neutral	100	$5 \cdot 10^{-3}$	0	1	9-11	
	3	Zentrum	neutral	100	$5 \cdot 10^{-3}$	-	1	9-11	
	3.3	Zentrum	neutral	100	$5 \cdot 10^{-3}$	6	1	9-11	
15	Mylne, Mason (1991)								
	1.7	Zentrum	neutral	740	0.008	2	2	-	
	2.8	Zentrum	neutral	75	rauh	2	2	-	
16	Mylne (1992)								
	3.7	Zentrum	stabil	100	glatt	2	2	1.3-1.8	



Tab. A3.4: Werte für c_{90}/\bar{c} aus den Ergebnissen veröffentlichter Naturmessungen (siehe 2. Spalte).. Für Autoren Nummern 8 bis 16 in Abb. 5.7 siehe Spalte 1.

Nr. in Abb. 5.7	$C_{90} \bar{c}$	Windgeschwindigkeit u [m/s]	Meßpunktbezeichnung	Entfernung zur Quelle x [m]	Lage des Meßpunkts in der Fahne	Lage des Meßpunkts in der Fahne	Meßhöhe z [m]	Quellhöhe h [m]
17	23	35	ohne Gebäude	630	-	-	bodennah	50
	214	35	ohne Gebäude	720	-	-	bodennah	50
	20	35	ohne Gebäude	810	-	-	bodennah	50
	20	35	ohne Gebäude	900	-	-	bodennah	50
	19	35	ohne Gebäude	990	-	-	bodennah	50
	23	40	ohne Gebäude	630	-	-	bodennah	50
	205	40	ohne Gebäude	720	-	-	bodennah	50
	197	40	ohne Gebäude	810	-	-	bodennah	50
	186	40	ohne Gebäude	900	-	-	bodennah	50
	181	40	ohne Gebäude	990	-	-	bodennah	50
	337	35	ohne Gebäude	630	-	-	50	50
	29	35	ohne Gebäude	720	-	-	50	50
	276	35	ohne Gebäude	810	-	-	50	50
	259	35	ohne Gebäude	900	-	-	50	50
	247	35	ohne Gebäude	990	-	-	50	50
	283	50	ohne Gebäude	630	-	-	50	50
	246	50	ohne Gebäude	720	-	-	50	50
	232	50	ohne Gebäude	810	-	-	50	50
	216	50	ohne Gebäude	900	-	-	50	50
	20	50	ohne Gebäude	990	-	-	50	50
18	149	35	kubusförmiges Gebäude	714	-	-	bodennah	50
	147	35	kubusförmiges Gebäude	804	-	-	bodennah	50
	147	35	kubusförmiges Gebäude	894	-	-	bodennah	50
	146	35	kubusförmiges Gebäude	984	-	-	bodennah	50
	15	50	kubusförmiges Gebäude	714	-	-	bodennah	50
	145	50	kubusförmiges Gebäude	804	-	-	bodennah	50
	145	50	kubusförmiges Gebäude	894	-	-	bodennah	50
	145	50	kubusförmiges Gebäude	984	-	-	bodennah	50
	225	35	kubusförmiges Gebäude	714	-	-	50	50
	216	35	kubusförmiges Gebäude	804	-	-	50	50
	207	35	kubusförmiges Gebäude	894	-	-	50	50
	20	35	kubusförmiges Gebäude	984	-	-	50	50
	205	50	kubusförmiges Gebäude	714	-	-	50	50
	199	50	kubusförmiges Gebäude	804	-	-	50	50
	202	50	kubusförmiges Gebäude	894	-	-	50	50
	194	50	kubusförmiges Gebäude	984	-	-	50	50



Tab. A3.5: Werte für $c_{90} \bar{c}$ aus Windkanalmessungen des Meteorologischen Instituts der Universität Hamburg (Janicke, 1998). Für Autoren Nummern 17 bis 18 in Abb. 5.7 siehe Spalte 1.

A4 BAGEG, EMIK

Programm BAGEG (Begehungskalibrierte Ausbreitungssimulation für Geruchsstoffe)

Verwendete Unterlagen:

- (1) Handbuch BAGEG Version 1.1, Ingenieurbüro Dipl.-Phys. T. Lung, Berlin, April 1998
- (2) Krause, K.-H., Lung, T. (1993): Immissionsprognostik von Geruchsstoffeinträgen im Rahmen von Genehmigungsverfahren. Staub-Reinhaltung der Luft 53

Beim Modell BAGEG handelt es sich im Kern um ein Gaußmodell nach TA Luft, (nicht RL VDI 3782-1) das um ein Fluktuationsmodell zur Erfassung der kurzzeitigen Geruchsfluktuationen erweitert wurde. Die Häufigkeit der Überschreitung der Geruchsschwelle wird durch Integration einer zweiparametrischen logarithmischen Normalverteilung errechnet. In diese Funktion geht neben dem Konzentrationsmittelwert aus dem Gaußmodell noch der freie Parameter b (Standardabweichung der logarithmierten Werte) ein. Dieser Parameter soll durch Begehungen kalibriert werden.

Das Modell BAGEG errechnet die Überschreitungshäufigkeit eines vorgegebenen Schwellenwertes als tatsächlichen Istzeitanteil und optional mit Immissionszeitbewertung (Geruchsstunde).

In den Eingabemasken zum Modell besteht die Möglichkeit den Quelltyp anzugeben (Überfirst, Giebelwand, Offenstall, Seitenwand und Güllebehälter). Die Eingabe von Gebäudeabmessungen wird für eine Korrektur der Ausbreitungsparameter und für die Grafikausgabe verwendet, nicht zur Modellierung der Gebäudeumströmung. Die Überhöhung der Abluffahne wird entsprechend RL VDI 3471 bzw. RL VDI 3472 berechnet.

Im Handbuch wird ausgeführt, daß eine Kalibrierung des Modells auch dann erfolgen kann, wenn der Geruchsstoffmassenstrom nicht bekannt ist, und daß mit einer solchen Kalibrierung der Einfluß von Freisetzungsbedingungen, Gebäuden und Topographie berücksichtigt wird.

Die Berechnung der Geruchswahrnehmungshäufigkeit in % der Jahresstunden als tatsächlicher Istzeitanteil ist nicht geruchsimmissionsrichtlinienkonform. Für den Anwender von BAGEG werden im Handbuch neue Immissionswerte definiert, die sich an RL VDI 3471 und RL VDI 3472 orientieren. Die dort angeführten Werte reproduzieren bei einer zirkulären Windhäufigkeitsverteilung die Abstände nach RL VDI 3471 und RL 3472. In der Praxis bedeutet die An-

wendung dieser Werte, daß Unterschiede in der Bewertung nach RL VDI 3471 bzw. RL VDI 3472 (Abstandsregelung) und BAGEG nur durch die Windstatistik entstehen.

Einschätzung:

Im Grunde handelt es sich bei BAGEG in der derzeitigen Version um denselben Modelltyp -wie die Modelle nach RL VDI 3782 Bl. 4 (zurückgezogen). Der Vorteil von BAGEG gegenüber diesen Modellen ist die Freiheit, die Modellparameter für das Fluktuationsmodell durch Begehungen selbst anzugeben. Diese Parameter sind in anderen Modellen (z. B. ODIF) fest verdrahtet. Die Angabe, daß sowohl Quellstärke als auch Einflüsse der Freisetzungsbedingungen, Gebäudeeinflüsse und auch der Modellparameter b aus einer oder einzelnen Begehungen zu bestimmen sind, ist anhand der vorliegenden Unterlagen nicht überprüfbar. Grundsätzlich scheint dies nur möglich mit einer genügenden Anzahl von Begehungen. Angaben zur Validierung anhand von Meßwerten fehlen.

Für BAGEG gelten dieselben Einschränkungen wie für andere Gaußmodelle nach TAluft auch. Die Kalibrierung des Modells durch einzelne Begehungen im Nahfeld von Ställen reicht nach Ansicht der Autoren der vorliegenden Studie nicht aus. Vergleiche zwischen Messungen (z. B. Halbstunden- oder Stundenmittelwerten) und Berechnungen mit Gaußmodellen zeigen bei den Einzelwerten immer deutliche Abweichungen, auch dann wenn die Jahresmittelwerte gut übereinstimmen (siehe hierzu Lohmeyer et al., 1998). Die Ausbreitungsparameter des Gaußmodells stellen für jede Ausbreitungs-klasse Mittelwerte dar, die im Einzelfall deutlich abweichen können.

Eine Beseitigung der grundsätzlichen Einschränkungen des Gaußmodells kann durch die bekannt gewordene Art der Durchführung der Begehungskalibrierung nicht erbracht werden, da die Ergebnisse eines Gaußmodells nur im statistischen Mittel über viele Einzelfälle Gültigkeit haben.

Modell EMIAK („Empirisches Modell zur Erfassung der Immissionen nach Abshoff und Krause“)

EMIAK ist nach Angaben der Entwickler ein „empirisches Ausbreitungsmodell“, das für die Bestimmung von Immissionshäufigkeiten in der Umgebung von Tierhaltungsbetrieben entwickelt wurde.

Eingangsgrößen sind:

- 1) Emissionsflächen (Größe und Ausrichtung) und
- 2) Windrichtungshäufigkeiten.

Als Ausgabe liefert das Modell Immissionshäufigkeiten.

Zu 1)

Die Emissionsflächengröße ist abhängig von folgenden Größen

- Stallbesatz m [GV = Großvieheinheiten]
- Stallqualität q [-] = Verhältnis von tierspezifisch erforderlicher Fläche zu tatsächlich bereitstehender Fläche (kann maximal = 1 werden)
- Geruchsäquivalenzfaktor f [-] (0.17 bis 1.36; 1 bei Schweinemast)
- Emissionshäufigkeit e [-] = 1 bei kontinuierlicher Schweinemast
- tierspezifische Emissionsfläche a (z. B. 5.83 m²/GV für Schweinemast)

$$\text{Emissionsfläche } A_e = a \cdot m \cdot q \cdot f \cdot e \text{ [m}^2\text{]}$$

Setzt man q , e und f gleich 1 (Schweinemastbetrieb), so ergibt sich die Emissionsfläche aus Stallbesatz m und tierspezifischer Emissionsfläche a , (d. h. je mehr Tiere, desto größer die Emissionsfläche).

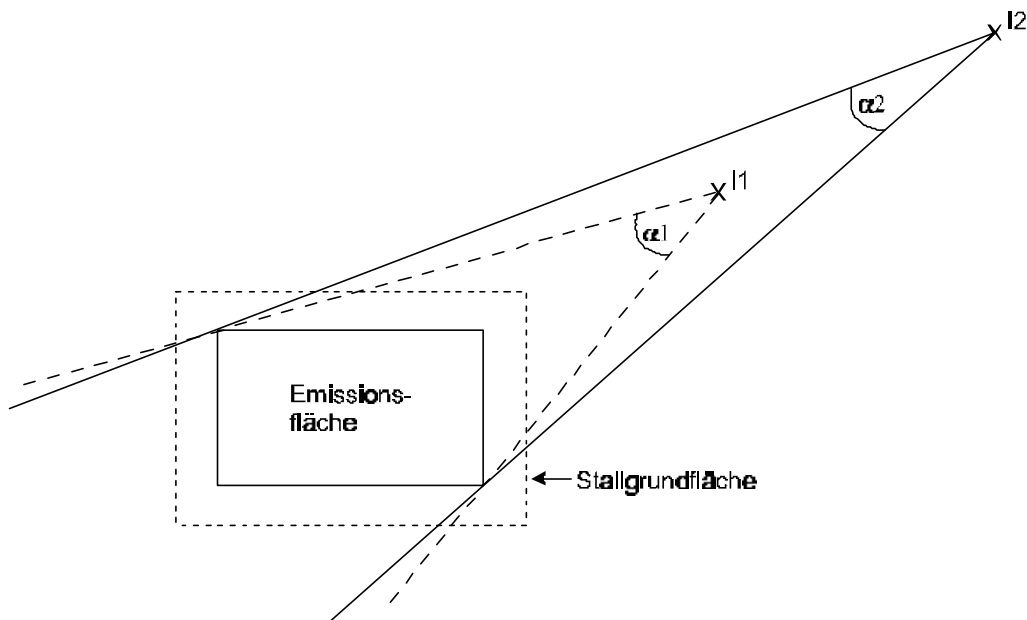
Die Emissionsflächengröße ist im allgemeinen kleiner als die tatsächliche Stallgrundfläche und weist denselben geometrischen Schwerpunkt und dasselbe Länge-zu-Breite-Verhältnis wie die Stallgrundfläche auf. Siehe weiter unten folgende Skizze.

Zu 2)

Als Eingangsgröße für die Meteorologie dient die Windrichtungshäufigkeit (in den uns vorliegenden Arbeiten bezogen auf 30^o-Sektoren). Windgeschwindigkeit und Ausbreitungsklassen werden nicht benötigt.

Berechnung der Immissionshäufigkeit

Die Berechnung der Immissionshäufigkeit erfolgt entsprechend folgender Skizze:



Die Immission ist identisch der Häufigkeit, mit welcher der Wind von der Flächenquelle zum Immissionsort weht. Am Punkt I_1 kommt es immer zu Immissionen, wenn der Wind aus dem Sektor α_1 kommt, am Punkt I_2 entsprechend, wenn er aus dem Sektor α_2 kommt. Da $\alpha_1 > \alpha_2$ ist die Immissionshäufigkeit am Punkt I_2 kleiner als am Punkt I_1 . Eine Verdünnung wird nicht berechnet, d.h. man nimmt an, daß die Geruchsschwelle in allen Entfernungen überschritten ist und somit Geruch auftritt. Eine Abnahme der Immissionshäufigkeit mit zunehmender Entfernung erfolgt allein durch die Abnahme des Winkels α ($\alpha_1 > \alpha_2$). Ist der Winkel α kleiner als der Windrichtungssektor (z. B. 30°), so wird die Häufigkeit der Windrichtung mit dem Faktor multipliziert.

Einschätzung

- Es macht keinen Sinn, immer dann Geruchswahrnehmungen anzusetzen, wenn der Wind von der Quelle Richtung Untersuchungspunkt weht. Dies muß z. B. auch noch von der Windgeschwindigkeit abhängen.
- Eine Validierung der Ergebnisse ist nicht gegeben.
- Die Abhängigkeit der Geruchswahrnehmungen von der tatsächlichen Fortluftabgabe (Punktquelle oder Volumenquelle, Quellhöhe) wird nicht berücksichtigt.

- Es werden die Beiträge zu den Geruchsstoffkonzentrationen durch Windrichtungen außerhalb des betrachteten Sektors vernachlässigt.
- Bei rechteckigen Flächenquellen werden in Längsrichtung der Fläche in allen Entfernungen niedrigere Immissionshäufigkeiten als in Querrichtung berechnet, wenn die Windrichtungshäufigkeit gleich verteilt ist.
- Eine Verteilung der Emission auf eine größere Fläche führt unabhängig von der Entfernung immer zu einer Vergrößerung der Geruchswahrnehmungshäufigkeiten an den Punkten l_1 und l_2 .

Das Modell EMIAK ist kein Ausbreitungsmodell, es wird daher in der vorliegenden Studie nicht näher betrachtet.