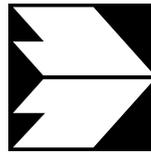


**Ingenieurbüro  
Dr.-Ing. Achim Lohmeyer**  
Karlsruhe und Dresden  
Strömungsmechanik  
Immissionsschutz  
Windkanaluntersuchungen

**MODELLIERUNG DER GERUCHS- UND  
AMMONIAKAUSBREITUNG AUS  
TIERHALTUNGSANLAGEN IM  
NAHBEREICH**

Auftraggeber: Sächsisches Landesamt  
für Umwelt und Geologie  
Zur Wetterwarte 11  
01109 Dresden

November 1999  
Projekt 2191



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

Mohrenstraße 14  
0  
01445 Radebeul

Telefon: 0351 / 83 914 -

Telefax: 0351 / 83 914 -59  
email: LOHMEYER\_DD@t-online.de  
USt-IdNr.: DE 143545044

## **MODELLIERUNG DER GERUCHS- UND AMMONIAKAUSBREITUNG AUS TIERHALTUNGSANLAGEN IM NAHBEREICH**

Auftraggeber: Sächsisches Landesamt  
für Umwelt und Geologie  
Zur Wetterwarte 11  
01109 Dresden

Dipl.-Met. A. Moldenhauer  
Dr. rer. nat. G. Schädler

Dipl.-Met. A. Rühling  
Dr.-Ing. A. Lohmeyer

November 1999  
Projekt 2191

## **INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2 PROBLEMSTELLUNG UND ARBEITSUMFANG .....</b>	<b>6</b>
<b>3 VALIDIERUNG .....</b>	<b>8</b>
3.1 Rasterbegehungen Nörvenich - Sensitivitätsbetrachtungen.....	8
3.1.1 Anlaß.....	8
3.1.2 Variierte Einflußfaktoren.....	8
3.1.3 Ergebnisse .....	13
3.2 Validierung mit den Gommla-Begehungsdaten.....	18
3.2.1 Allgemeines.....	18
3.2.2 Beschreibung der Anlage.....	18
3.2.3 Eingangsdaten .....	18
3.2.4 Ausbreitungsrechnungen.....	22
<b>4 VERTIEFENDE LITERATURRECHERCHE ZUR PROBLEMATIK DER     FLUKTUATIONSAKTOREN BEI VERSCHIEDENEN QUELLTYPEN .....</b>	<b>32</b>
<b>5 BERECHNUNG DEFINIERTER EINZELFÄLLE ENTSPRECHEND GIRL.....</b>	<b>36</b>
5.1 Allgemeines.....	36
5.2 Emissionen.....	42
5.3 Vorgehensweise.....	44
5.4 Ergebnisse .....	47
<b>6 LITERATUR .....</b>	<b>60</b>
<b>ANHANG A1: BEGEHUNGSDATEN GOMMLA .....</b>	<b>62</b>
<b>ANHANG A2: BESCHREIBUNG LASAT .....</b>	<b>67</b>
<b>ANHANG A3: BESCHREIBUNG MISKAM.....</b>	<b>72</b>
<b>ANHANG A4: BESCHREIBUNG DES BEILIEGENDEN DATENMATERIALS .....</b>	<b>79</b>

Hinweise:

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

Literaturstellen sind im Text durch Name und Jahreszahl zitiert. Im Kapitel Literatur findet sich dann die genaue Angabe der Literaturstelle.

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

## 1 ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Bericht stellt eine Fortsetzung der im Dezember 1998 im Rahmen des FuE-Vorhabens „Modellierung des Ausbreitungsverhaltens von luftfremden Schadstoffen/Gerüchen bei niedrigen Quellen im Nahbereich“ (Lohmeyer et al., 1998) durchgeführten Untersuchungen dar. Die Weiterführung beinhaltet u. a.

- a) Arbeiten zur Validierung des im o. g. Projekt vorgeschlagenen Modellsystems MIS-KAM/LASAT bzw. LASAT mit Hilfe der Rasterbegehungsdaten von Nörvenich sowie den Fahnenbegehungen von Gommla
- b) Literaturrecherchen zum Themenkomplex Fluktuationsfaktor im Hinblick auf Unterschiede zwischen Punkt- und Flächenquellen
- c) die Anwendung des im o. g. Projekt vorgeschlagenen Modellsystems für definierte Einzelfälle.

zu a (Validierungen):

Nörvenich-Daten: In der Sensitivitätsbetrachtung anhand der Nörvenich-Rasterbegehungsdaten wurden, ausgehend von einem Standardfall, die folgenden Einflußgrößen variiert: die Maschenweite, die Rauigkeitslänge, die Quellgeometrie, die Freisetzungsbedingungen, die Klasseneinteilung der meteorologischen Statistik sowie das von LASAT zu verwendende meteorologische Grenzschichtmodell. Während Änderungen der Quellgeometrie, der Freisetzungsbedingungen und der Klasseneinteilung der meteorologischen Statistik nur geringe Auswirkungen zeigten, hatten die Rauigkeitslänge, das meteorologische Grenzschichtmodell und die verwendete Maschenweite des Auszählgitters einen größeren Einfluß auf die Überschreitungshäufigkeiten.

Ziel der hier durchgeführten Untersuchungen war, durch Änderung einiger Modellparameter (in physikalisch sinnvollen Bereichen) eine bessere Übereinstimmung zwischen Rechnung und Begehung zu erhalten als im Standardrechenfall entsprechend Lohmeyer et al. (1998). Es wurde gezeigt, daß die Variation der o. g. Parameter das Ergebnis der Ausbreitungsrechnung beeinflussen kann. Eine entscheidende Verbesserung der Anpassung der Rechenergebnisse an die Begehung konnte dadurch jedoch nicht erreicht werden.

Bei der Begehung werden punktbezogene Daten der Geruchshäufigkeit an den Eckpunkten einer Fläche auf die Beurteilungsfläche übertragen. Bei LASAT wird ein Flächenmittelwert der Geruchsstoffkonzentration berechnet und unter Zuhilfenahme des Fluktuationsfaktors 4

wird ermittelt, ob die betrachtete Stunde für die Berechnungsfläche als Geruchsstunde zählt. Die Flächenmittlung durch LASAT ist zulässig, wenn die Geruchsstoffgradienten innerhalb einer Berechnungsfläche klein sind. Dann kann die Berechnungsfläche von LASAT auch die Größe der Beurteilungsfläche haben. Bei großen Gradienten innerhalb einer Beurteilungsfläche müssen jedoch die Berechnungsflächen für LASAT deutlich kleiner als die Abmessung der Beurteilungsfläche gewählt werden und zwar so, daß der Geruchsstoffgradient innerhalb einer Berechnungsfläche klein wird. Andernfalls entstehen unzulässige Flächenermittlungen der Konzentrationen. Dies ist bei der Nachrechnung der Nörvenich-Daten auch entsprechend berücksichtigt worden.

Nach der Berechnung von Überschreitungshäufigkeiten für die „kleinen“ Berechnungsflächen mit LASAT muß dann analog zum TA Luft Faktor 10-Modell ein Mittelwert der Überschreitungshäufigkeit aller in einer Beurteilungsfläche liegenden Berechnungsflächen für die zu bewertende Beurteilungsfläche gebildet werden. Laut Auslegungshinweisen zur GIRL (LAI, 1999) ist in begründeten Einzelfällen aber auch eine Punktbetrachtung möglich, wobei die in der GIRL festgelegten Immissionswerte unverändert übernommen werden sollen, da deren Ableitung von der Flächengröße unabhängig ist. In solch einem Fall werden aus den Ergebnissen von LASAT-Rechnungen mit feinem Gitter keine Beurteilungsflächen mehr gebildet.

Die Größe der Berechnungs- bzw. gegebenenfalls der Beurteilungsflächen sollte in enger Abstimmung zwischen Gutachter und der Genehmigungsbehörde erfolgen (LAI, 1999).

Gommla-Daten: Beim Vergleich Begehung/Rechnung wurde mit LASAT (ohne Berücksichtigung von Gebäuden) eine Trefferquote von 83 %, mit dem Programmsystem MIS-KAM/LASAT (mit Gebäudeberücksichtigung) eine Trefferquote von 87 % erreicht. Somit ist für diese Daten eine gute Übereinstimmung zwischen Berechnung und Begehung gegeben. Es wurde aber auch festgestellt, daß die Gommla-Begehungsdaten nur bedingt für eine „echte“ Modellvalidierung entsprechend GIRL geeignet sind.

zu b (Fluktuationsfaktor):

Die im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit durchgeführte Recherche nach Informationen zum Faktor  $c_{90} / c$  bei Flächenquellen erbrachte kein verwertbares Ergebnis, d. h. es wurde keine Untersuchung an Flächenquellen gefunden, aus der ein Wert für diesen Faktor abgeleitet werden konnte.

Aufgrund der im Forschungsbericht Lohmeyer et al. (1998) und der hier dargestellten Validierungsergebnisse sowie den nicht quantifizierbaren Ergebnissen der Literaturrecherche halten wir es nicht für sinnvoll, für Flächenquellen einen anderen Fluktuationsfaktor festzusetzen. In der gutachterlichen Praxis liegt man mit dem vorgeschlagenen Faktor 4 bei Flächenquellen auf der sicheren Seite.

zu c (Anwendung für Einzelfälle):

Die bei Lohmeyer et al. (1998) vorgeschlagene Vorgehensweise bei der Ermittlung der Geruchs- bzw. Schadstoffbelastung in der näheren Umgebung von bodennahen Quellen sollten im Rahmen der vorliegenden Arbeit für verschiedene „konstruierte“ Fälle angewendet werden.

Es wurden insgesamt 7 verschiedene Fälle betrachtet, die sich bezüglich Quellkonfiguration, Quellbedingung und Quellumgebung voneinander unterscheiden. In 6 dieser Fälle wurde Geruch entsprechend GIRL betrachtet (Berechnung von Geruchsüberschreitungshäufigkeiten), in einem Fall wurden jahresmittlere Ammoniakkonzentrationen im Baumkronenbereich berechnet. Die Berechnungen erfolgten jeweils mit Hilfe der Kombination der Modelle MISKAM und LASAT unter expliziter Berücksichtigung der Gebäude.

Die notwendigen Eingangsdaten wie meteorologische Informationen und Emissionen wurden vom Auftraggeber vorgegeben.

Aus den betrachteten Einzelfällen, deren Ergebnisse ausführlich im Kapitel 5 beschrieben werden, lassen sich folgende Aussagen ableiten:

- 1) Der Abstand der Isolinie für die 10 %ige Geruchsüberschreitungshäufigkeit von der Geruchs-Emissionsquelle ist bei festgehaltener Emission stark von der bei der Ausbreitungsberechnung verwendeten Windstatistik abhängig.
- 2) Gebäude, die sich im Nahbereich von bodennahen Quellen befinden, sorgen durch die Veränderung der Windgeschwindigkeit, der Turbulenz und durch die Umströmung der einzelnen Gebäude für veränderte Ausbreitungsbedingungen. Allgemein läßt sich sagen, daß innerhalb der Gebäudestruktur sowohl Erhöhungen als auch Erniedrigungen der Wahrnehmungshäufigkeit gegenüber dem Fall ohne Gebäude auftreten. Eine einheitliche Tendenz läßt sich nicht erkennen.

- 3) An Gebäuden, die sich im Nahbereich von bodennahen Quellen befinden und diesen direkt zugewandt sind, wurden an der quellzugewandten Gebäudefront höhere Geruchsbelastungen berechnet als im Fall ohne dieses Gebäude.
- 4) Gebäude in Lee von Emissionsquellen in deren Nahbereich bewirken für die o. g. betrachteten Fälle eine bessere Verdünnung der Schadstoffe im Nachlauf dieser Gebäude. Ob sich dieser Verdünnungseffekt auch auf die Geruchsüberschreitungshäufigkeiten auswirkt, ist von der Emission der Anlage, den Quellbedingungen sowie dem Abstand des Aufpunktes von der Quelle abhängig [Allgemeiner Hinweis: Es kann auch Situationen geben, in denen ein Gebäude im Nachlauf der Quelle eine Verschlechterung der Luftschadstoffsituation bewirkt (z. B. bei abgehobenen Quellen, wenn die Schadstoffe aufgrund erhöhter Turbulenz stärker nach unten gemischt werden.) Oben genannte 2. Aussage läßt sich demnach nicht für alle denkbaren Situationen verallgemeinern].
- 5) Die Geruchsquelle „Güllelager“ stellt eine windinduzierte Geruchsquelle dar. Dies bedeutet, daß die von der Quelle abgegebenen Geruchsstoffemissionen in Abhängigkeit von der atmosphärischen Windgeschwindigkeit über der Quelle variieren. Dies wurde bei der Ausbreitungsrechnung entsprechend den Angaben des Auftraggebers berücksichtigt. In der gutachterlichen Praxis stehen jedoch häufig keine windabhängigen Emissionsangaben zur Verfügung, so daß z. T. nur mit einer mittleren Emission (die für jede Windgeschwindigkeit gleich ist) gerechnet werden kann. Dies wurde für Vergleichszwecke hier ebenfalls durchgerechnet. Die Unterschiede in der Geruchsüberschreitungshäufigkeit waren im Vergleich zur ersten Rechnung gering. Dies bedeutet, daß bei der vergebenen Konstellation vereinfacht mit einer mittleren Emission gerechnet werden kann.
- 6) Bei einem Stall mit Seitenwandlüftung werden im Nahbereich höhere Geruchsüberschreitungshäufigkeiten berechnet als bei einem Stall mit Lüftung über Dach (bei sonst gleichen Bedingungen).
- 7) Waldstreifen im Nahbereich der Quelle bewirken eine lokale Erhöhung der Rauigkeitslänge im Quellnahbereich. Dies wiederum hat zwei gegenläufige Wirkungen (erhöhte Turbulenz bei gleichzeitiger Verringerung der bodennahen Windgeschwindigkeit), die die Konzentrationen unterschiedlich beeinflussen können. Ob solch ein Waldstreifen in der Summe aller seiner Wirkungen eher eine Erniedrigung oder eine Erhöhung der Geruchsbelastungen im Nahbereich bewirkt, kann von Fall zu Fall verschieden sein und hängt von der Lage der Aufpunkte ab.

- 
- 8) Beim betrachteten Fall mit Stall innerhalb eines Waldgebietes werden in den Baumkronen mittlere Ammoniakkonzentrationen berechnet, die in Teilbereichen oberhalb des Orientierungswertes für empfindliche Ökosysteme ( $10 \mu\text{g NH}_3/\text{m}^3$ ) liegen.
  - 9) Längsneigungen der Rezeptorebene bewirken bei der betrachteten Quelle eine Erhöhung der Geruchsüberschreitungshäufigkeit im Vergleich zur Ebene an der Stelle, an der die Abluftfahne an den Berg herangedrückt wird.

## 2 PROBLEMSTELLUNG UND ARBEITSUMFANG

Im Dezember 1998 wurde von unserem Ingenieurbüro der Bericht FuE-Vorhaben „Modellierung des Ausbreitungsverhaltens von luftfremden Schadstoffen/Gerüchen bei niedrigen Quellen im Nahbereich“ (Lohmeyer et al., 1998) fertiggestellt. In diesem Bericht werden für verschiedene Fragestellungen Handlungsempfehlungen für die Strömungs- und Ausbreitungsrechnung gegeben. Speziell wurde die Anwendung der Modelle LASAT und MISKAM empfohlen.

Im Rahmen von Lohmeyer et al. (1998) wurden Validierungen mit den Rasterbegehungsdaten von Nörvenich durchgeführt, wobei die bei den Begehungen ermittelten Geruchswahrnehmungshäufigkeiten durch das Modell systematisch unterschätzt wurden. In der hier vorgelegten Arbeit werden wichtige Modelleinstellungen innerhalb sinnvoller Grenzen variiert und die Ergebnisse dieser Sensitivitätsstudie diskutiert. Dazu werden sowohl die Änderungen relativ zu einem definierten Standardfall als auch relativ zu den Behebungsergebnissen herangezogen. Zusätzlich zu diesen Betrachtungen, welche sich innerhalb der in Lohmeyer et al. (1998) festgelegten Berechnungsmethodik bewegt, wurden weitere Betrachtungen zur Methodik angestellt.

Zusätzlich zu den Nörvenich-Rasterbegehungsdaten sollten Vergleichsrechnungen mit den Begehungsdaten an der Schweinemastanlage in Greiz-Gommla (insgesamt 5 Fahnenbegehungen) durchgeführt werden.

Im Forschungsbericht Lohmeyer et al. (1998) wurde zur Berücksichtigung der kurzzeitigen Konzentrationsspitzen ein Fluktuationsfaktor ( $c_{90} / c$ ) mit dem Wert 4 aus Windkanal- und Freilandmeßdaten abgeleitet. Dies ist ein konservativer Ansatz, da alle ermittelten Faktoren kleiner als 4 waren. Bei den Untersuchungen wurden nur Punktquellen realisiert, so daß die Frage zu klären ist, ob bei Flächenquellen ein anderer Fluktuationsfaktor anzunehmen und welcher Wert für diesen Faktor gegebenenfalls anzusetzen ist.

Hierfür sollten die wissenschaftliche Literatur und die vorhandenen Windkanaldaten unter dem Aspekt „Flächenquellen“ durchgesehen und die Ergebnisse entsprechend dokumentiert werden.

Weiterhin sollten einzelne definierte Fälle mit dem Programmsystem MISKAM/LASAT durchgerechnet werden. Dabei waren bei der Betrachtung von Geruch die Vorschriften der GIRL zugrunde zu legen. Die erstellten Eingangsdateien sowie die Ergebnisfiles aus diesen

letzten genannten Untersuchungen sollten dem Auftraggeber zur Verfügung gestellt werden. Damit hat dieser dann die Möglichkeit, mit Hilfe der Eingangsdateien weiterführende Sensitivitätsbetrachtungen durch Variation einzelner Parameter durchzuführen.

### **3 VALIDIERUNG**

#### **3.1 Rasterbegehungen Nörvenich - Sensitivitätsbetrachtungen**

##### **3.1.1 Anlaß**

Diese Studie schließt an das Projekt „Modellierung des Ausbreitungsverhaltens von luftfremden Schadstoffen/Gerüchen bei niedrigen Quellen im Nahbereich“ (Lohmeyer et al., 1998) an. Dort wurde festgestellt, daß die mit dem Ausbreitungsmodell LASAT berechneten Überschreitungshäufigkeiten bis auf eine Ausnahme deutlich niedriger waren als die vom Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA-NRW) veröffentlichten Ergebnisse der Rasterbegehung. Eine Beschreibung des Feldversuchs findet man in Both et al. (1995) sowie in Janicke (1999; Janicke-Website). Ferner waren die mit LASAT berechneten Überschreitungshäufigkeit niedriger als die mit anderen Geruchsausbreitungsmodellen ermittelten (vgl. Enderle und Richter, 1998).

Für diese Abweichungen kommen u. a. folgende Ursachen in Betracht:

- ungünstige Einstellungen der Modellparameter bei der Ausbreitungsmodellierung
- unterschiedliche statistische Auswerteverfahren
- Ungenauigkeiten/Fehler in den Beobachtungsdaten
- Nichtberücksichtigung einer eventuellen Vorbelastung

Um den Einfluß der Parametereinstellungen bei der Ausbreitungsmodellierung festzustellen, wurde die im folgenden beschriebene Sensitivitätsbetrachtung durchgeführt.

##### **3.1.2 Variierte Einflußfaktoren**

###### **3.1.2.1 Auswahl der Einflußfaktoren**

Es wurden folgende Faktoren, welche die von LASAT berechneten Konzentrationen oder aber die statistische Auswertung beeinflussen, variiert:

- a) das LASAT-Meteorologiemodell
- b) die Maschenweite des Auszählgitters

- c) die Umsetzung der DWD-Ausbreitungsklassenstatistik Nörvenich in LASAT
- d) die Freisetzungsbedingungen (Quellhöhe, Quellstärke, Austrittsimpuls, Punkt- oder Volumenquellen)
- e) die Rauigkeitslänge

Die Motivation für diese Auswahl wird im folgenden erläutert.

Zu a) in der Version 2.8 von LASAT wurde im Vergleich zur Version 2.6, die bei den Validierungsarbeiten von Lohmeyer et al. (1998) zum Einsatz kam, ein geändertes meteorologisches Grenzschichtmodell (Version 2.1) implementiert. Dieses kam bei allen hier neu vorgelegten Rechnungen zum Einsatz. Gegenüber der älteren Version 1.3 wurden neben geänderten empirischen Formeln die folgenden Einstellungen geändert:

- die Zuordnung von Monin-Obukhov-Länge und Mischungsschichthöhe zu den Stabilitätsklassen
- die Abhängigkeit dieser Zuordnung von der Rauigkeitslänge  $z_0$
- die Faktoren zur Berechnung der Lagrange-Korrelationszeiten.

Ziel der Änderungen war die bessere Anpassung der LASAT-Ergebnisse besonders bei niedrigen Quellhöhen an experimentelle Befunde sowie eine bessere Übereinstimmung mit den Ergebnissen des TA Luft-Modells (breitere Fahnen bei stabiler und labiler Schichtung), wenn mit TA Luft-Ausbreitungsklassenstatistiken gearbeitet wird. Eine Auflistung der in Version 1.3 und Version 2.1 verwendeten Zahlenwerte sowie die Darstellung und Diskussion der Ergebnisse von Testrechnungen finden sich in den Ergänzungen zu Referenzbuch und Arbeitsbuch von LASAT 2.8. Es wird festgestellt, daß Version 2.1 bei stabiler und labiler Schichtung größere Fahnenbreiten als Version 1.3 liefert. Dies wird u. a. durch wesentlich höhere Faktoren zur Berechnung der Lagrange-Korrelationszeiten bei stabiler und labiler Schichtung als bei Version 1.3 erreicht. Höhere Lagrange-Korrelationszeiten bewirken, daß sich der Übergangsbereich von der linearen zur  $\sqrt{t}$ -Abhängigkeit der Streuungen von der Quelle weg verschiebt und dadurch die Fahne breiter wird.

Zu b) die Maschenweite  $\Delta$  des Auszählgitters muß sich für den hier betrachteten Fall Nörvenich unabhängig vom Vorgehen im Nahbereich an den Vorgaben der GIRL orientieren, nach welcher die Überschreitungshäufigkeiten auch in Übereinstimmung mit den Begehungen auf quadratischen Beurteilungsflächen von 250 m Kantenlänge zu ermitteln sind. Im Vorgängerprojekt wurden die Rechnungen mit einem  $\Delta = 62.5$  m durchgeführt und anschließend

die in einer GIRL-Beurteilungsfläche enthaltenen 16 Flächen gemittelt. Auf der einen Seite können punktgenaue Konzentrationswerte mit Modellen wie LASAT nicht realisiert werden, auf der anderen Seite ist das Ziel der Begehungen, repräsentative Überschreitungshäufigkeit für die gesamte Beurteilungsfläche unter Verwendung der vier Eckpunkte zu ermitteln. Von der Idee des Flächenmittels her bietet es sich daher an, Rechnungen mit  $\Delta = 250$  m durchzuführen (Fälle 2101G, 2103G, 2101GV, 2103GV) und mit der Standardrechnung ( $\Delta = 62.5$  m) zu vergleichen.

Zu c) bei den Standardrechnungen wird bezüglich der Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsklassen die Einteilung der TA Luft verwendet. Erfahrungen zeigen, daß unter Umständen die recht grobe Auflösung der Windgeschwindigkeitsklassen bei der TA Luft zu Unterschätzungen der berechneten Konzentrationen führen können. Es wurde daher eine Rechnung mit einer feineren Einteilung der Windgeschwindigkeitsklassen (DWD-Statistik im alten Format, 0.5 m/s-Schritte) durchgeführt (Fall 21DWD). Ferner wurde untersucht, wie sich eine Verfeinerung der Windrichtungssektoren in 1°-Schritte auswirkt (Fall 21S10). Bei der Standardrechnung wird mit einer Einteilung in 2°-Sektoren gearbeitet.

Zu d) bei den Standardfreisetzungsberechnungen wurden die im Vorgängerbericht angegebenen Werte, welche teilweise zeitliche Mittelwerte über die Begehungszeiten sind, verwendet. Sie sind in der folgenden **Tab. 3.1** aufgelistet.

Variable	Symbol	Wert
Geruchsstoffstrom pro Einzelauslaß	Q	9 120 GE/s
Anzahl der Einzelauslässe		12
Freisetzungshöhe	Hq	8 m
Abluftvolumenstrom pro Einzelauslaß	Vs	1.8 m <sup>3</sup> /s
Austrittsgeschwindigkeit der Abluft	u <sub>j</sub>	10 m/s

Tab. 3.1: Standard-Freisetzungsbedingungen (Mittelwerte).

Da sowohl der Abluftstrom als auch der Geruchsstoffstrom zeitlichen Variationen unterlagen, wurde bei einer Rechnung die Austrittsgeschwindigkeit auf 5 m/s reduziert (Fall 2101v5), bei einer weiteren Rechnung wurde mit dem maximalen Geruchsstoffstrom von 11 36 GE/(s · Auslaß) und der Standardaustrittsgeschwindigkeit von 10 m/s gerechnet (Fall 2101Q2), entsprechend dem im LUA-Bericht angegebenen Gesamtgeruchsstoffstrom von 507 Mio. GE/h.

Bei der Modellierung der Quellgeometrie stehen verschiedene Möglichkeiten zur Auswahl. Bei der Standardrechnung wird davon ausgegangen, daß die Abluft in  $H_q = 8$  m über Grund von 12 als Punktquellen behandelten Lüftern mit einer Austrittsgeschwindigkeit von  $V_q = 10$  m/s vertikal ausgeblasen wird. Die anschließende Überhöhungsrechnung nach VDI 3782/3 geht davon aus, daß sich die Abluft ungestört ausbreiten kann; dem wird jedoch nicht so sein, da Gebäudeeinflüsse zu erwarten sind. In einem weiteren Rechenlauf wurde daher probeweise die Kaminhöhe halbiert (also auf  $H_q =$  auf 4 m gesetzt), um Gebäudeeinflüsse wie Downwash näherungsweise zu erfassen (Fall 2101H4). Im gleichen Zusammenhang wurde eine Serie von Rechnungen durchgeführt, in welchen, einem Vorschlag von Janicke (Website Nörvenich-Validierungen) folgend, die beiden Ställe mit ihren Lüftern als zwei impulslose Volumenquellen von  $38 \times 58$  m<sup>2</sup> Ausdehnung, welche sich vom Erdboden bis in 5 m Höhe erstrecken, modelliert werden. Die anderen Rechnungen (punktförmige Lüfter) wurden mit einer geringfügig modifizierten Quellanordnung durchgeführt. Die sich daraus ergebenden (geringen) Abweichungen der Geruchsüberschreitungshäufigkeiten im Vergleich zur Standardrechnung sind unten aufgeführt.

Zu e) eine wichtige Einflußgröße bei Ausbreitungsrechnungen insbesondere bodennaher Quellen ist die Rauigkeitslänge  $z_0$ , da sie wesentlich die bodennahen Wind- und Turbulenzverhältnisse beeinflusst. Die Landnutzung im Untersuchungsgebiet läßt eine Rauigkeitslänge von  $z_0 = 0.1$  m angemessen erscheinen. Janicke (WebSite) findet aus Auswertungen von Ultraschallanemometermessungen einen Wert von 0.033 m. Es wurden daher Rechenläufe mit dem Standardwert  $z_0 = 0.1$  m (Fälle 2101...) und mit den beiden um den Faktor 3 höheren bzw. niedrigeren Werten 0.3 m (Fälle 2103...) und 0.033 m (Fall 21003) durchgeführt.

Alle Rechnungen wurden für ebenes Gelände mit der LASAT-Version 2.8d durchgeführt. Bei allen Rechnungen bis auf eine wurde die Häufigkeit bestimmt, mit welcher eine Geruchsstoffkonzentration von 0.25 GE/m<sup>3</sup> überschritten wurde („Faktor 4-Modell“).

### 3.1.2.2 Tabellarische Darstellungen

Die **Tab. 3.2** bis **3.4** geben einen Überblick über die durchgeführten Rechnungen mit den zugehörigen Parametern. Die Standardrechnung ist mit 2101 bezeichnet. In der Spalte „Statistik/Anz. Sektoren“ ist angegeben, mit welchem Typ Statistik (TA Luft oder altes DWD-Format), wie viele meteorologische Situationen und mit wie vielen Windrichtungssektoren gerechnet wurde.

<b>Rechnungen mit LASAT-Grenzschichtmodell Version 2.1, Punktquellen</b>						
<b>Bez.</b>	<b>z<sub>0</sub> (m)</b>	<b>Δ (m)</b>	<b>Statistik/Anz. Sektoren</b>	<b>Hq (m)</b>	<b>Vq (m/s)</b>	<b>Q (GE/s)</b>
2101	0.1	62.5	TAL4455/180	8	10	9 120
2101G	0.1	250	TAL4455/180	8	10	9 120
2101S10	0.1	62.5	TAL8910/360	8	10	9 120
2101H4	0.1	62.5	TAL4455/180	4	10	9 120
2101V5	0.1	62.5	TAL4455/180	8	5	9 120
2101DWD	0.1	62.5	DWD7120/180	8	10	9 120
2101Q2	0.1	62.5	TAL4455/180	8	10	11 736
2103	0.3	62.5	TAL4455/180	8	10	9 120
2103G	0.3	250	TAL4455/180	8	10	9 120
2103S10	0.3	62.5	TAL8910/360	8	10	9 120
21003	0.033	62.5	TAL4455/180	8	10	9 120

Tab. 3.2:

<b>Rechnungen mit LASAT-Grenzschichtmodell Version 2.1, Volumenquellen</b>						
<b>Bez.</b>	<b>z<sub>0</sub> (m)</b>	<b>Delta (m)</b>	<b>Statistik/Anz. Sektoren</b>	<b>Hq (m)</b>	<b>Vq (m/s)</b>	<b>Q (GE/s)</b>
2101V	0.1	62.5	TAL4455/180	0 - 5	0	54 720
2101GV	0.1	250	TAL4455/180	0 - 5	0	54 720
2101S10V	0.1	62.5	TAL8910/360	0 - 5	0	54 720
2103V	0.3	62.5	TAL4455/180	0 - 5	0	54 720
2103GV	0.3	250	TAL4455/180	0 - 5	0	54 720
21003V	0.033	62.5	TAL4455/180	0 - 5	0	54 720

Tab. 3.3:

<b>Rechnungen mit LASAT-Grenzschichtmodell Version 1.3, Punktquellen</b>						
<b>Bez.</b>	<b>z<sub>0</sub> (m)</b>	<b>Delta (m)</b>	<b>Statistik/Anz. Sektoren</b>	<b>Hq (m)</b>	<b>Vq (m/s)</b>	<b>Q (GE/s)</b>
1301	0.1	62.5	TAL4455/180	8	10	9 120
1303	0.3	62.5	TAL4455/180	8	10	9 120

Tab. 3.4:

Daneben wurde noch eine Rechnung mit Standardparametern, aber Quellenordnung wie im Vorgängerprojekt durchgeführt.

### 3.1.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Sensitivitätsbetrachtungen werden in **Tab. 3.5** bis **3.7** wiedergegeben. Die Darstellung beschränkt sich auf die Rasterflächen Nr. 1 (F1) und Nr. 4 (F4) [zur Lage dieser Rasterflächen siehe **Abb. 3.0**]. Es wird jeweils die berechnete Überschreitungshäufigkeit (GÜH), die relative Abweichung vom Beobachtungswert und die relative Abweichung vom Standardfall angegeben. Die aus den Beobachtungen abgeleitete Überschreitungshäufigkeit betrug bei Fläche 1 14.4 %, bei Fläche 4 10.6 %.

a) Rechnungen mit LASAT-Grenzschichtmodell Version 2.1, Punktquellen

Bez.	F1:ber. GÜH	F1:Abw.v. Beob. (%)	F1:Abw.v. Standardfall	F4:ber. GÜH	F4:Abw.v. Beob.	F4:Abw.v. Standardfall
2101	9.2	-36	0	7.1	-33	0
2101G	10.3	-28	12	7.6	-28	6
2101S10	9.0	-37	-2	6.8	-36	5
2101H4	9.7	-33	5	7.5	-30	4
2101V5	10.1	-30	10	7.5	-29	5
2101DWD	9.2	-36	0	7.1	-33	1
2101Q2	9.9	-31	8	8.0	-24	12
2103	10.7	-25	17	7.2	-32	1
2103G	11.6	-19	27	7.6	-28	6
2103S10	10.5	-27	14	6.7	-37	-6
21003	7.5	-48	-19	6.4	-40	-11
alte Quellv.	9.4	-35	3	7.0	-34	2

Tab. 3.5:

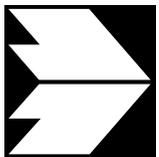
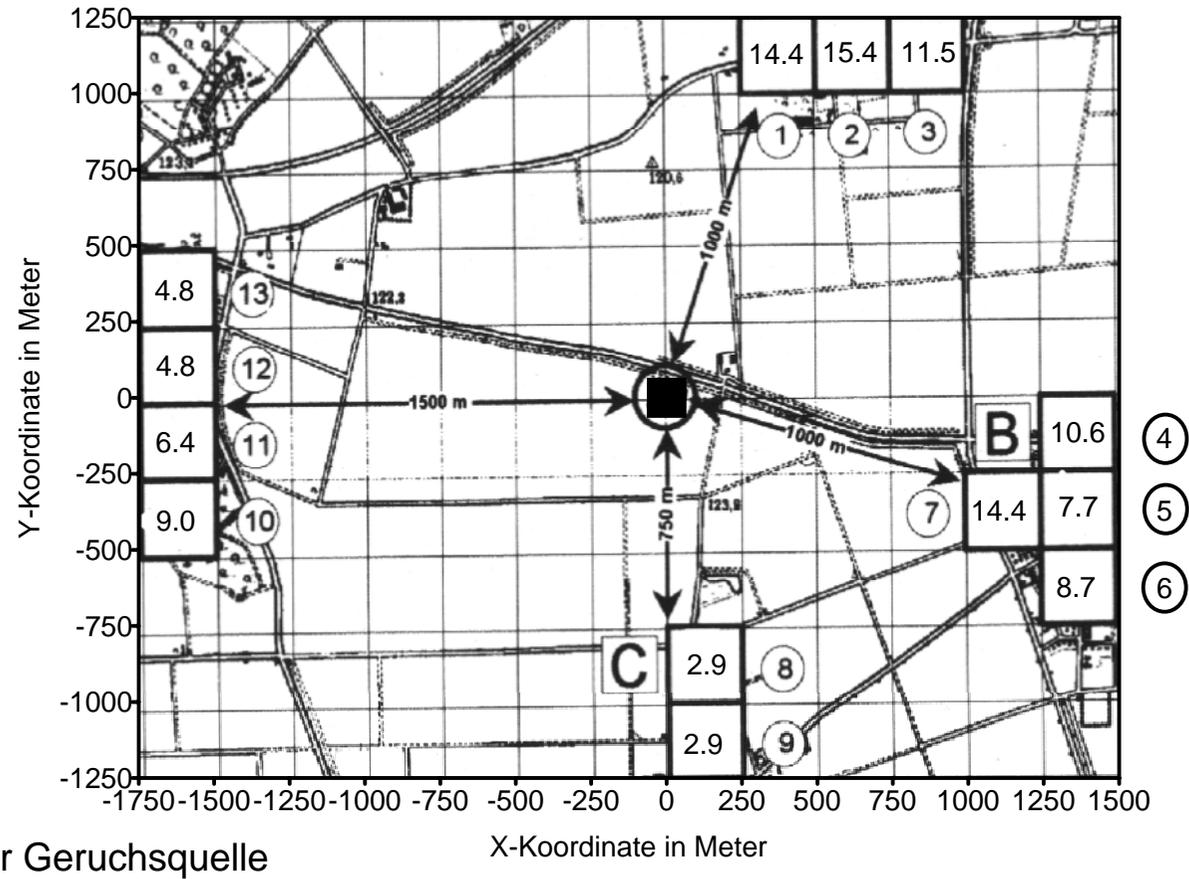


Abb. 3.0: Begehungsdaten Nörvenich: Geruchswahrnehmungshäufigkeit in Prozent der Jahrestunden an den einzelnen Beurteilungsflächen (Nummern der Beurteilungsflächen sind neben den jeweiligen Flächen vermerkt).

b) Rechnungen mit LASAT-Grenzschichtmodell Version 2.1, Volumenquellen

Bez.	F1:ber. GÜH	F1:Abw.v. Beob. (%)	F1:Abw.v. Standardfall	F4:ber. GÜH	F4:Abw.v. Beob.	F4:Abw.v. Standardfall
2101V	9.3	-35	2	7.5	-29	5
2101GV	11.0	-34	20	8.3	-22	16
2101S10V	9.2	-36	1	7.2	-32	0
2103V	10.8	-25	17	7.5	-30	5
2103GV	11.7	-19	28	7.9	-25	11
21003V	8.4	-42	-8	6.9	-35	-4

Tab. 3.6:

c) Rechnungen mit LASAT-Grenzschichtmodell Version 1.3, Punktquellen

Bez.	F1:ber. GÜH	F1:Abw.v. Beob. (%)	F1:Abw.v. Standardfall	F4:ber. GÜH	F4:Abw.v. Beob.	F4:Abw.v. Standardfall
1301	7.7	-47	-16	5.2	-51	-27
1303	7.9	-45	-14	4.3	-59	-39

Tab. 3.7:

Eine Erhöhung der Überschreitungshäufigkeit wird demnach vor allem bewirkt durch:

- 1) Vergrößern der Maschenweite  $\Delta$  (alle Läufe, die in **Tab. 3.5** und **3.6** die Kennung „G“ enthalten)
- 2) Vergrößern der Rauigkeitslänge
- 3) Verringern der Austrittsgeschwindigkeit
- 4) Erhöhung der Quellstärke.

Dabei dienen die Punkte 2), 3) und 4) vor allem dazu, abzuschätzen, welche Maximalüberschreitungshäufigkeit zu erwarten sind, da z. B. eine Rauigkeitslänge von 0.3 m bei der gegebenen Landnutzung zu hoch erscheint.

Eine Erhöhung der Rauigkeitslänge hat bei bodennahen Quellen zwei gegenläufige Wirkungen, nämlich zum einen eine Verbreiterung der Fahne bei gleichzeitiger Verringerung der Konzentrationen durch erhöhte Turbulenz zum anderen eine Verringerung der bodennahen Windgeschwindigkeit mit entsprechender Erhöhung der Konzentrationen (siehe auch

Sensitivitätsbetrachtungen bei Lohmeyer et al., 1998). Welcher Effekt im hier betrachteten Fall Nörvenich dominiert, kann an dieser Stelle nicht explizit gesagt werden, da dies von Aufpunkt zu Aufpunkt verschieden ist.

Die Maschenweite hat einen Einfluß auf die berechneten Überschreitungshäufigkeit. Abhängig von der Quellentfernung, der Quellstärke und vor allem der verwendeten AK-Statistik kann eine Verfeinerung der Maschenweite eine Erhöhung oder eine Absenkung der Überschreitungshäufigkeit ergeben.

Eine Änderung der Quellgeometrie bewirkt nur geringfügige Änderungen der Überschreitungshäufigkeit. Dies dürfte auf den großen Quellabstand zurückzuführen sein. Auch eine Verfeinerung der Klasseneinteilung von Windrichtung und Windgeschwindigkeit ändert die berechneten Überschreitungshäufigkeit nicht wesentlich. Dies dürfte daran liegen, daß niedrige Windgeschwindigkeitsklassen eher selten vorkommen (mittlere Windgeschwindigkeit = 3.3 m/s).

## **FAZIT**

Ziel der hier durchgeführten Untersuchungen war, durch Änderung einiger Modellparameter (in physikalisch sinnvollen Bereichen) eine bessere Übereinstimmung zwischen Rechnung und Begehung zu erhalten als im Standardrechenfall entsprechend Lohmeyer et al. (1998). Es wurde gezeigt, daß die Variation der o. g. Parameter das Ergebnis der Ausbreitungsrechnung beeinflussen kann. Eine entscheidende Verbesserung der Anpassung der Rechenergebnisse an die Begehung konnte dadurch jedoch nicht erreicht werden.

Bei der Begehung werden punktbezogene Daten der Geruchshäufigkeit an den Eckpunkten einer Fläche auf die Beurteilungsfläche übertragen. Bei LASAT wird ein Flächenmittelwert der Geruchsstoffkonzentration berechnet und unter Zuhilfenahme des Fluktuationsfaktors 4 wird ermittelt, ob die betrachtete Stunde für die Berechnungsfläche als Geruchsstunde zählt. Die Flächenmittlung durch LASAT ist zulässig, wenn die Geruchsstoffgradienten innerhalb einer Berechnungsfläche klein sind. Dann kann die Berechnungsfläche von LASAT auch die Größe der Beurteilungsfläche haben. Bei großen Gradienten innerhalb einer Beurteilungsfläche müssen jedoch die Berechnungsflächen für LASAT deutlich kleiner als die Abmessung der Beurteilungsfläche gewählt werden und zwar so, daß der Geruchsstoffgradient innerhalb einer Berechnungsfläche klein wird. Andernfalls entstehen unzulässige Flächenermittlungen der Konzentrationen. Dies ist bei der Nachrechnung der Nörvenich-Daten auch entsprechend berücksichtigt worden.

Nach der Berechnung von Überschreitungshäufigkeiten für die „kleinen“ Berechnungsflächen mit LASAT muß dann analog zum TA Luft Faktor 10-Modell ein Mittelwert der Überschreitungshäufigkeit aller in einer Beurteilungsfläche liegenden Berechnungsflächen für die zu bewertende Beurteilungsfläche gebildet werden. Laut Auslegungshinweisen zur GIRL (LAI, 1999) ist in begründeten Einzelfällen aber auch eine Punktbetrachtung möglich, wobei die in der GIRL festgelegten Immissionswerte unverändert übernommen werden sollen, da deren Ableitung von der Flächengröße unabhängig ist. In solch einem Fall werden aus den Ergebnissen von LASAT-Rechnungen mit feinem Gitter keine Beurteilungsflächen mehr gebildet.

Die Größe der Berechnungs- bzw. gegebenenfalls der Beurteilungsflächen sollte in enger Abstimmung zwischen Gutachter und der Genehmigungsbehörde erfolgen (LAI, 1999).

## 3.2 Validierung mit den Gommla-Begehungsdaten

### 3.2.1 Allgemeines

Vom Auftraggeber wurden Begehungsdaten an der Schweinehaltungsanlage der Firma Suimax Greiz-Gommla zur Verfügung gestellt. Diese Begehungen wurden von der IFU GmbH im Auftrag der TLU Jena durchgeführt (IFU GmbH, 1998a). Bei den Begehungen handelt es sich um insgesamt 5 Fahnenbegehungen, die zu unterschiedlichen Terminen durchgeführt wurden.

### 3.2.2 Beschreibung der Anlage

Die **Abb. 3.1** zeigt die Anlage der Fa. Suimax Greiz-Gommla. Sie besteht aus einer Reihe von Stallanlagen (1 bis 24), die durch einen Quergang miteinander verbunden sind. Östlich und nördlich der Stallanlagen stehen Wirtschaftsgebäude, die zum Zeitpunkt der Begehungen nicht als Ställe genutzt wurden und damit auch keinen Geruch emittierten. Nördlich der Stallanlagen sind 2 Güllelager angelegt. Die Anlage befindet sich in einem topographisch gegliederten Gelände auf einem kleineren Plateau, welches nach Norden und Süden von der Anlage weg zunächst leicht, dann stärker abfällt. In Richtung Westen und Osten ist das Gelände relativ eben. Nordwestlich der Anlage befindet sich Wald. Die Ortschaft Gommla schließt sich südlich und westlich an die Anlage an. Weitere Details siehe IFU GmbH (1998a). Die Gebäudehöhen innerhalb der Anlage sowie im angrenzenden Wohngebiet wurden bei einem Ortstermin ermittelt.

### 3.2.3 Eingangsdaten

#### 3.2.3.1 Emissionen der Anlage

Die Emissionen der Anlage wurden dem Begehungsbericht entnommen (IFU GmbH, 1998a). Sie basieren auf Literaturdaten der spezifischen Emission kombiniert mit den damaligen Belegungszahlen der Ställe. Die Gesamtemissionen der einzelnen Ställe sind in **Tab. 3.8** dargestellt. Die Emissionsdaten für die Güllelager basieren auf Messungen der IFU GmbH (IFU GmbH, 1998a).

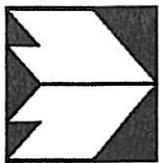
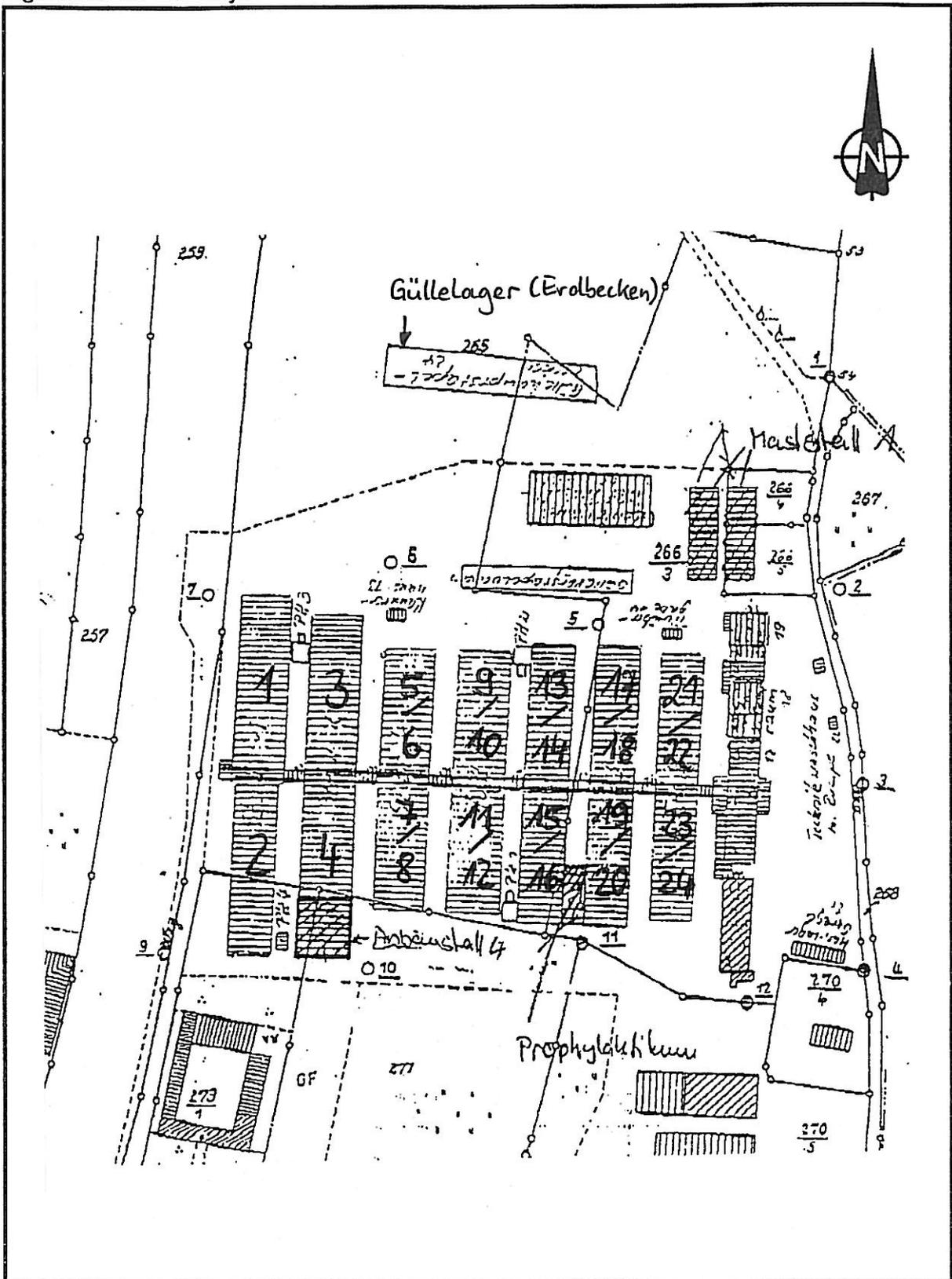


Abb. 3.1: Lageplan der Schweinemastanlage Greiz-Gommla.

Emittent	Emissionen [GE/s]
Stall 1	1 980
Stall 2	1 848
Stall 3	2 772
Stall 4	1 496
Stall 6	152
Stall 7	289
Stall 8	289
Stall 9	304
Stall 10	304
Stall 11	304
Stall 12	304
Stall 13	800
Stall 14	800
Stall 15	975
Stall 16	975
Stall 17	800
Stall 18	800
Stall 19	1 500
Stall 20	800
Stall 21	800
Stall 22	800
Güllelager, Vorbehälter	77
Güllelager, Erdbecken	576

Tab. 3.8: Emissionen der einzelnen Ställe entsprechend IFU GmbH, 1998a.

Zum Begehungszeitpunkt wurde fast die gesamte Anlage mit Seitenwandlüftern betrieben. Ausnahmen bildeten die Ställe 15 und 16, bei denen über Dach entlüftet wurde (Emissionshöhe 6 m über Grund). Für diese beiden Quellen wurden die Quellbedingungen aus dem Begehungsbericht übernommen. Die Abgasfahnenüberhöhung wurde nach Richtlinie VDI 3471 „Emissionsminderung Tierhaltung - Schweine“ (1986) angesetzt.

### 3.2.3.2 Meteorologie

Für den Zeitraum der Fahnenbegehungen wurden von der IFU GmbH (1998b) Ergebnisse meteorologischer Messungen in 10 m Höhe über Grund zur Verfügung gestellt. Dabei handelt es sich um Messungen mit Hilfe eines 10 Hz-Ultraschallanemometers in der Nähe des Güllevorbehälters.

Den digital zur Verfügung gestellten Daten konnten folgende Angaben in einer Auflösung von ca. 10 Hz entnommen werden:

- Betrag der horizontalen Windkomponente
- Richtung der horizontalen Windkomponente
- Betrag der vertikale Windkomponente
- Lufttemperatur.

Aus diesem Datenkollektiv wurden von unserem Büro für jede Einzelbegehung (jeweils 10 min-Intervall) folgende mittlere Größen bestimmt, die direkt in die Ausbreitungsrechnung eingingen:

- mittlere Windgeschwindigkeiten
- mittlere Windrichtung
- Monin-Obukhov-Länge.

Die Monin-Obukhov-Länge stellt ein genaueres Maß für den Ausbreitungszustand der Atmosphäre dar als die Ausbreitungsclassen nach Klug-Manier, die im allgemeinen in Ausbreitungsrechnungen verwendet werden.

Die für jeden Begehungspunkt unter Beachtung des jeweiligen Begehungszeitintervalls berechneten Werte sind im Anhang A1 dargestellt. Weitere Informationen zur Meteorologie: siehe IFU GmbH, 1998a.

### **3.2.3.3 Begehungsergebnisse**

Bei den Begehungen handelt es sich um Fahnenmessungen mit Bewertung der Geruchsintensität (Geruchsstufen entsprechend VDI 3882, Bl. 1). Durch die Auswertung der Häufigkeit von Geruchsstufen mit Intensitäten von  $\geq 1$  wurden aus diesen Meßdaten die Häufigkeit des Auftretens eines Geruchsereignisses während der 10 min Meßzeit für jeden Begehungspunkt berechnet. Aus diesem Datenmaterial wurde ermittelt, an welchen Punkten eine Geruchsstunde auftrat und an welchen nicht (10 %-Grenze).

Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in Anhang A1 für jeden Begehungspunkt dargestellt. Die ermittelten Intensitäten und Häufigkeiten gingen laut Vorgehensweise der GIRL nicht in die weiteren Betrachtungen ein.

### 3.2.4 Ausbreitungsrechnungen

#### 3.2.4.1 Vorgehensweise

Das zu betrachtende Untersuchungsgebiet befindet sich in relativ ebenem Gelände und das bodennahe Strömungsfeld wird durch Gebäude (Stallanlagen, Nebengebäude, Lager u. ä.) beeinflusst. Ein Teil der zu betrachtenden Untersuchungspunkte liegt im Nahbereich der Anlage (Entfernung  $< 20 \cdot$  Stallhöhe), der andere Teil in größerer Entfernung zu den Quellen.

Die Ausbreitungsrechnungen erfolgten zunächst nur mit dem Lagrange'schen Ausbreitungsmodell LASAT (Version 2.8D). Die Gebäude wurden dabei nicht explizit, sondern über eine erhöhte Geländerauhigkeit berücksichtigt.

In einem 2. Schritt wurde die Ausbreitungsrechnung mit einer Kombination der Modelle MISKAM (Version 3.6) und LASAT durchgeführt, wobei das Nestingverfahren angewendet wurde. Dabei wurden drei Rechengebiete ineinandergeschachtelt, die folgende Auflösung hatten:

äußeres Rechengebiet	10 m x 10 m (Ausdehnung: 800 m x 850 m)
mittleres Rechengebiet	5.0 m x 5.0 m (Ausdehnung: 590 m x 600 m)
inneres Rechengebiet	2.5 m x 2.5 m (Ausdehnung: 350 m x 300 m).

Das innere Rechengebiet ist in **Abb. 3.2** dargestellt. Die Emissionsquellen liegen jeweils im Zentrum der einzelnen Gebiete.

Die o. g. Vorgehensweise des Nestings bot den Vorteil, daß einerseits die Immissionsbelastung an weiter entfernt liegenden Begehungspunkten bei der Modellierung berechnet werden konnten und andererseits die Ausbreitungsverhältnisse innerhalb des inneren Rechengebietes genauer modelliert werden konnte als ohne Nesting.

Im mittleren und inneren Rechengebiet wurden die Gebäude explizit aufgelöst. Zunächst erfolgte in diesen Rechengebieten die Berechnungen des dreidimensionalen Strömungsfeldes (Windrichtung und Windgeschwindigkeit) für den Fall der neutral geschichteten Atmosphäre mit dem mikroskaligen Strömungsmodell MISKAM. Diese Strömungsfelder wurden vom Ausbreitungsmodell LASAT übernommen, welches die Turbulenz- und Ausbreitungs-

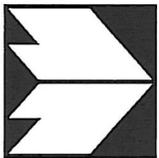
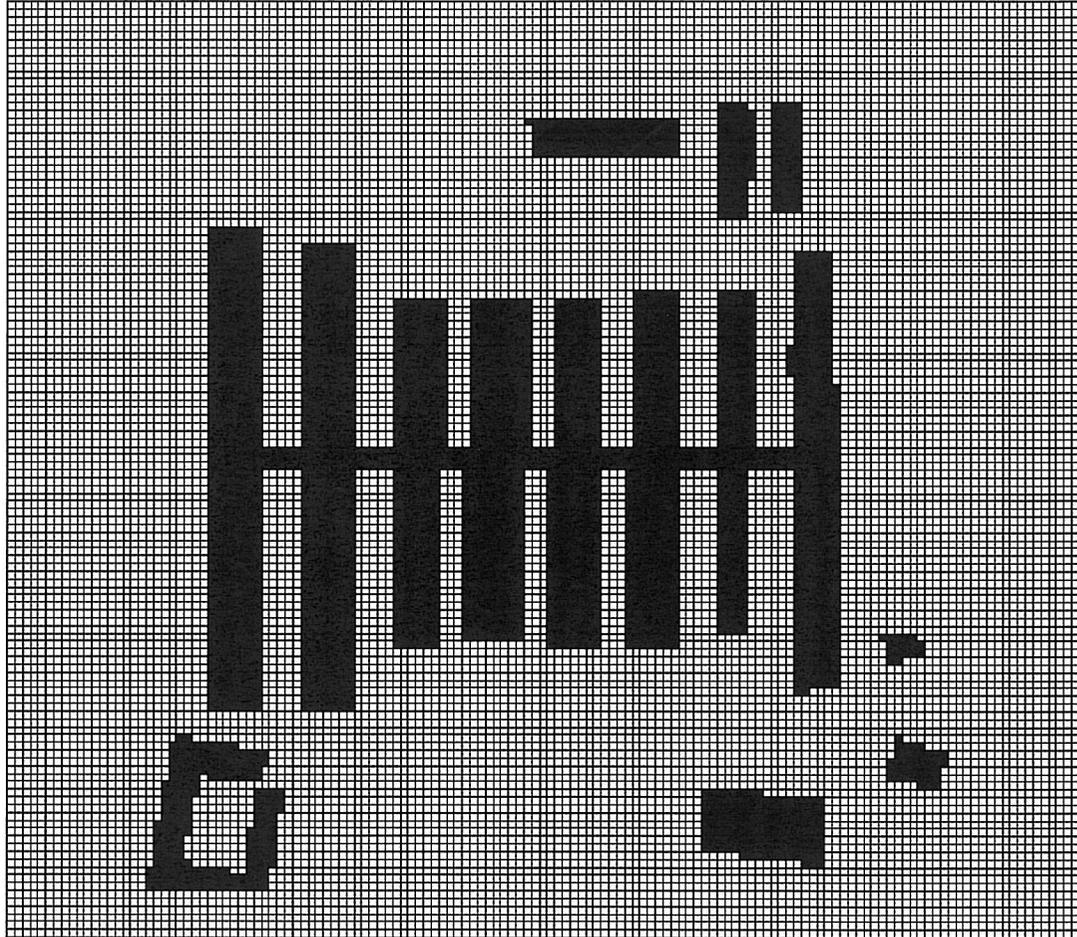


Abb. 3.2: Schweinemastanlage Gommla; Darstellung des feinen Rechengitters (einschließlich Gebäude [schwarz]) für die Strömungsrechnung mit MISKAM. Gebietsgröße: 350m x 300 m.

rechnung für alle bei den Begehungen vorgefundenen Stabilitätszustände der Atmosphäre und alle 3 Teilgebiete durchführte.

Bei beiden Berechnungsmethodiken wurde jeder Begehungspunkt unter Beachtung der Vorgaben der GIRL (Geruchsstundendefinition 10 % und Schwellenwert 1 GE/m<sup>3</sup>) und der entsprechenden Meteorologiedaten einzeln nachgerechnet, wobei das Ausbreitungsmodell jeweils mit der Standardkonfiguration betrieben wurde. Insgesamt wurden jeweils 148 Fahnen berechnet. Die berechneten Fahnen wurden Meßpunkt für Meßpunkt mit den Begehungsdaten verglichen, wobei als Fluktuationsfaktor der Faktor 4 diente.

Die Auswertung der erhaltenen Daten erfolgte in Absprache mit dem Auftraggeber analog zur Auswertung der nachgerechneten Auberg-Fahnenbegehungen bei Lohmeyer et al. (1998) nach folgendem Muster:

Stimmten Begehung und Rechnung überein (bei beiden Methoden wurde gleichermaßen entweder eine Geruchsstunde oder keine Geruchsstunde registriert), wurde die Berechnung als „Treffer“ vermerkt. Falls die Berechnung eine Geruchsstunde ergab, während bei der Begehung keine Geruchsstunde registriert wurde, wurde die Berechnung als „Überschätzung“ eingeordnet. Umgekehrt wurden durch Begehung ermittelte Geruchsstunden, die vom Modell nicht wiedergegeben wurden, als „Unterschätzung“ registriert.

#### 3.2.4.2 Ergebnisse

Für das Programm LASAT Faktor 4 wurde eine Trefferquote (Übereinstimmung) von 83 % der Einzelwerte erzielt. Die Überschätzungen betrafen 6 % der Einzelwerte, während Unterschätzungen in 11 % der Fälle auftraten.

Bei der Kopplung von MISKAM und LASAT entsprechend Vorschlag bei Lohmeyer et al. (1998) ergab sich folgendes Ergebnis:

Trefferquote:	87 %
Überschätzung:	6 %
Unterschätzung:	7 %.

Bei beiden Berechnungsmethodiken ist die Trefferquote sehr hoch, wobei bei der Anwendung von MISKAM etwas bessere Ergebnisse erzielt werden. Die Ergebnisse für die Berechnungen mit MISKAM sind im einzelnen den **Abb. 3.3** bis **3.7** zu entnehmen.

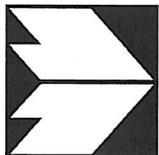
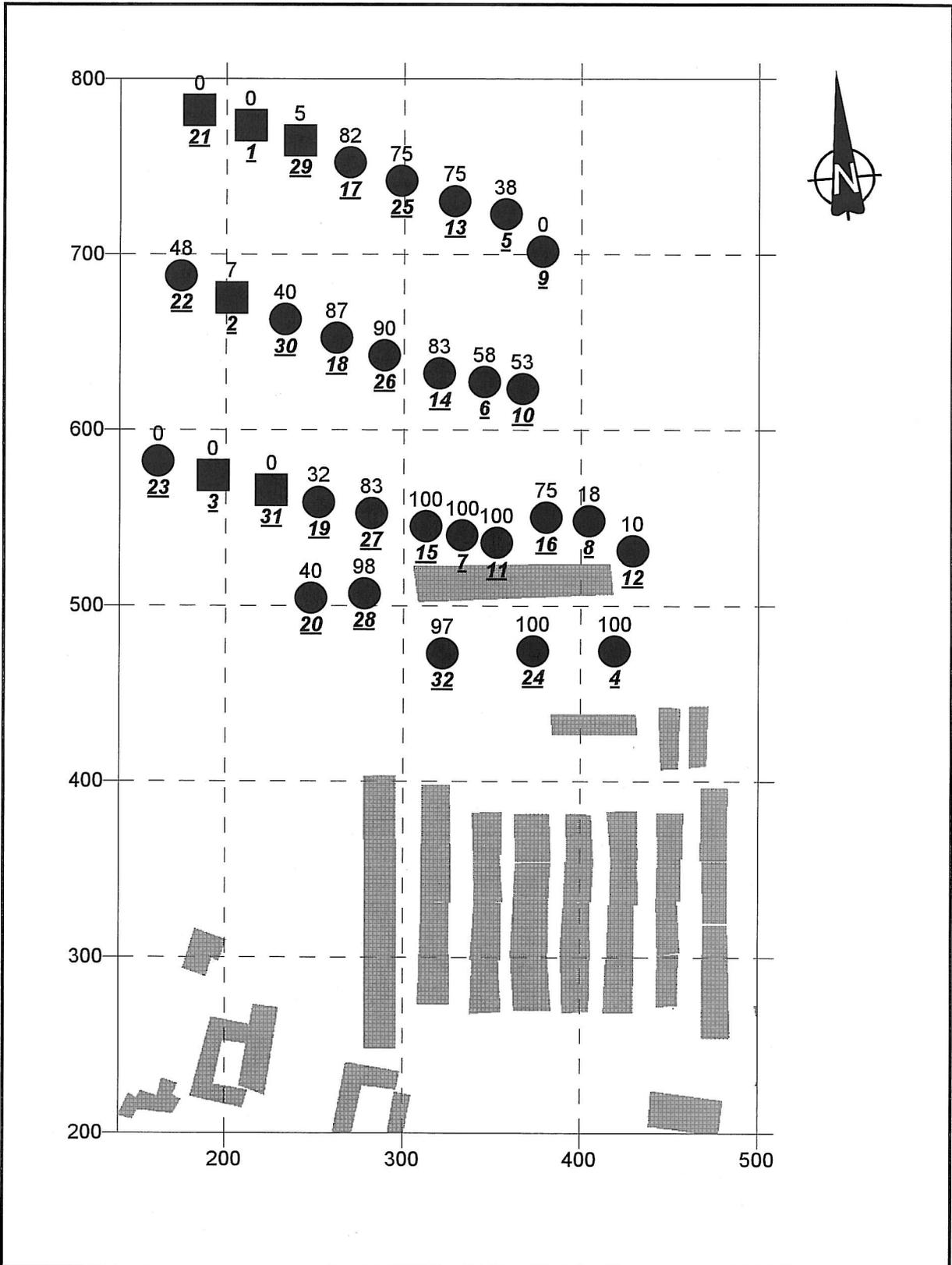


Abb. 3.3: Fahne 1: Geruchshäufigkeiten bei der Begehung in % der Zeit (Zahlenwerte oben), Nummer der Begehung (unten, unterstrichen) sowie Information über die Trefferquote der Modellkombination MISKAM/LASAT in folgender Art und Weise:  
 Schwarzer Kreis am Begehungspunkt=Treffer  
 Schwarzes Viereck am Begehungspunkt=Überschätzung  
 Schwarzes Dreieck am Begehungspunkt=Unterschätzung.

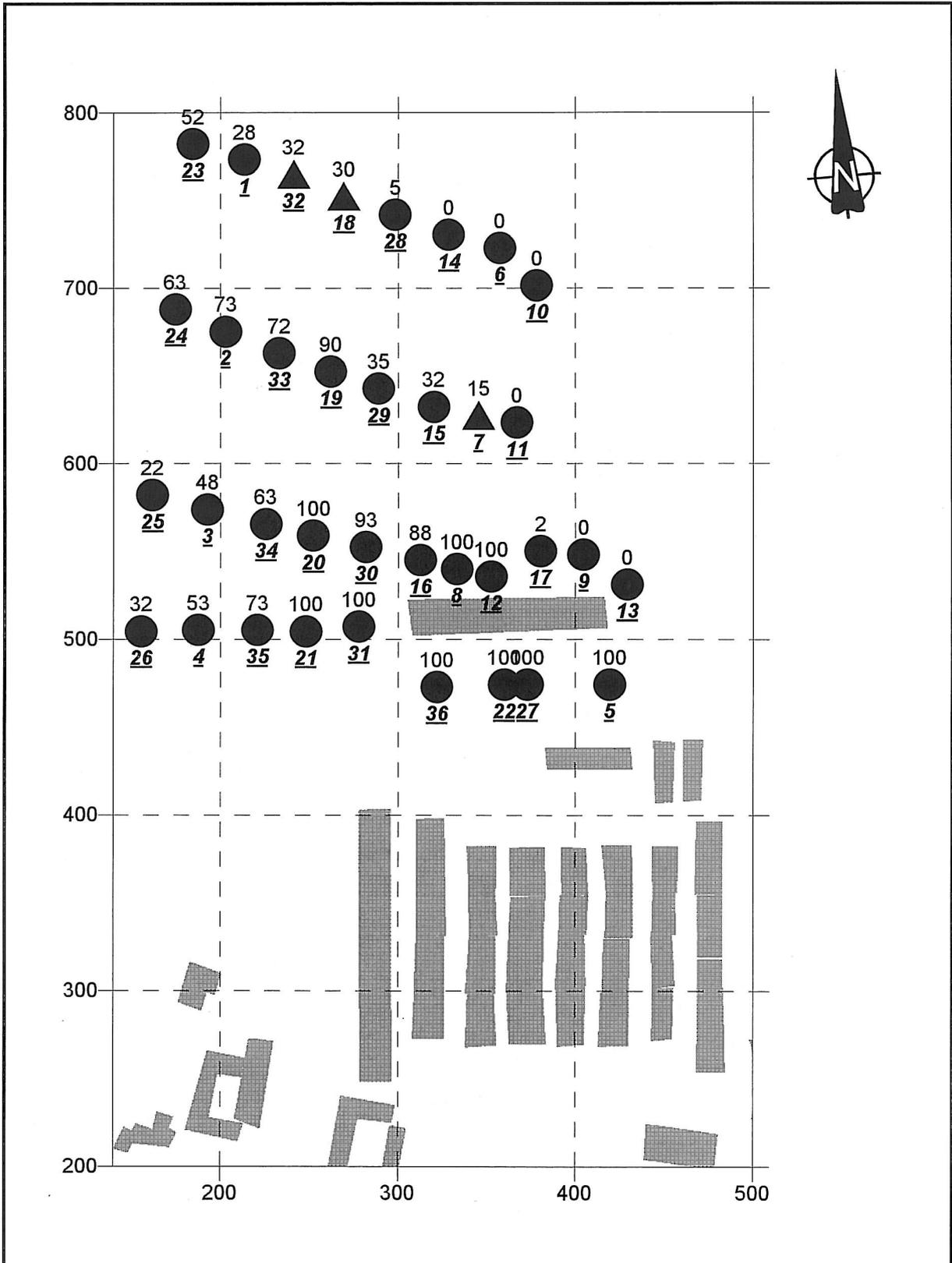


Abb. 3.4: Fahne 2: Geruchshäufigkeiten bei der Begehung in % der Zeit (Zahlenwerte oben), Nummer der Begehung (unten, unterstrichen) sowie Information über die Trefferquote der Modellkombination MISKAM/LASAT in folgender Art und Weise:  
 Schwarzer Kreis am Begehungspunkt=Treffer  
 Schwarzes Viereck am Begehungspunkt=Überschätzung  
 Schwarzes Dreieck am Begehungspunkt=Unterschätzung.

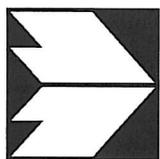
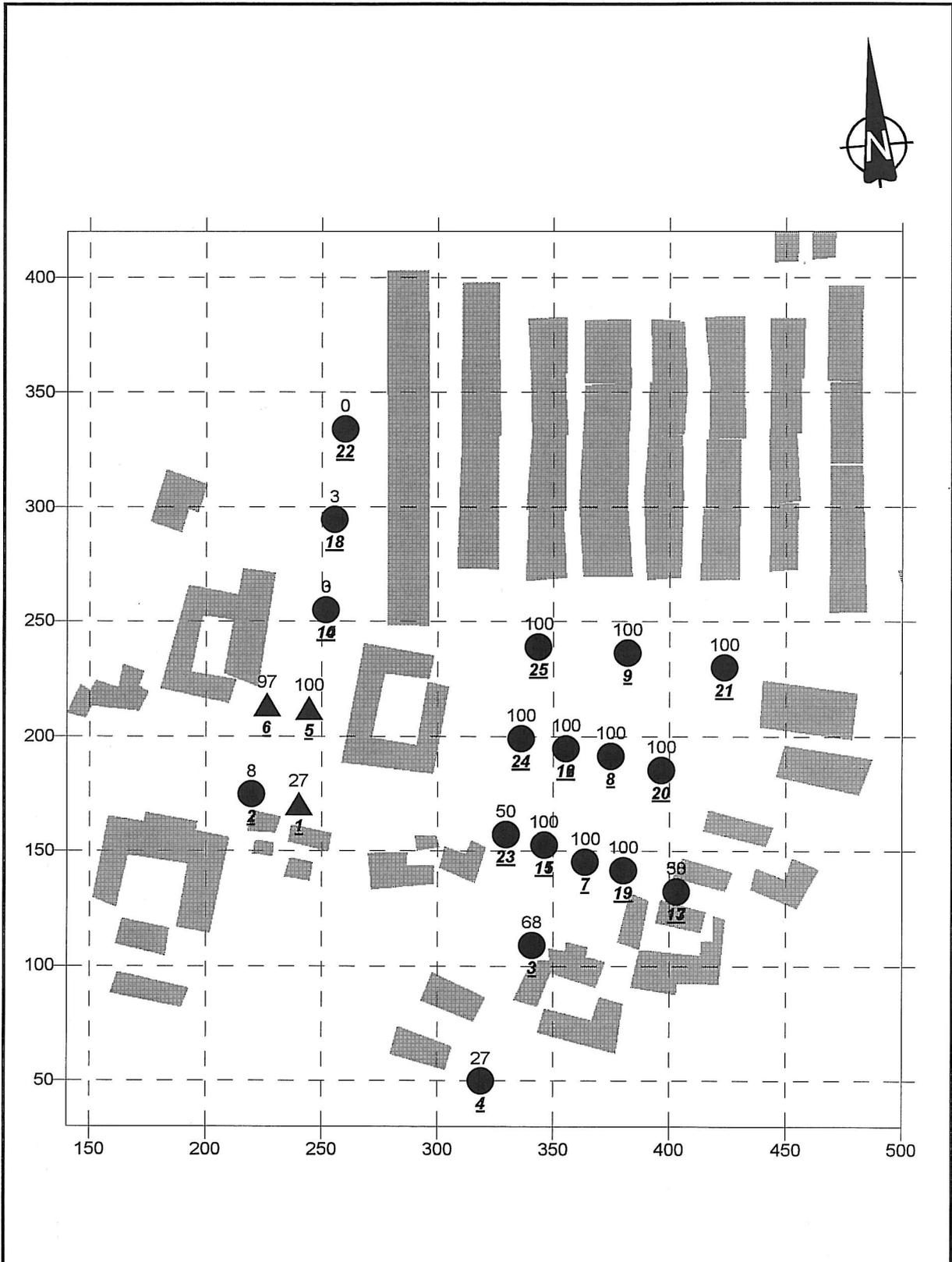


Abb. 3.5: Fahne 3: Geruchshäufigkeiten bei der Begehung in % der Zeit (Zahlenwerte oben), Nummer der Begehung (unten, unterstrichen) sowie Information über die Trefferquote der Modellkombination MISKAM/LASAT in folgender Art und Weise:

- Schwarzer Kreis am Begehungspunkt=Treffer
- Schwarzes Viereck am Begehungspunkt=Überschätzung
- Schwarzes Dreieck am Begehungspunkt=Unterschätzung.

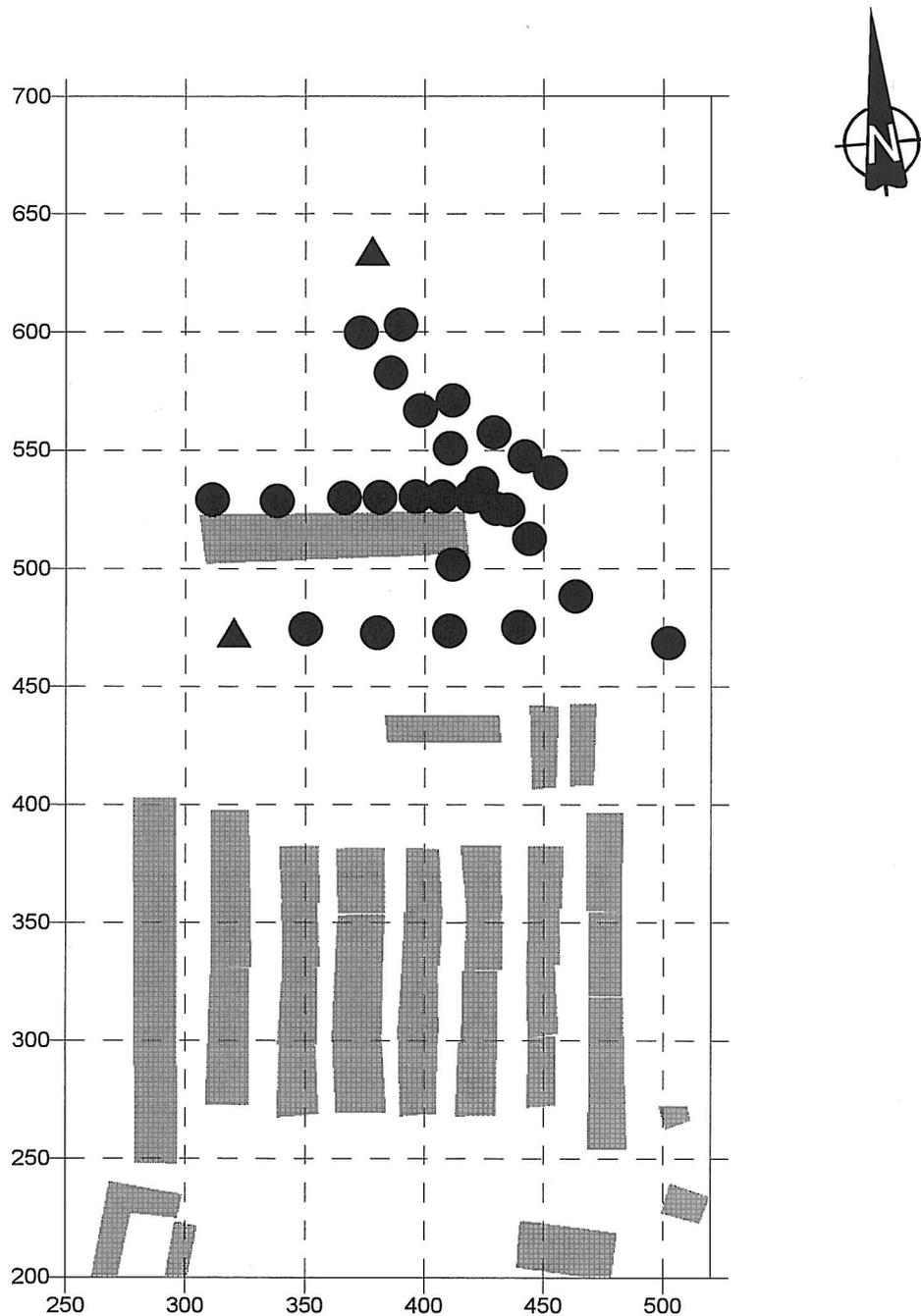


Abb. 3.6: Fahne 4: Information über die Trefferquote der Modellkombination MISKAM/LASAT in folgender Art und Weise:  
 Schwarzer Kreis am Begehungspunkt=Treffer  
 Schwarzes Viereck am Begehungspunkt=Überschätzung  
 Schwarzes Dreieck am Begehungspunkt=Unterschätzung.  
 Angaben zur Geruchshäufigkeit bei der Begehung sowie Nummer der Begehung können aus Gründen der Übersichtlichkeit hier nicht dargestellt werden.



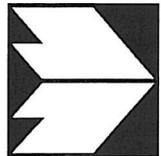
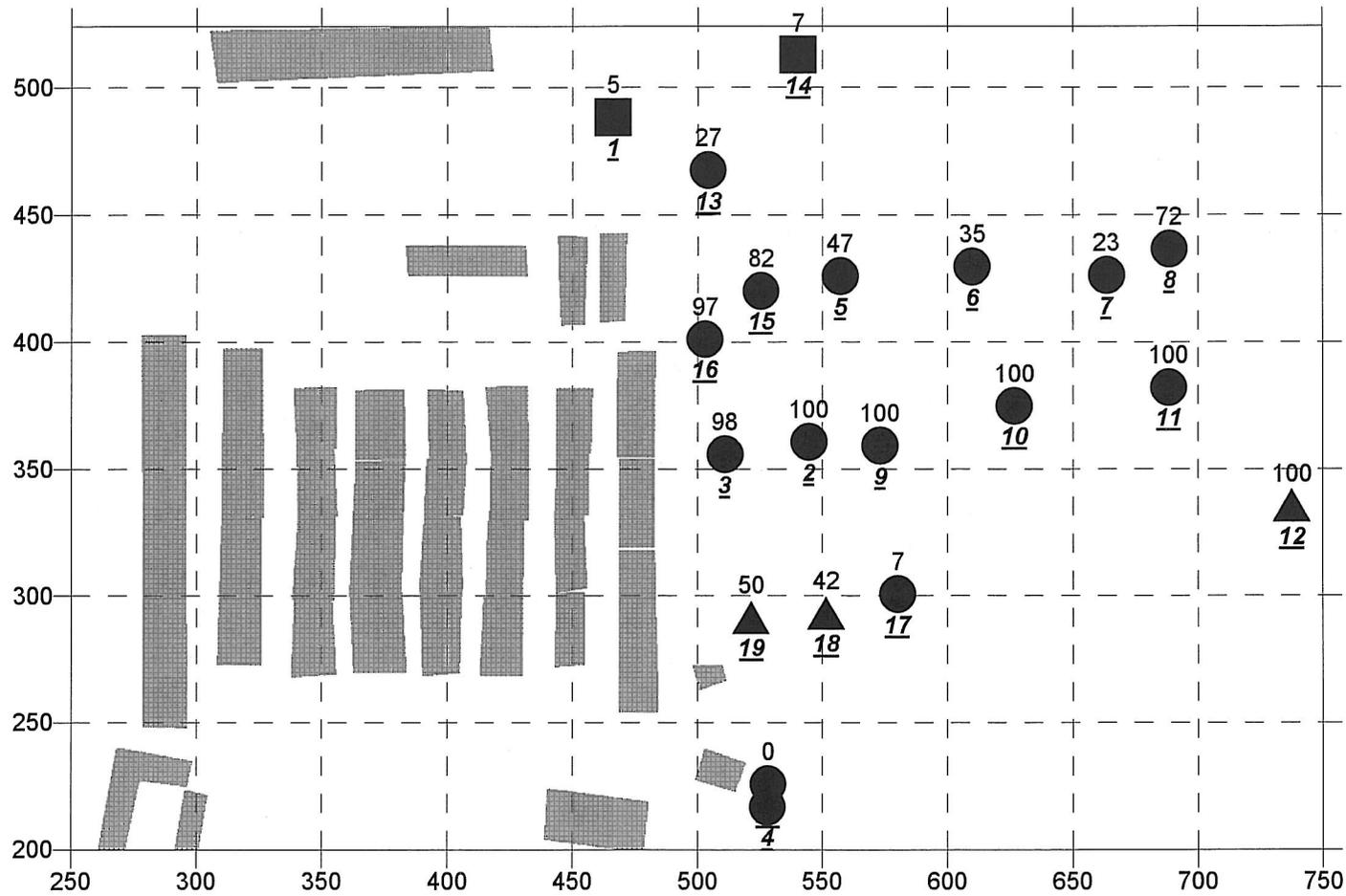


Abb. 3.7: Fahne 5: Geruchshäufigkeiten bei der Begehung in % der Zeit (Zahlenwerte oben), Nummer der Begehung (unten, unterstrichen) sowie Information über die Trefferquote der Modellkombination MISKAM/LASAT in folgender Art und Weise:  
 Schwarzer Kreis am Begehungspunkt=Treffer  
 Schwarzes Viereck am Begehungspunkt=Überschätzung  
 Schwarzes Dreieck am Begehungspunkt=Unterschätzung.

Bei Fahne 1 wird die Geruchsbelastung an insgesamt 5 Punkten überschätzt. Diese Punkte befinden sich allesamt im westlichen Randbereich der Fahne. Das Ergebnis läßt vermuten, daß die Fahnenbreite vom Modell größer als in der Realität wiedergegeben wurde. Am östlichen Rand der Fahne ist die Trefferquote 100 % (**Abb. 3.3**).

Die Ergebnisse der 2. Begehung (Fahne 2) werden an insgesamt 3 Punkten mit dem Modell unterschätzt, an den anderen Punkten ergibt sich eine Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung. Die Bereiche mit Unterschätzung befinden sich für diesen Fall im östlichen Bereich der Fahne 2, was bedeuten könnte, daß entweder der Fahnenrand bei der Modellierung weiter westlich lag oder aber eine zu kurze Fahne modelliert wurde. Über die Fahnenbreite der Geruchswahrnehmung lassen sich für diesen Fall keine Aussagen ableiten, da der westliche Fahnenrand bei der Begehung nicht erfaßt wurde (**Abb. 3.4**).

Bei den Fahnen 3 bis 5 treten ebenfalls im Fahnenrandbereich vereinzelt Unterschätzungen oder Überschätzungen auf (**Abb. 3.5 bis 3.7**). Insgesamt wird jedoch eine hohe Trefferquote erreicht.

Die Einzelergebnisse zeigen allgemein, daß die größten Unsicherheiten in der Modellierung am Fahnenrand der Geruchsfahne zu suchen sind. Dies muß bei der Bewertung der Modellierungsergebnisse unbedingt berücksichtigt werden. Tatsache ist, daß bei den vorliegenden Begehungsdaten die Fahnenrandbereiche unterrepräsentiert sind. So wurde u. a. das Fahnenende bei keiner der Begehungen erfaßt. Damit liegen viele Begehungspunkte sicher innerhalb der Geruchsfahne, was bei dem verwendeten Auswerteverfahren entsprechend GIRL („Treffer“ oder „kein Treffer“) eine hohe Trefferquote impliziert. Dies bedeutet wiederum, daß eine theoretische Umverteilung der Begehungspunkte in Richtung der Fahnenrandbereiche die Trefferquote deutlich verringern könnte. Somit wird eingeschätzt, daß die Begehungsergebnisse von Gommla sich nur eingeschränkt zu Modellvalidierungen eignen. Ein weiterer Nachteil dieser Daten liegt darin, daß aufgrund der Vielfältigkeit der Emissionen der Anlage diese nicht parallel zu den Begehungen erfaßt werden konnten. Die aushilfsweise aus der Literatur abgeleiteten und in den Ausbreitungsrechnungen verwendeten Emissionen sind daher mit gewissen Unsicherheiten behaftet, die im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit nicht quantifiziert werden können.

## FAZIT

Beim Vergleich Begehung/Rechnung wurde mit LASAT (ohne Berücksichtigung von Gebäuden) eine Trefferquote von 83 %, mit dem Programmsystem MISKAM/LASAT (mit Gebäudeberücksichtigung) eine Trefferquote von 87 % erreicht. Somit ist für diese Daten eine

gute Übereinstimmung zwischen Berechnung und Begehung gegeben. Es wurde aber auch festgestellt, daß die Gommla-Begehungsdaten nur bedingt für eine „echte“ Modellvalidierung entsprechend GIRL geeignet sind.

#### 4 VERTIEFENDE LITERATURRECHERCHE ZUR PROBLEMATIK DER FLUKTUATIONSAKTOREN BEI VERSCHIEDENEN QUELLTYPEN

Der im Forschungsbericht (Lohmeyer et al., 1998) benutzte Fluktuationsfaktor wurde definiert als das Verhältnis des 90-Perzentilwertes  $c_{90}$  zum Mittelwert  $\bar{c}$ , da hierdurch die Anforderungen der Geruchsimmissionsrichtlinie, die als Grundlage dienen, erfüllt werden (Definition der Geruchsstunde). Die Bandbreite der ermittelten Faktoren reichte bei Punktquellen von ca. 1 bis 4. Es wurde aufgrund der geringen Anzahl von Einzeluntersuchungen keine weitere Auswertung bezüglich der Abhängigkeit der Werte von einzelnen Parametern (z. B. Lage des Meßpunktes bzgl. Fahnenachse, Abstand zur Quelle, atmosphärische Stabilität) vorgenommen. Im Sinne der angestrebten gutachterlichen Verwendung der Modellergebnisse wurde die obere Grenze der gefundenen Faktoren zur Anwendung bei der Modellrechnung empfohlen.

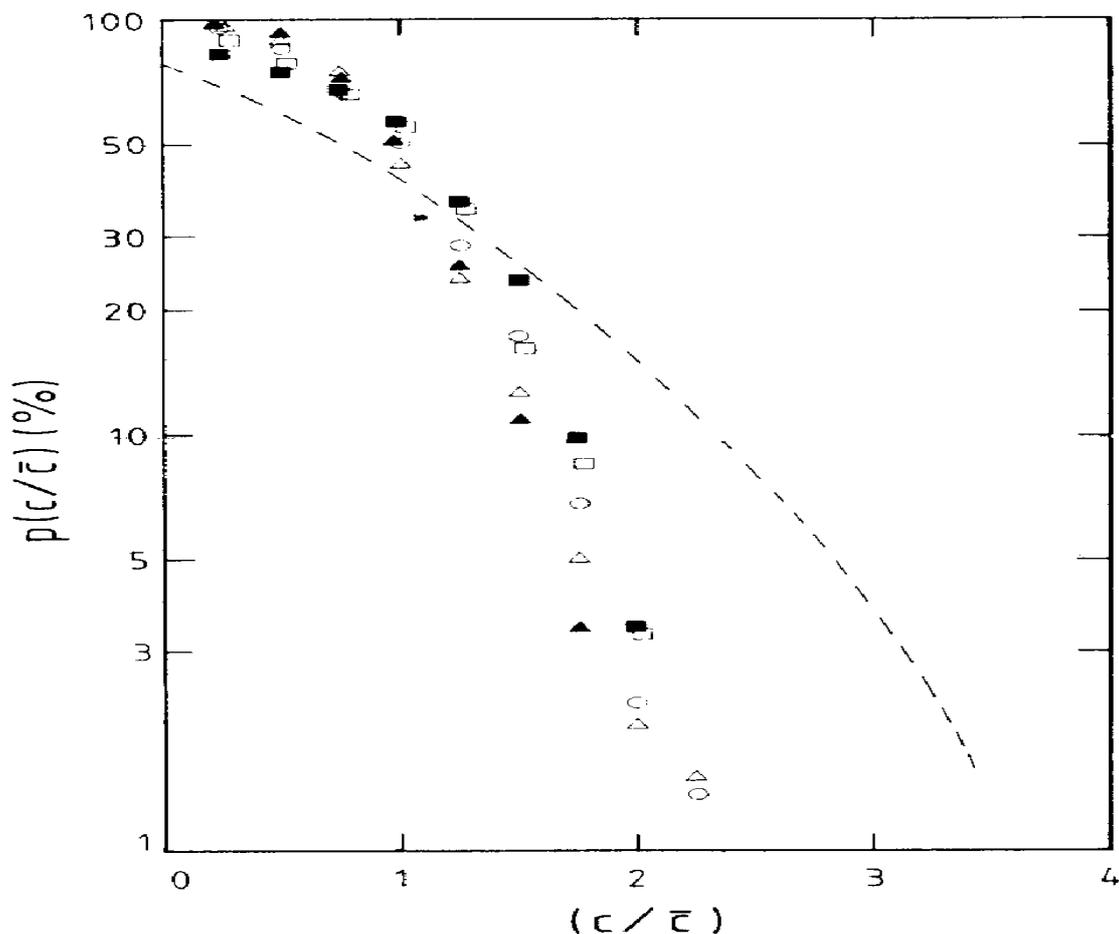
Die damals ausgewerteten Daten stammten ausnahmslos von Freilandexperimenten und Windkanaluntersuchungen, die die Emissionen aus einer definierten Punktquelle freisetzen. Innerhalb des landwirtschaftlichen Sektors existieren jedoch auch Flächenquellen, die unter Umständen im Nahbereich ein anderes Fluktuationsverhalten als Punktquellen aufweisen können. Als „echte“ Flächenquellen in der Landwirtschaft sind z.B. Güllebehälter oder Flächen zur Ausbringung von Gülle zu nennen. Daneben gibt es Quellen, die nicht eindeutig als Flächenquellen zu identifizieren sind, jedoch aufgrund der Überlagerung von mehr oder weniger ausgedehnten Punktquellen ähnlich wie Flächenquellen behandelt werden können (z.B. Freisetzung aus vielen Fensteröffnungen oder Offenställe). Ab welchem Abstand zur einzelnen Quelle diese ihren Charakter als Punktquelle verloren hat und durch Überlagerung der Abluffahne mit anderen Abluffahnen eher der Charakter einer Flächenquelle entsteht, kann hier nicht allgemeingültig definiert werden und hängt stark von den Randbedingungen des Einzelfalls ab.

Die im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit durchgeführte Recherche nach Informationen zum Faktor  $c_{90}/\bar{c}$  bei Flächenquellen erbrachte kein verwertbares Ergebnis, d. h. es wurde keine Untersuchung an Flächenquellen gefunden, aus der ein Wert für den Faktor abgeleitet werden konnte.

Nachfolgend sind die Ergebnisse der wesentlichen Literaturstellen in Kurzform aufgeführt.

1. Sawford, Frost und Allan (1985) ermittelten bei einem Freilandexperiment mit zwei Punktquellen, die zwischen 5 m und 40 m auseinander lagen und in 0.5 m über Grund

zwei verschiedene Tracergase emittierten, Fluktuationsfaktoren  $c_{90} / \bar{c}$  zwischen 3.1 und 2.2 (je nach Abstand zur Quelle und Lage zur Fahnenachse), wenn nur eine Quelle emittierte. Im Zentrum der Fahne wurde in 25 m Abstand zur Punktquelle ein Fluktuationsfaktor von 2.4 gemessen. Dieser Wert reduzierte sich auf 1.6 (im Zentrum der überlagerten Fahnen bei einer Quellentfernung von 25 m und einer Separation der Quellen von 5 m), wenn beide Quellen zusammen emittierten. Dieser Fall ist in der folgenden Abbildung aufgetragen (entnommen aus Sawford et al., 1985).



Die Abszisse zeigt die mit der mittleren Konzentration  $\bar{c}$  normierte Momentankonzentration  $c$ . Auf der Ordinate ist die kumulierte Wahrscheinlichkeit in Prozent aufgetragen. Die gestrichelte Linie zeigt das Ergebnis für eine einzelne Punktquelle, während die Symbole das Ergebnis für die Überlagerung von 2 Punktquellen zeigt. Der Fluktuationsfaktor  $c_{90} / \bar{c}$  für den hier betrachteten speziellen Fall kann hier am Schnittpunkt der horizontalen Linie bei  $p = 10\%$  mit der jeweiligen Kurve abgelesen werden. Man erkennt an dieser Abbildung, daß bei einer Überlagerung der Fahnen von 2 Punktquellen, die 5 m von-

einander entfernt emittieren, in einer Entfernung von 25 m zur Quelle der Fluktuationsfaktor kleiner ist als bei einer Punktquelle allein. Ob und wie sich dieses Verhältnis mit geänderter Separation der Quellen und anderen Abständen zur Quelle ändert, kann aus der Veröffentlichung nicht entnommen werden.

2. Fackrell und Robins (1982) führten Windkanaluntersuchungen durch, um den Einfluß der Quellgröße auf die Konzentrationsfluktuationen zu ermitteln. Sie untersuchten eine abgehobene und eine bodennahe Quelle. Aus den Angaben zu den Modellmaßen ergibt sich, daß relativ kleine Flächenquellen untersucht wurden. Bei der bodennahen Quelle variierte der Durchmesser der Quelle um einen Faktor 5. Die Autoren fanden bei der bodennahen Quelle nur eine geringe Abhängigkeit der Intensität der Fluktuationen ( $\sigma_c/c$ ) von der Quellgröße. Dies ist möglicherweise ein Effekt der relativ kleinen Quelldimensionen. Bei der abgehobenen Quelle konnte ein deutlicher Einfluß der Quelldimensionen auf die Intensität der Fluktuationen gemessen werden. Die Fluktuationsfaktoren ließen sich aus der Veröffentlichung nicht entnehmen.
3. Die Ergebnisse der abgehobenen Quelle bei Fackrell und Robins (1982) konnten von Thomson (1990) mit einem stochastischen Modell nachvollzogen werden. Mit diesem Modell wurden auch Simulationen der Intensität der Konzentrationsfluktuationen ( $\sigma_c/c$ ) für verschiedene Dimensionen einer Flächenquelle durchgeführt. Hierbei variierte die Flächengröße um einen Faktor 1000. Die Intensitäten waren bei der größten Quelle um einen Faktor 10 niedriger als bei der kleinsten Quelle. Auch hier konnten keine Fluktuationsfaktoren abgeleitet werden.
4. De Haan (1999) beschreibt ein neuentwickeltes Ausbreitungsmodell, welches in der Lage ist, die Konzentrationsfluktuationen zu modellieren, ohne eine statistische Verteilung vorzugeben. Aus den Ergebnisdarstellungen lassen sich Fluktuationsfaktoren  $c_{90} / \bar{c}$  zwischen 2 und 3 je nach Entfernung zwischen Punktquelle und Aufpunkt ablesen. Angaben zu Flächenquellen werden nicht gemacht, daher wird dieses Ergebnis hier nur der Vollständigkeit halber angegeben.

Aus den herangezogenen Literaturstellen läßt sich keine quantifizierbare Aussage zu einem Fluktuationsfaktor für Flächenquellen ableiten. Dies liegt hauptsächlich daran, daß bei denjenigen Untersuchungen, die sich explizit mit Flächenquellen befassen (Fackrell und Robins, Thomson), die Angaben nicht als Häufigkeitsverteilung vorliegen, sondern nur als Angabe zur Fluktuationsintensität, aus der der hier gesuchte Fluktuationsfaktor nicht ableitbar ist. Lediglich die Untersuchung von Sawford et al. (1985) zeigt eine Abhängigkeit des

Fluktuationsfaktors davon, ob eine einzelne Punktquelle betrachtet wird oder ob 2 Punktquellen überlagert werden. Dies sind jedoch nur Einzelfalluntersuchungen und stellen somit keine systematische Aufarbeitung der Problematik dar. Das Ergebnis dieser Einzelfallbetrachtungen läßt sich nicht auf die Überlagerung von vielen Punktquellen oder die Verhältnisse bei einer ausgedehnten Flächenquelle übertragen.

Die in der Realität vorhandenen Ausprägungen von Flächenquellen bzw. überlagerten Punktquellen sowie die jeweiligen meteorologischen Bedingungen vor Ort sind sehr vielgestaltig. Eine Übertragung des hier nur in einer Einzelfalluntersuchung gefundenen Zusammenhangs zwischen Fluktuationsfaktor und „Flächenquelle“ auf die Modellierung mit der Modellkombination MISKAM/LASAT ist aus diesem Grund nicht zulässig. Für die gutachterliche Anwendung empfehlen wir daher, weiterhin den Faktor 4 für alle Quelltypen anzusetzen. Dieser Faktor gilt sowohl beim Modell LASAT allein als auch bei der Modellkombination MISKAM/LASAT.

## 5 BERECHNUNG DEFINIERTER EINZELFÄLLE ENTSPRECHEND GIRL

### 5.1 Allgemeines

Die bei Lohmeyer et al. (1998) vorgeschlagenen Vorgehensweisen bei der Ermittlung der Geruchs- bzw. Schadstoffbelastung in der näheren Umgebung von bodennahen Quellen sollen im Rahmen dieses Gutachtens für verschiedene „konstruierte“ Fälle angewendet werden. Die Ziele dieser Arbeiten sind:

- a) die Darstellung von individuellen Belastungen bei typischen Emissionsfällen
- b) das Aufzeigen des Einflusses von verschiedenen Umgebungskonstellationen
- c) das Aufbereiten der Eingangsdaten für den Auftraggeber für die Durchführung von eigenen Sensitivitätsbetrachtungen.

Für alle im folgenden beschriebenen Ausbreitungsrechnungen wurde vom Auftraggeber die Wind- und Ausbreitungsklassenstatistik der DWD-Station Dresden-Klotzsche zur Verfügung gestellt (**Abb. 5.1**). Die Hauptwindrichtung an dieser Station ist West. Bei südöstlichen Windrichtungen tritt ein Nebenmaximum auf.

Folgende Fälle wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber betrachtet:

#### I. Bodenquellen

##### Fall 1: Güllelager

Geometrie der Quelle: 25 m lang, 25 m breit, 2 m hoch

Konfiguration Umgebung: Wohnbebauung in 10 m, 50 m und 100 m Entfernung von der Quelle in Hauptwindrichtung, Höhe der Wohnbebauung: 8 m (**Abb. 5.2** oben)

Aufgabe: Berechnung der Geruchsbelastung entsprechend GIRL (GIRL Sachsen, 1993)

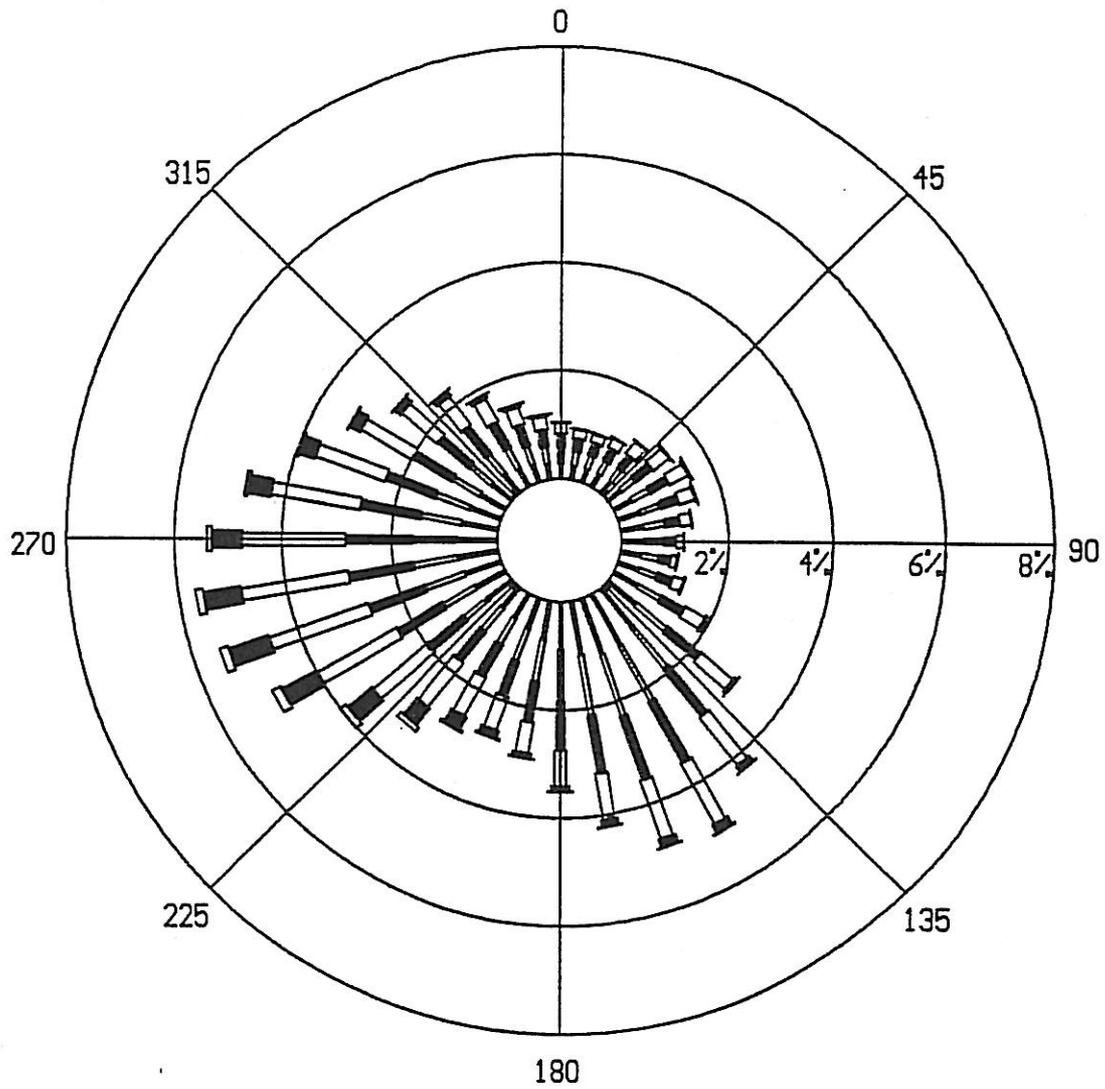
##### Fall 2: Dreiecksmiete

Geometrie der Quelle: 25 m lang, 3 m breit, 2 m hoch

Konfiguration Umgebung: wie bei Fall 1 (**Abb. 5.2** unten)

Aufgabe: wie bei Fall 1

# Dresden-Klotzsche



Station : DD-Klotzsche  
Zeitraum : 1981 - 1990  
Höhe ü.G. : 222 m

- kleiner 1.4 m/s
- ▬ 1.4 bis 2.3 m/s
- ▬ 2.4 bis 3.8 m/s
- ▬ 3.9 bis 6.9 m/s
- ▬ 7.0 bis 10 m/s
- ▬ größer 10 m/s

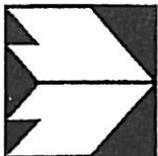


Abb. 5.1: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung an der DWD-Station Dresden-Klotzsche.

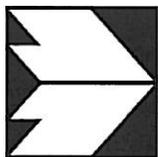
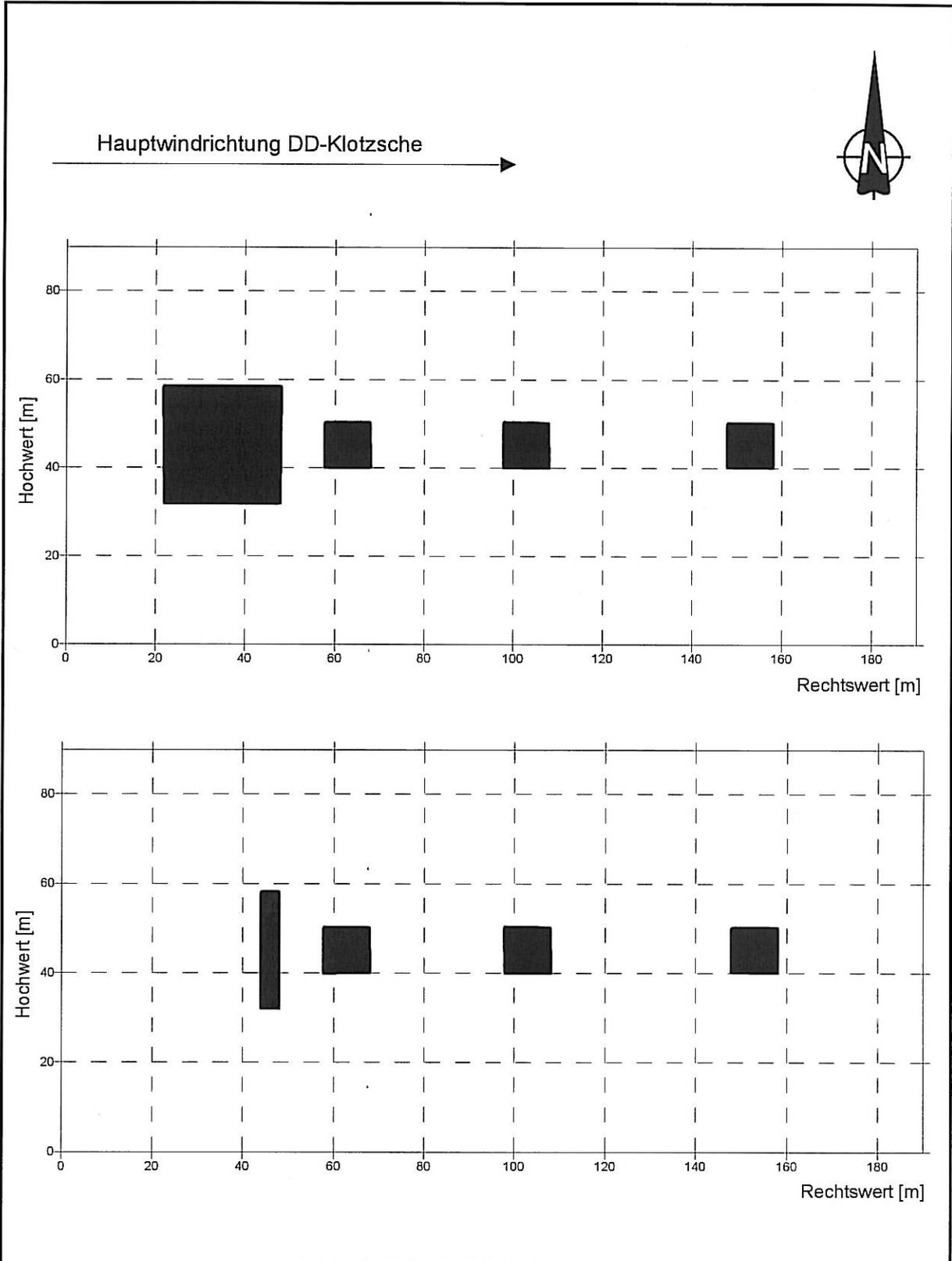


Abb. 5.2: Darstellung der Lage der Quelle (jeweils linkes Gebäude [schwarz]) sowie der Wohnhäuser (3 rechte Gebäude [schwarz]) bei den zu betrachtenden Fällen 1 (oben) und 2 (unten) (Lageplan).

## II. Stall

Fall 3: ohne mechanische Entlüftung

Geometrie der Quelle: Länge 50 m, Breite 10 m, Höhe 6 m

Konfiguration Umgebung: wie bei Fall 1 (**Abb. 5.3** oben)

Aufgabe: wie bei Fall 1

Fall 4: mit mechanischer Entlüftung

Geometrie der Quelle: wie bei Fall 3

Konfiguration Umgebung: wie bei Fall 1 (**Abb. 5.3** oben)

Aufgabe: wie bei Fall 1

Fall 5: mit mechanischer Entlüftung

Geometrie der Quelle: wie bei Fall 3

Konfiguration Umgebung: wie Fall 3, nur mit Bewuchsstreifen vor der Stallanlage (**Abb. 5.3** unten)

Aufgabe: wie bei Fall 1

Fall 6: mit mechanischer Entlüftung

Geometrie der Quelle: wie bei Fall 3

Konfiguration Umgebung: Waldgebiet um Stall herum, Abstand Wald/Stall = 10 m, sonst wie Fall 4 (**Abb. 5.4**)

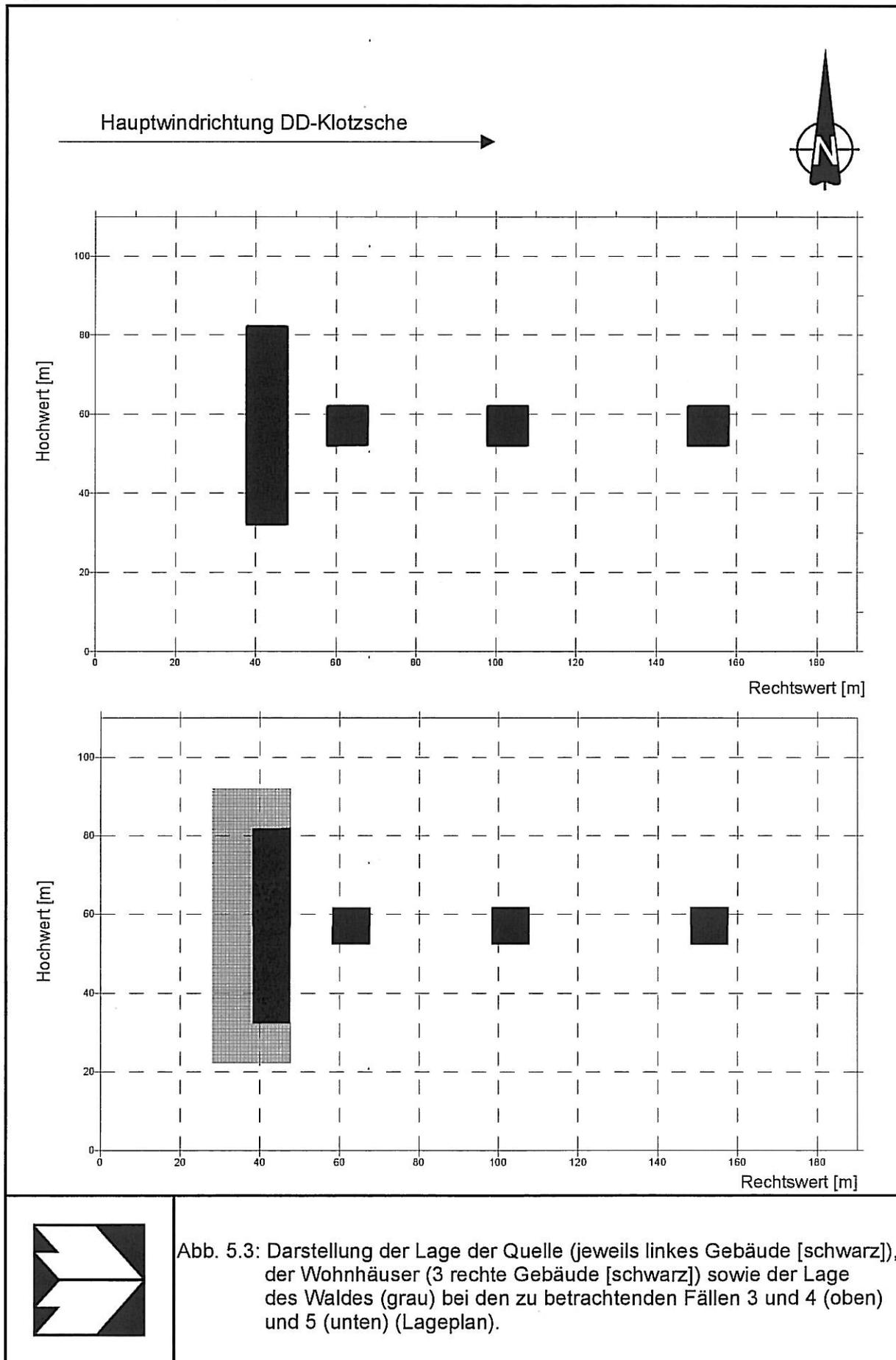
Aufgabe: Berechnung der Ammoniakkonzentrationswerte an den Baumkronen

Fall 7: mit mechanischer Entlüftung

Geometrie der Quelle: wie bei Fall 3

Konfiguration Umgebung: wie Fall 3, nur mit 10 %iger Neigung des Gebietes

Aufgabe: wie bei Fall 1



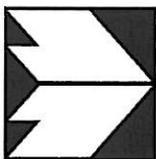
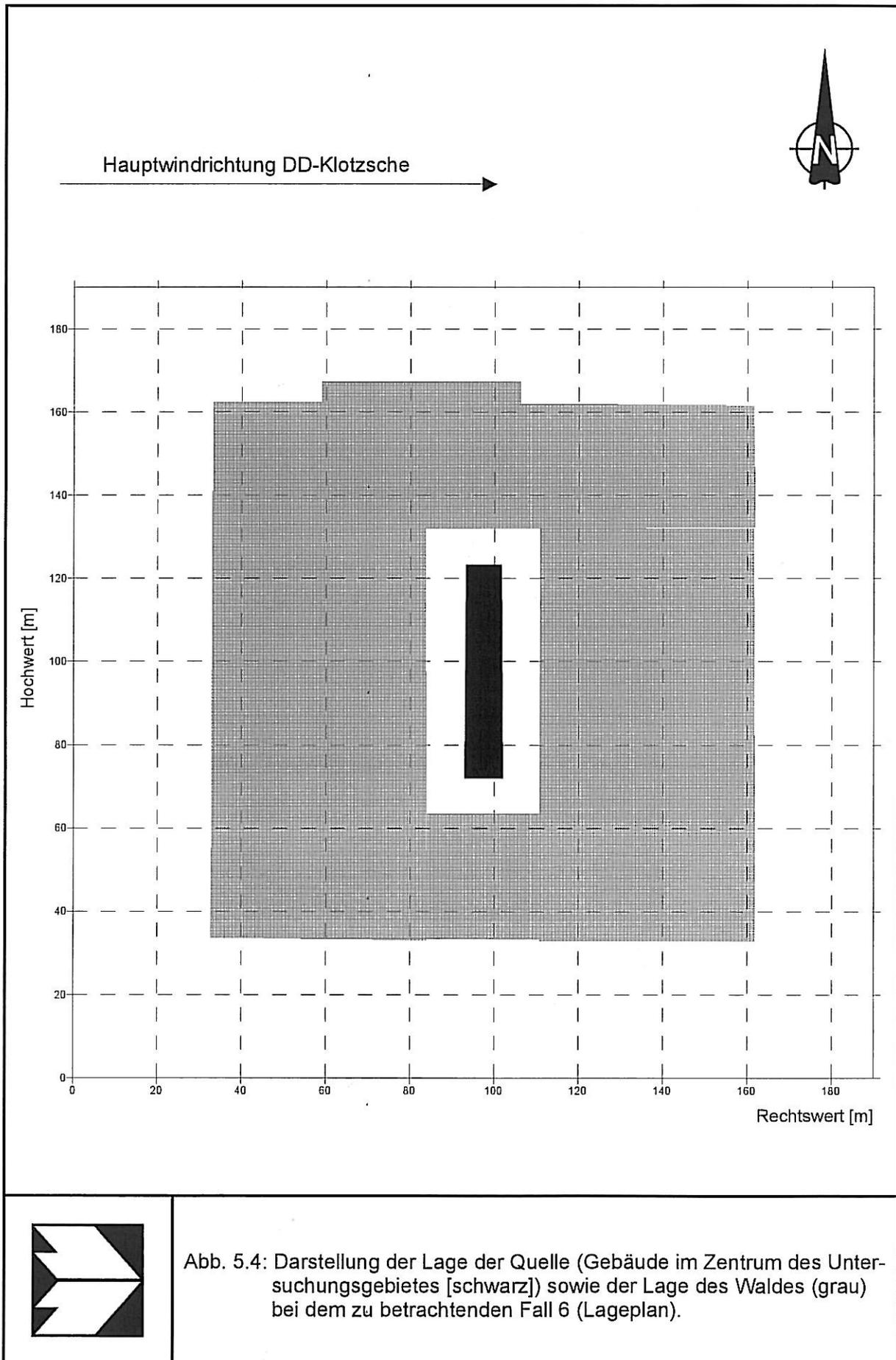


Abb. 5.4: Darstellung der Lage der Quelle (Gebäude im Zentrum des Untersuchungsgebietes [schwarz]) sowie der Lage des Waldes (grau) bei dem zu betrachtenden Fall 6 (Lageplan).

## 5.2 Emissionen

Die anzusetzenden Emissionsdaten wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Folgende Werte wurden vorgegeben:

### I Güllebehälter-Geruch (Fall 1)

- Emissionen abhängig von der Windgeschwindigkeit
- Emission = 0.2 GE/(m<sup>2</sup> · s) bei einer Windgeschwindigkeit von 0.1 m/s und einer Emissionskonzentration von 2.0 GE/m<sup>3</sup>

### II Miete-Geruch (Fall 2)

- Spezifische Geruchsstoffemission: 400 000 GE/(m<sup>2</sup> · h), bei A = 125 m<sup>2</sup> 13 890 GE/s

### III Stall mit und ohne Zwangslüftungs-Geruch (Fälle 3, 4, 5 und 7)

- Geruchsstoffemissionen = 816 GE/s
- Sommerlufrate = 15 360 m<sup>3</sup>/h
- Austrittsgeschwindigkeit bei Sommerlufrate = 10 m/s
- Anzahl der Abluftstutzen = 2
- Ableithöhe: 1.5 m über First (entspricht 7.5 m über Grund)
- Ablufttemperatur = 20 °C

### IV Stall mit Zwangslüftung - Ammoniak (Fall 6)

- Ammoniakemission = 2.3 g/(h · GV)
- 0.3 GV/Tier
- 150 Tiere
- Sommerlufrate = 18 000 m<sup>3</sup>/h
- Austrittsgeschwindigkeit bei Sommerlufrate = 10 m/s
- Anzahl der Abluftstutzen = 2
- Ablufttemperatur = 20 °C.

zu I)

Der offene Güllebehälter stellt eine windinduzierte Geruchsquelle dar, deren Emissionen mit zunehmender Windgeschwindigkeit größer wird. Nach Bliss et al. (1995) besteht bei laminaren Strömungsverhältnissen zwischen der Windgeschwindigkeit und der Emission folgender Zusammenhang:

$$\text{Emissionen (E)} \sim \sqrt{\text{Windgeschwindigkeit}(u)}$$

Somit ergibt sich folgende Gleichung für die Emissionen:

$$\frac{E}{E_0} = \sqrt{\frac{u}{u_0}}$$

wobei  $E_0$  die Emission bei einer Referenzwindgeschwindigkeit  $u_0$  darstellt. Im vorliegenden Fall waren  $E_0$  und  $u_0$  vom Auftraggeber vorgegeben (siehe vorn), so daß die Emissionen berechnet werden konnten.

Nach o. g. Formel ergab sich nach Verschneidung mit der Windstatistik von Klotzsche ( $\sqrt{u} = 2.99$  m/s) folgende mittlere spezifische Gesamtemission der Anlage:

$$1.1 \text{ GE}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}) - \text{entspricht } 685 \text{ GE/s.}$$

Bei der Ausbreitungsrechnung wurde diese Quelle als Volumenquelle oberhalb des Güllelagers simuliert, welche zunächst die Korrelation zwischen Meteorologie und Emissionen beinhaltet. In einer weiteren Rechnung wurde zum Vergleich dazu mit o. g. mittleren Emissionen gerechnet.

zu II)

Die o. g. mittleren Emissionen wurden gleichmäßig in Form von Volumenquellen um die Miete herum verteilt.

zu III)

Beim Stall ohne Zwangslüftung (Fall 3) wurden die Emissionen gleichmäßig über alle Seitenwände des betrachteten Stalles verteilt. In den Varianten mit Zwangslüftung (Fälle 4, 5 und 7) erfolgte die Emission über jeweils 2 Abluftstutzen mit verschiedenen Lüftungsraten. Ausgehend von der Verteilung der Luftraten entsprechend KTBL-Arbeitspapier 126 (1989) (**Tab. 5.1**) wurde in den hier betrachteten Fällen mit insgesamt 3 verschiedenen Lüftungsraten gerechnet. (**Tab. 5.2**), wobei jeweils die Sommer- und die hohe Luftrate sowie die kleine und die Winterluftrate zu einer Luftrate zusammengefaßt wurden.

Luftrate	Jahresstunden [%]
Sommerluftrate (100 % = Maximum)	10
Hohe Luftrate (80 % vom Maximum)	20
Mittlere Luftrate (40 % vom Maximum)	40
Kleine Luftrate (20 % vom Maximum)	20
Winterluftrate (10 % vom Maximum)	10

Tab. 5.1: Verteilung der Luftraten entsprechend KTBL-Arbeitspapier (1989).

Luftrate	Anteil an Sommerluftrate [%]	Anteil von Jahresstunden [%]
Hohe Luftrate	80	30
Mittlere Luftrate	40	40
Niedrige Luftrate	10	30

Tab. 5.2: Verteilung der Luftraten für die Ausbreitungsrechnung bei den Fällen 4, 5 und 7.

Abgasfahnenüberhöhungen wurden entsprechend VDI 3471 („Emissionsminderung Tierhaltung - Schweine“, 1986) berechnet. Die Emissionen wurden entsprechend den Vorgaben des Auftraggebers nicht variiert, sondern als mittlere Emission angenommen. Am Ende der Ausbreitungsrechnung wurden die 3 Ergebnisse entsprechend dem jeweiligen Zeitanteil gewichtet gemittelt.

zu IV:

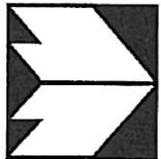
Die zeitliche Verteilung der Lüftungsraten erfolgte ebenfalls wie in **Tab. 5.2** beschrieben, die Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung wurde ebenso mit Hilfe der Vorschrift der Richtlinie VDI 3471 („Emissionsminderung Tierhaltung - Schweine“, 1986) durchgeführt. Für die mittlere Ammoniakemission wurde aus dem Angaben des Auftraggebers ein Betrag von 28.75 mg NH<sub>3</sub>/s errechnet.

Die **Tab. 5.3** zeigt eine zusammenfassende Übersicht über die angesetzte Emission sowie Emissionsbedingungen.

### 5.3 Vorgehensweise

Die Ausbreitungsrechnungen erfolgten für alle zu betrachtenden Fälle mit der Kombination der Modelle MISKAM und LASAT. Zunächst wurden dreidimensionale Strömungsfelder

Fall	Quelle	Quellart	modellierte Emissionshöhe über Grund [m]	Austrittsgeschwindigkeit [m/s]	zu berechnender Schadstoff	mittlere Emission
1	Güllelager	Volumenquelle	2...4	---	Geruch	685 GE/s
2	Miete	Volumenquelle	0...4	---	Geruch	13890 GE/s
3	Stall	Volumenquelle (Seitenwandlüftung ohne Impuls)	0...6	---	Geruch	816 GE/s
4, 5, 7	Stall	2 Punktquellen	7.5	8.03 (Hohe LR) 4.01 (Mittlere LR) 1.00 (Niedrige LR)	Geruch	816 GE/s
6	Stall	2 Punktquellen	7.5	8.03 (Hohe LR) 4.01 (Mittlere LR) 1.00 (Niedrige LR)	Ammoniak	28.75 mg NH <sub>3</sub> /s



Tab. 5.3: Zusammenfassende Übersicht über die Emissionen der zu betrachtenden Einzelfälle.  
(LR = Lüftungsrate).

(Windrichtung und Windgeschwindigkeit) für den Fall der neutral geschichteten Atmosphäre mit dem mikroskaligen Strömungsmodell MISKAM berechnet. Hierbei wurden die einzelnen Gebäude und Quellen mit ihren Abmessungen (Höhe, Grundriß) und Positionen im Gelände explizit berücksichtigt. Bei Fall 6 wurde eine horizontale Auflösung des Rechengitters von 3 m, bei den anderen Fällen um 2 m gewählt. Als Rauigkeitslängen wurden auch in Absprache mit dem Auftraggeber folgende Werte als Standardwerte angesetzt:

Rauhigkeitslänge für Initialwindfeld:  $z_o = 15 \text{ cm}$

Rauhigkeitslänge für Erdboden innerhalb des Gebietes:  $z_o = 15 \text{ cm}$

Rauhigkeitslänge für Dächer und Wände:  $z_o = 5 \text{ cm}$ .

Bei den Fällen 5 und 6 sollten Waldgebiete mitbetrachtet werden. Diese nehmen bei Strömungsbetrachtungen eine Sonderstellung ein, da sie teilweise durchströmbar sind. In der zur Zeit aktuellen MISKAM-Version (Version 3.6) ist die explizite Implementierung solcher Strömungshindernisse jedoch noch nicht vorgesehen. Es besteht aber die Möglichkeit, räumlich veränderliche Rauigkeitslängen ( $z_o$ ) einzugeben. Eine Erhöhung von  $z_o$  im Bereich des Waldes würde dabei eine Reduktion der Windgeschwindigkeit sowie eine Erhöhung der Turbulenz innerhalb des Waldgebietes und an den angrenzenden Flächen mit sich bringen. Dies allein beschreibt jedoch die Strömung innerhalb von Waldgebieten nicht vollständig, da das Strömungsfeld in einem solchen Gebiet sich von Erdboden abhebt (Nullpunktsverschiebung), was im MISKAM nicht explizit modelliert werden kann. Dies führt vor allem bei Betrachtungen im Nahbereich des Waldes zu Fehlern bei der Ausbreitungsrechnung. Aus diesem Grund wurde folgendermaßen vorgegangen:

Die Waldgebiete ( $H = 10 \text{ m}$ ) wurden in den unteren 6 m als undurchlässige Hindernisse simuliert. Gleichzeitig wurde innerhalb der Rechengebiete mit Wald die Rauigkeitslänge für die Wände und Dächer von standardmäßig 5 cm auf 20 cm erhöht. Dies trägt der erhöhten Rauigkeit sowie dem Abheben des Windprofils innerhalb der Waldgebiete Rechnung, wobei die so simulierten Waldgebiete einen sehr dichten Wald mit viel Unterholz darstellen.

Topographische Einflüsse können mit MISKAM standardmäßig nicht berücksichtigt werden. Um dennoch für den Fall 7 (mikroskalige Gebäudeumströmung inklusive topographische Einflüsse) Aussagen abzuleiten, wurden die topographischen Verhältnisse als undurchlässige Hindernisse in das Modell integriert. Dies hat jedoch den Nachteil, daß die Neigung des Geländes nicht allmählich erfolgen kann, sondern das „künstliche“ Stufen im Modell

entstehen, die natürlich von der jeweiligen horizontalen und vertikalen Auflösung abhängig sind.

Die mit MISKAM berechneten Strömungsfelder wurden von dem LASAT-Ausbreitungsmodell, welches die Turbulenz- und Ausbreitungsrechnung für alle Stabilitätszustände der Atmosphäre durchführte übernommen.

Unter Einbeziehung der meteorologischen Zeitreihen der DWD-Station Dresden-Klotzsche erfolgte flächendeckend für jede meteorologische Situation die Bestimmung der Geruchsstoffkonzentrationen sowie deren Häufigkeitsverteilung (bzw. für Fall 6 Ammoniakkonzentrationen).

Bei der Untersuchung von Geruch wurden danach die Geruchswahrnehmungshäufigkeiten mit Hilfe des Faktor 4-Modells (entsprechend Lohmeyer et al., 1998) bestimmt.

Zum Aufzeigen der Einflüsse einzelner Gebäude auf das Strömungsfeld und damit auch auf die Verteilung der Geruchsüberschreitungshäufigkeiten wurde für ein Beispiel (Fall 4) zusätzlich zum Fall mit 3 Gebäuden in Hauptwindrichtung ein Fall berechnet, bei dem das nächstgelegene Gebäude weggelassen wurde.

## 5.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen sind in den **Abb. 5.5** bis **5.12** zu entnehmen.

Die im Fall 1 unter Berücksichtigung der entsprechend der Windgeschwindigkeit variierenden Emissionen berechneten Geruchsüberschreitungshäufigkeiten (GÜH) in Nahbereich des betrachteten Güllelagers sind in **Abb. 5.5a** dargestellt. Im Nahbereich des Güllelagers sind die berechneten Geruchsüberschreitungshäufigkeiten deutlich größer als der Immissionswert für Wohnbebauung entsprechend GIRL (10 % des Jahres). In Hauptwindrichtung, in der sich auch die zu betrachtenden Wohngebäude befinden, reicht die 10 %-Isolinie außerhalb des Einflußbereiches der Gebäude bis in eine Entfernung von ca. 120 m von der Quelle. Die einzelnen Wohngebäude bewirken in Lee zur Hauptwindrichtung eine bessere Verdünnung der Geruchsstoffe, so daß im direkten Bereich der Gebäude die 10 %-Marke bereits ab einer Entfernung von ca. 100 m von der Quelle erreicht wird. Der Verdünnungseffekt der Gebäude in Lee zeigt sich auch deutlich am der Quelle nächstgelegenen Wohnhaus. Die Isolinien für die GÜH werden aufgrund dieses Gebäudes hinter demselben in Richtung Quelle „umgebogen“ (**Abb. 5.5a**), was einer verringerten GÜH in Gebäudenähe im

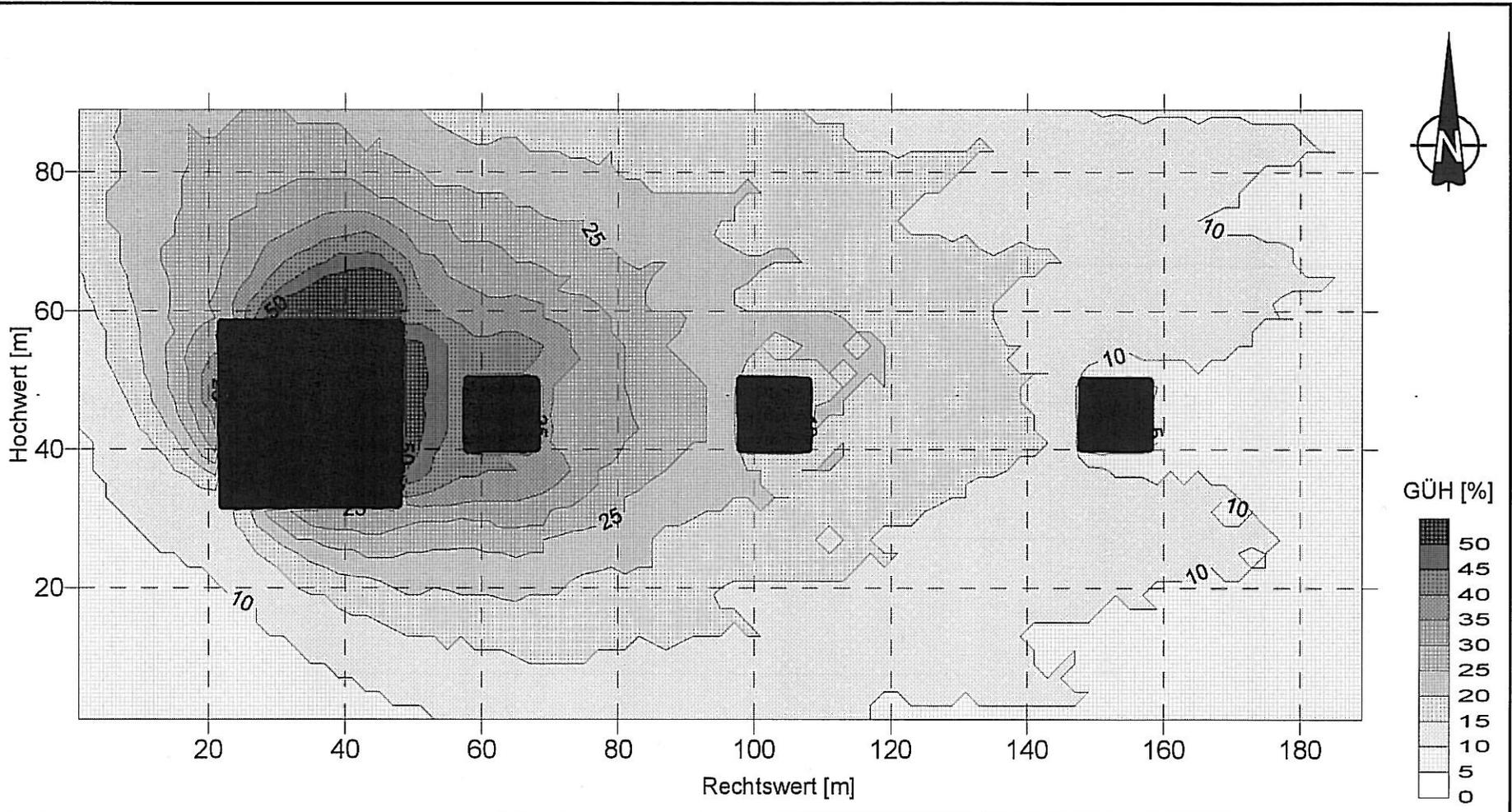


Abb. 5.5a: Fall 1; Berechnete mittlere Geruchsüberschreitungshäufigkeit (GÜH) in Prozent der Jahresstunden. Berechnung mit entsprechend der Windgeschwindigkeit variierenden Emissionen.

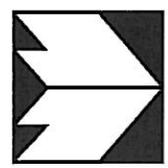
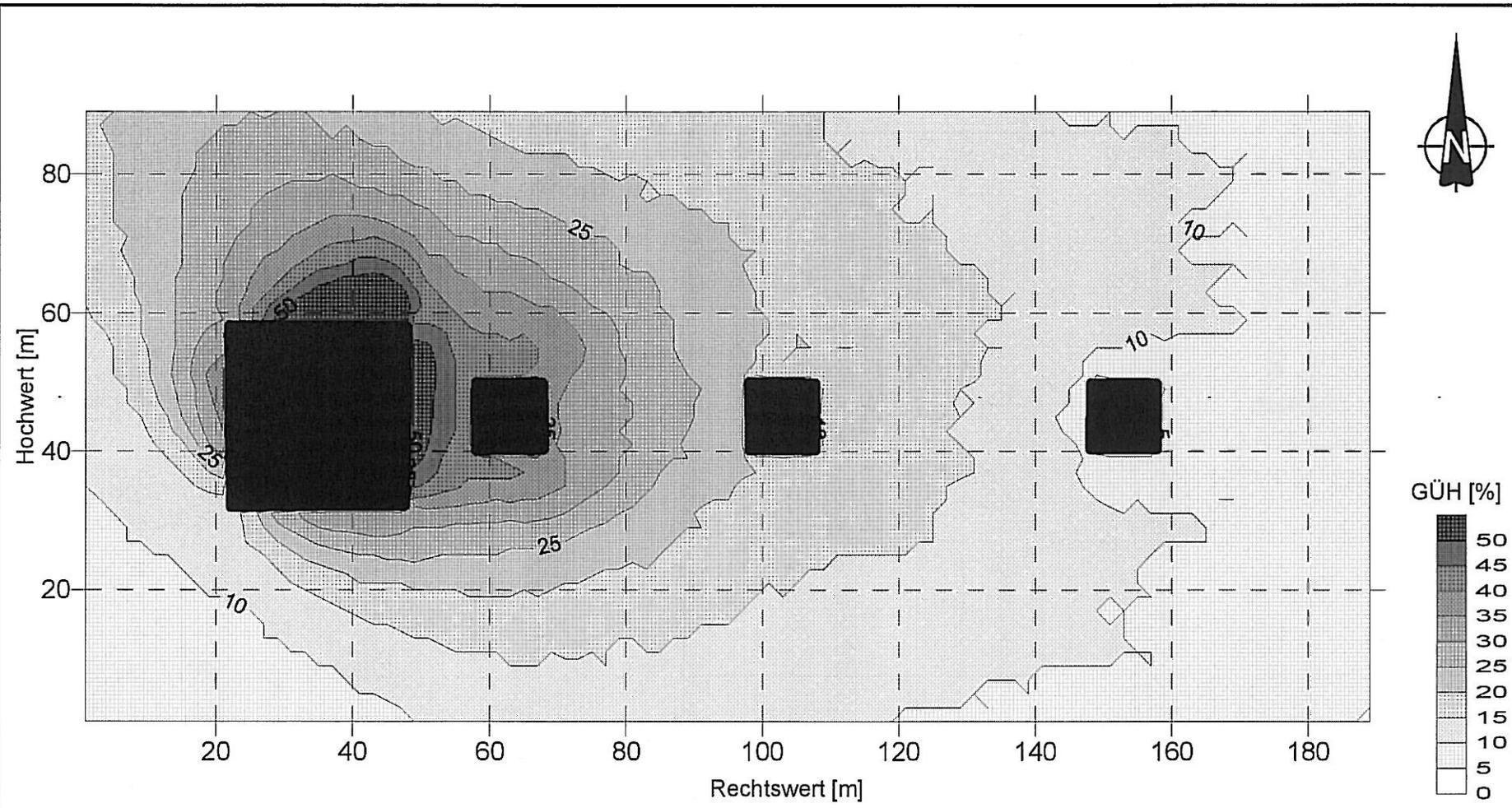


Abb. 5.5b: Fall 1; Berechnete mittlere Geruchsüberschreitungshäufigkeit (GÜH) in Prozent der Jahresstunden. Berechnung mit mittleren Emissionen.

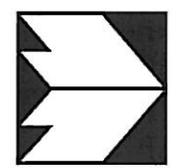
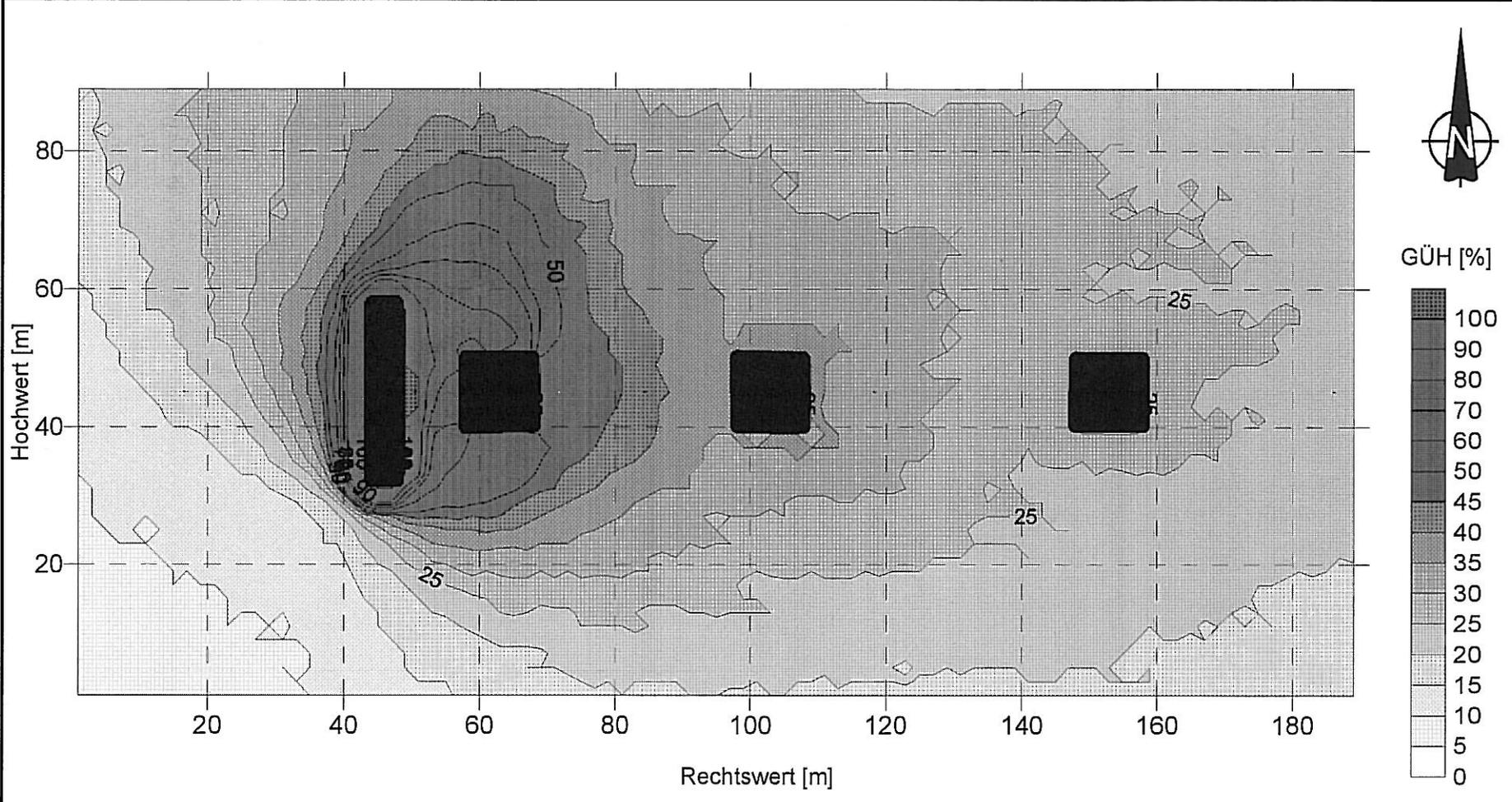


Abb. 5.6: Fall 2; Berechnete mittlere Geruchsüberschreitungshäufigkeit [GÜH] in Prozent der Jahresstunden.

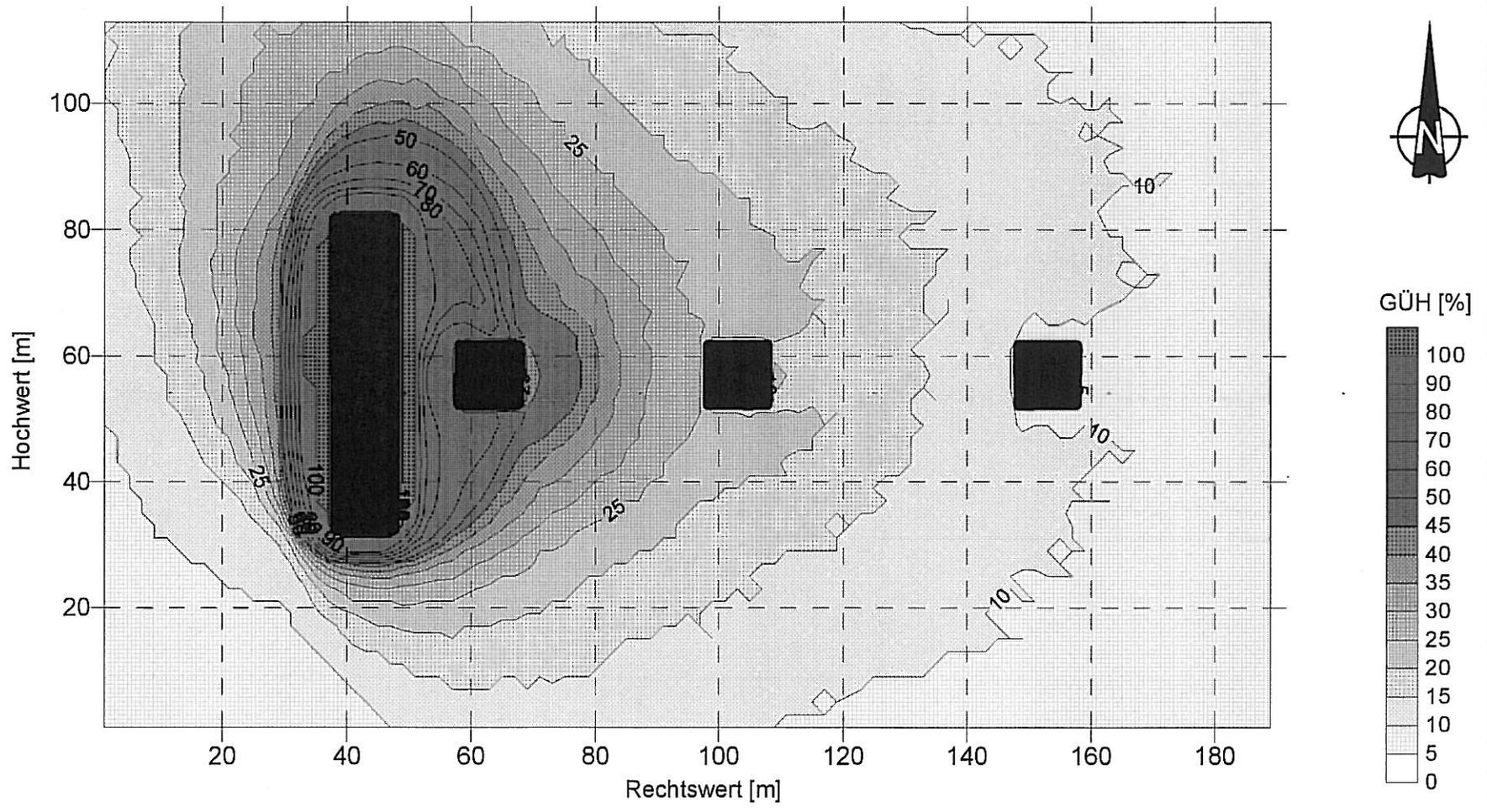


Abb. 5.7: Fall 3; Berechnete mittlere Geruchsüberschreitungshäufigkeit [GÜH] in Prozent der Jahresstunden.

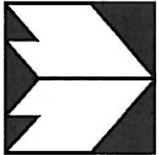
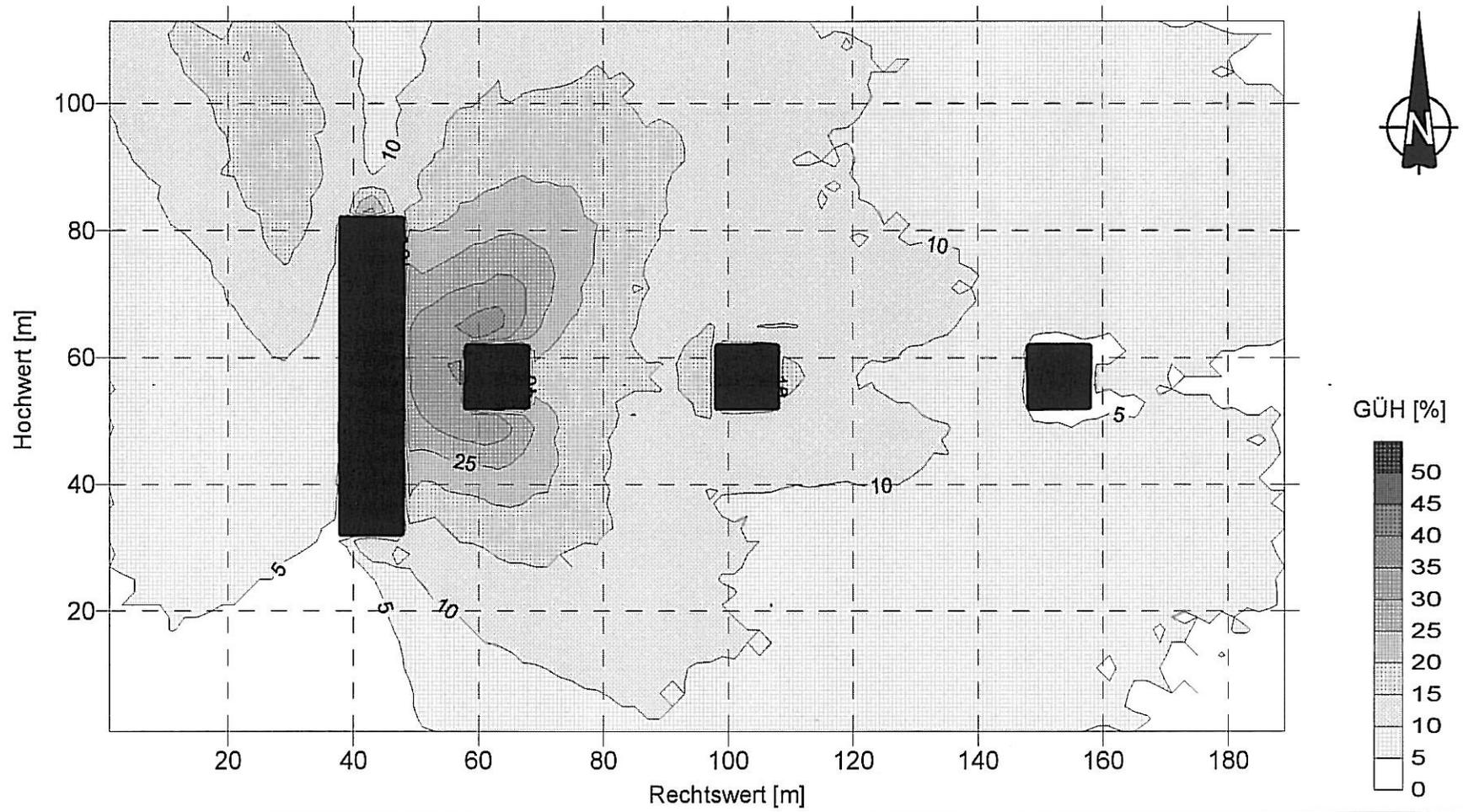


Abb. 5.8: Fall 4; Berechnete mittlere Geruchsüberschreitungshäufigkeit (GÜH) in Prozent der Jahresstunden.

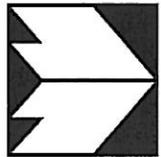
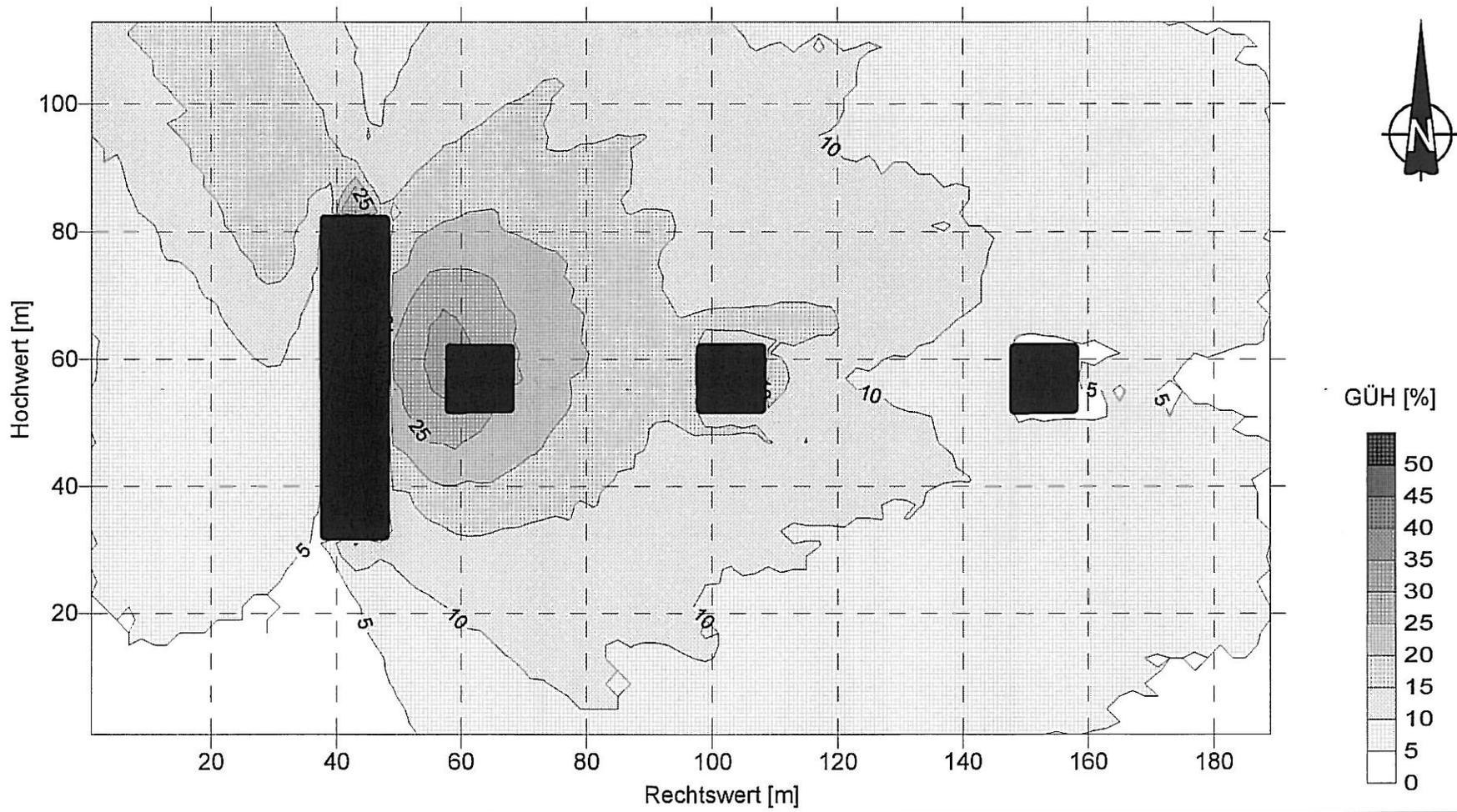


Abb. 5.9: Fall 4 ohne quellnächstes Wohnhaus (dieses Gebäude ist nur zur Orientierung eingezeichnet); Berechnete mittlere Geruchsüberschreitungshäufigkeit (GÜH) in Prozent der Jahresstunden.

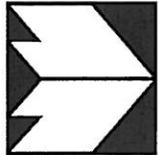
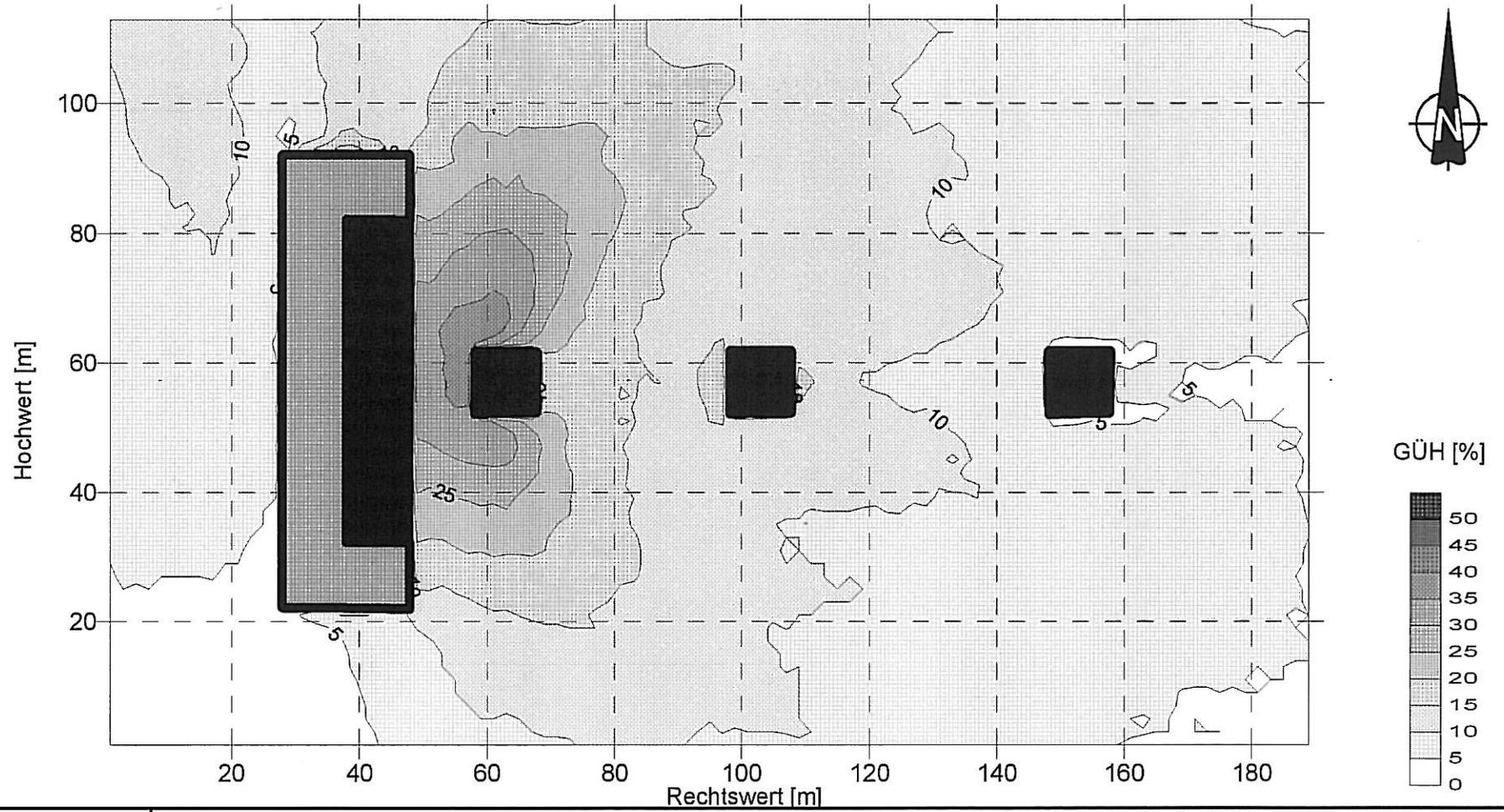


Abb. 5.10: Fall 5; Berechnete mittlere Geruchsüberschreitungshäufigkeit (GÜH) in Prozent der Jahresstunden.  
Schwarze Flächen = Gebäude; Graue Flächen schwarz umrandet=Wald.

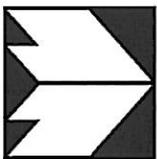
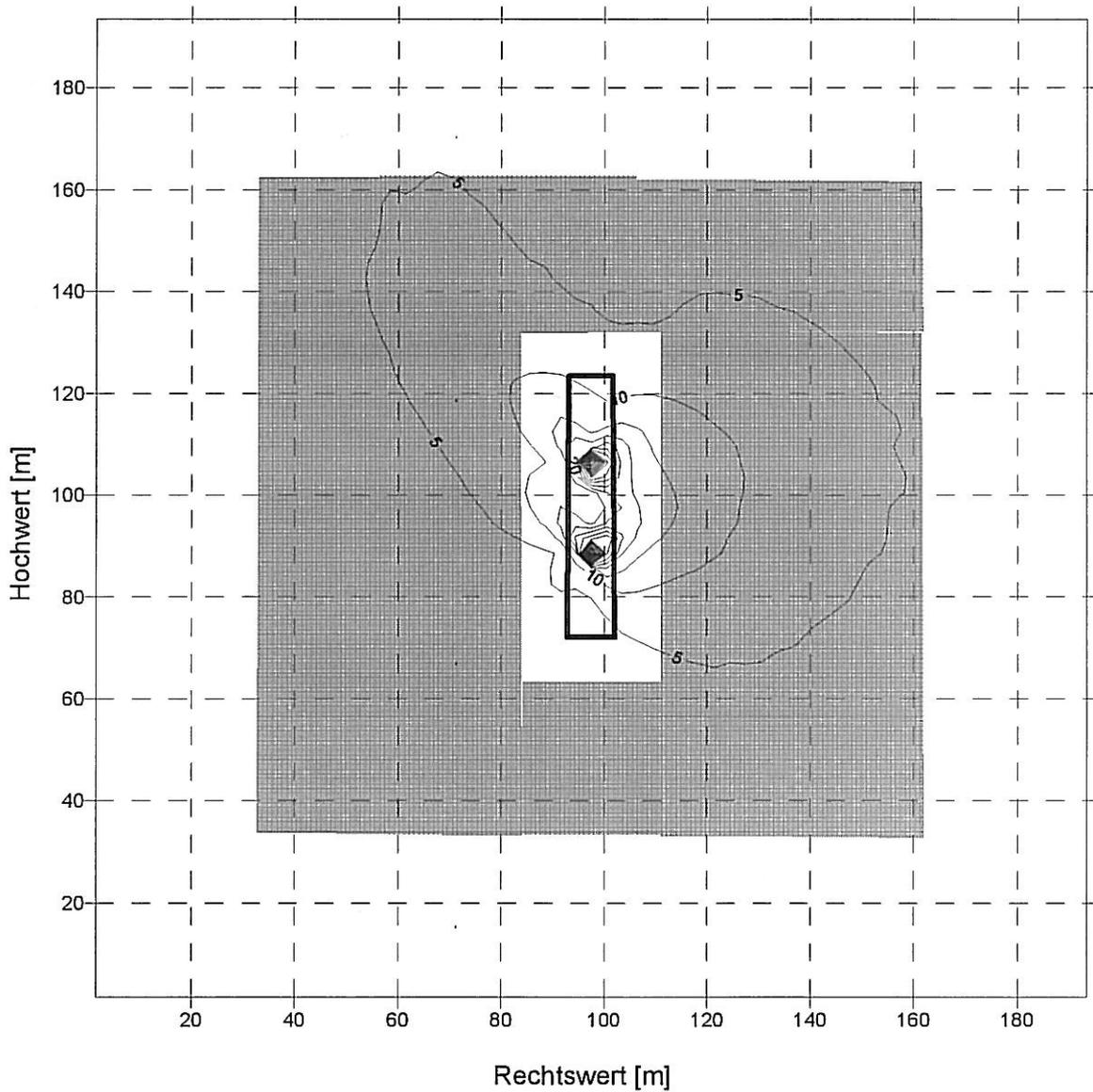


Abb. 5.11: Fall 6; Berechnete mittlere Ammoniakkonzentration in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in Höhe der Baumkronen (ca. 9 m über Grund).  
Schwarz umrandete Fläche = Stall; Graue Flächen = Wald.

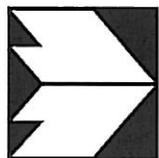
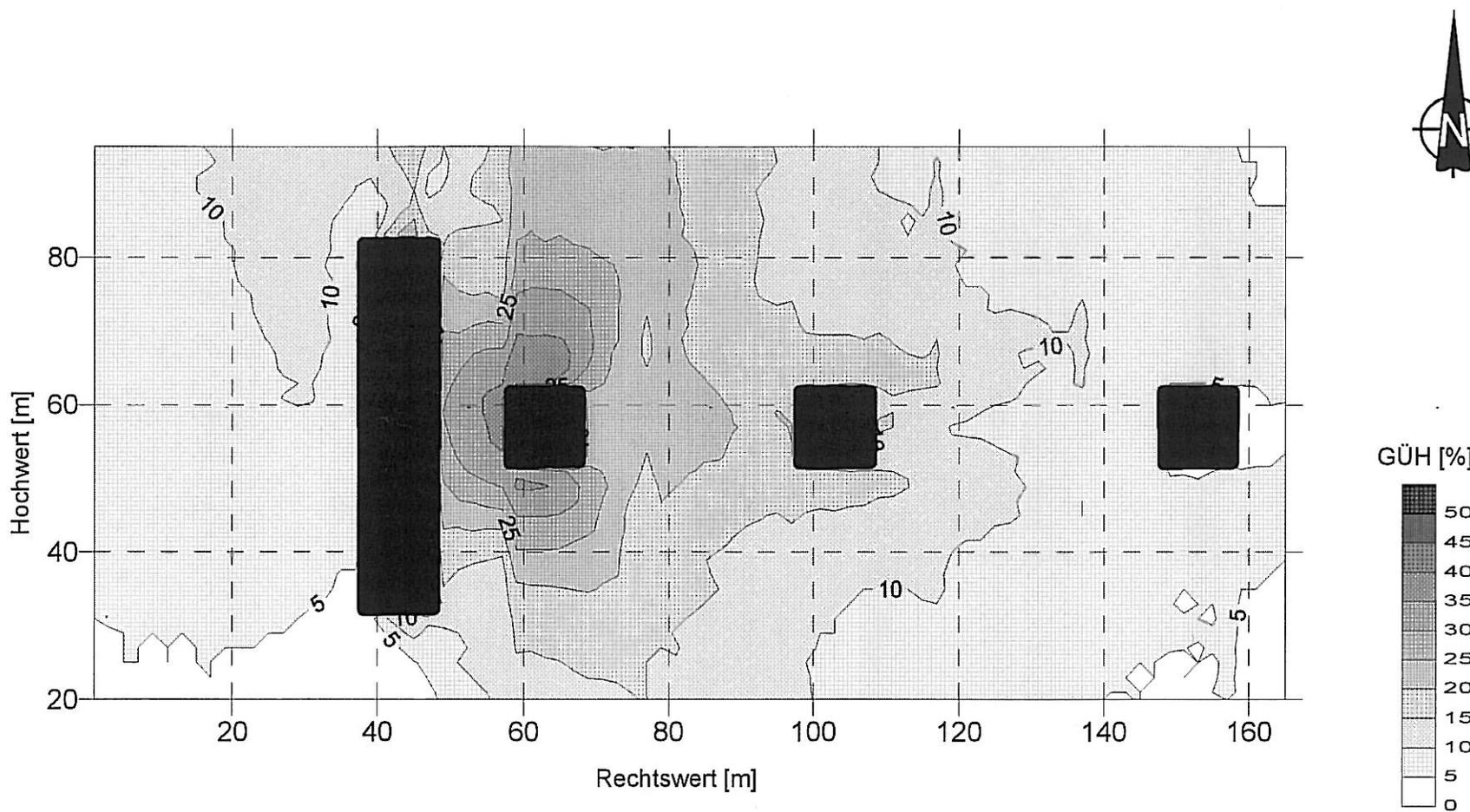


Abb. 5.12: Fall 7; Berechnete mittlere Geruchsüberschreitungshäufigkeit (GÜH) in Prozent der Jahresstunden.

Vergleich zur Umgebung entspricht. Das Verhalten am quellnächsten Gebäude in Luv zur Hauptwindrichtung wird unter Fall 4 diskutiert, wo Rechnungen mit und ohne nächstgelegenen Wohnhaus durchgeführt wurden. Der **Abb. 5.5a** läßt sich weiterhin entnehmen, daß die GÜH in anderen Bereichen z. T. bereits in deutlich geringerer Entfernung von der Quelle unter den Immissionswert von 10 % sinken. Dies ist vor allem in dem Bereich süd-südwestlich der Quelle der Fall, wo die 10 %-Isolinie einen Abstand von nur ca. 20 m vom Güllelager hat. Dies ist durch die sehr geringe Auftretenshäufigkeit von Nord-Nordostwinden in Klotzsche bedingt (siehe auch **Abb. 5.1**).

Bei dem im Fall 1 zu betrachtenden Güllelager handelte es sich um eine windinduzierte Geruchsquelle. Dies bedeutet folgendes:

Bei hohen Windgeschwindigkeiten ( $v > 2.99$  m/s) sind die Emissionen größer als der Mittelwert, während bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten ( $v < 2.99$  m/s) in der Realität niedrigere Emissionen auftreten. In welche Richtung dieser Effekt in Bezug auf das Gesamtergebnis wirkt, ist stark von der Quellkonfiguration, der Stärke der Emission sowie von der Umgebung abhängig. Um diesen Effekt zu untersuchen, wurde der hier betrachtete Fall 1 nochmals gerechnet, in dem die o. g. mittleren Emissionen berücksichtigt wurden. Die Ergebnisse dazu sind in **Abb. 5.5b** dargestellt. Der Unterschied in den GÜH war für dieses Beispiel gering (vergleiche **Abb. 5.5a** und **5.5b**). Dies läßt sich jedoch nicht verallgemeinern.

Die Ergebnisse für den Fall 2 (Miete) sind in **Abb. 5.6** dargestellt. Die Geruchsstoffemissionen sind für diesen Fall deutlich höher als bei Fall 1. Aus diesem Grund reicht die 10 %-Isolinie in Hauptwindrichtung weit über das Untersuchungsgebiet hinaus. Selbst am weitesten entfernten Wohnhaus werden Geruchsüberschreitungshäufigkeiten von mehr als 25 % errechnet. Der verdünnende Einfluß der Gebäude in Lee zur Hauptwindrichtung wirkt sich im Fall 2 nicht bzw. geringer auf die GÜH aus. Dies ist dadurch bedingt, daß die Geruchsstoffemissionen aus der Anlage so groß sind, daß eine stärkere Verdünnung der Geruchsstoffe durch die Gebäude keine Unterschreitung des Geruchsschwellenwertes bewirkt. Auch beim Fall 2 treten süd-südöstlich der Quelle Bereiche auf, in denen die 10 %-Isolinie sehr nah an die Quelle heranreicht. Die Ursache hierfür ist erneut in der Windstatistik von Dresden-Klotzsche zu suchen.

Die **Abb. 5.7** und **5.8** zeigen die GÜH für die Fälle 3 und 4. Bei Fall 3 macht sich am 2. und 3. Haus der verdünnende Effekt der Gebäude in Lee zur Hauptwindrichtung bemerkbar. Die 10 %-Isolinie reicht auch bei diesem Fall in Hauptwindrichtung bis zum 3. Wohnhaus in 100 m Entfernung zur Quelle heran (**Abb. 5.7**). Bei dem Fall 4 werden im Vergleich zu Fall 3

geringere GÜH berechnet. Der Einfluß der Wohnhäuser macht sich hier bei allen 3 Gebäuden bemerkbar. Um dies genauer zu verdeutlichen, wurde eine weitere Ausbreitungsrechnung analog zu Fall 4 durchgeführt, bei der das 1. Wohnhaus in 10 m Entfernung zur Quelle bei der Strömungsrechnung nicht berücksichtigt wurde (Fall 4\_2H). Ansonsten wurden die Eingangsdaten von Fall 4 unverändert übernommen. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in **Abb. 5.9** dargestellt.

Ein Vergleich dieser Abbildung mit **Abb. 5.8** zeigt, daß für den hier betrachteten Fall die GÜH bis in eine Entfernung von ca. 50 m von der Quelle in Hauptwindrichtung von dem 1. Gebäude im unmittelbaren Nahbereich der Quelle beeinflusst wird. So treten am weitesten entfernten Wohnhaus bei beiden Berechnungen etwa die selben Geruchshäufigkeiten auf. Im Nahbereich des 1. und 2. Hauses sind jedoch Unterschiede zu erkennen. Zwischen Quelle und dem 1. Wohnhaus sowie ober- und unterhalb dieses Wohnhauses werden im Fall 4\_2H niedrigere GÜH berechnet als im Fall 4. Umgekehrt werden im Nachlauf des 1. Hauses im Fall 4\_2H etwas höhere GÜH berechnet. Am 2. Wohnhaus beträgt dieser Unterschied etwa +2 % GÜH.

Im allgemeinen wird der Einfluß solcher nahegelegenen Gebäude sehr von der Größe und Orientierung dieses Gebäudes sowie von der Quellkonfiguration abhängig sein.

Die Ergebnisse für den Fall 5 sind der **Abb. 5.10** zu entnehmen. Am 2. und 3. Wohnhaus (Entfernung 50 m bzw. 100 m von der Geruchsquelle) werden bei Fall 5 ähnliche Belastungen wie bei Fall 4 berechnet. Im Nahbereich der Quelle sind Unterschiede zu erkennen. Oberhalb und unterhalb des 1. Wohnhauses treten im Fall 5 höhere GÜH auf als im Fall 4. Die Unterschiede belaufen sich auf bis zu 10 % GÜH. Westlich der Quelle werden beim Fall mit Wald (Fall 5) lokal geringere GÜH berechnet als beim Fall ohne denselben.

Die für den Fall 6 berechneten jahresmittleren Ammoniakkonzentrationen für den Bereich der Baumkronen sind in **Abb. 5.11** dargestellt. In Höhe der Baumkronen (in ca. 9 m über Grund) werden im betrachteten Fall direkt über den Ausblasöffnungen mit ca.  $90 \mu\text{g NH}_3/\text{m}^3$  sehr hohe Ammoniakbelastungen berechnet. Davon ist jedoch kein Wald betroffen. Im Bereich des Waldes werden aber auch z. T. Belastungen erwartet, die größer als der Orientierungswert für empfindliche Ökosysteme ( $10 \mu\text{g NH}_3/\text{m}^3$ ) sind. Dies betrifft insbesondere einen ca. 20 m breiten Waldstreifen östlich sowie einen kleineren Bereich nordwestlich der Stallanlage.

Da bei Ammoniak mittlere Konzentrationen und keine Überschreitungshäufigkeiten oder Perzentile betrachtet werden, können die berechneten Belastungen (= Zusatzbelastungen) bei sonst gleichen Bedingungen der Emission mit Hilfe eines Dreisatzes aus den Emissionen ermittelt werden, da die Zusatzbelastungen proportional zu den Emissionen ansteigen.

Die Ergebnisse für den Fall 7 sind in **Abb. 5.12** dargestellt. Im Vergleich zum Fall 4 treten an den ersten beiden Gebäuden höhere GÜH auf, am 3. Gebäude sind die Belastungen ähnlich. Die Unterschiede sind plausibel: Im Fall 7, in dem sich die Wohnhäuser in Richtung Osten auf einer nach oben geneigten Ebene befinden (Längsneigung +10 %), trifft die Abluffahne des westlich gelegenen Stallgebäudes bei westlichen Windrichtungen direkt auf das erste Wohngebäude auf. Der Bereich, in denen die Geruchsbelastungen berechnet werden (ca. 1.5 m über Grund), befindet sich am Gebäude 1 im Fall 7 ca. 2 m höher als im Fall 4, also näher am Zentrum der Abgasfahne, dran. Somit werden dort im Fall 7 höhere Geruchsstoffkonzentrationen als im Fall 4 berechnet, was im betrachteten Fall auch eine Erhöhung der GÜHen bewirkt.

Aus ähnlichen Gründen sind auch die GÜHen am Haus 2 bei Fall 7 größer als bei Fall 4. Zwischen 2. und 3. Haus kehrt sich der Effekt um. Dort werden im Fall mit Längsneigung gleiche bis niedrigere GÜHen berechnet. In diesem Bereich liegt die Geländeoberkante im Vergleich zum Bereich, wo sich der betrachtete Stall befindet, etwa 8 - 10 m höher und somit oberhalb der geometrischen Emissionshöhe der Anlage. Dies bewirkt dort eine bessere Durchmischung der Schadstoffe im Vergleich ohne Längsneigung.

Zwischen Haus 2 und 3 wird der erstgenannte Effekt, der eher eine Erhöhung der GÜHen im Vergleich zum ebenen Fall bewirkt, durch den 2. Effekt kompensiert bzw. leicht überkompensiert.

## 6 LITERATUR

- Bliss, P. J., Jiang, K., Schulz, T. J. (1995): The Development of a Sampling System for the Determination of Odor Emission Rates from Areal Surfaces: Part II. Mathematical Model. Air & Waste Manage. Assoc. Vol. 45, 989 - 994.
- 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).
- De Haan, Peter Jan (1999): Predicting concentration fluctuations with a puff-particle model, and its evaluation using draft ASTM practice Z6849Z. Sixth International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion - Modelling für Regulatory Purposes. Organised by Coria - UMR 6614, CNRS-Universite & Insa de Rouen, France, 11-14 October 1999 (<http://www.coria.fr>).
- Eichhorn, J. (1998): MISKAM Handbuch Version 3.6. Giese-Eichhorn Umweltmeteorologische Software. Wackersheim, Oktober 1998.
- Enderle, Dr. K.-H., Richter, C.-J. (1998): Vergleich einzelner Rechenmodelle in der Praxis. Vortrag auf Veranstaltung des VDI-Bildungswerkes im Oktober 1998 in Mannheim.
- Fackrell J.E., Robins A.G. (1982): The effects of source size on concentration fluctuations in plumes. Boundary-Layer Meteorology 22, pp 335-350.
- IFU GmbH (1998a): Anforderungen an die Datenerhebung zur Bestimmung der Geruchsausbreitungen in der Umgebung einer Anlage / Konzept der Auswertung von Mehrfach-Fahnenbegehungen, Gutachten im Auftrag der TLU Jena.
- IFU GmbH (1998b): Projekt Gommla - Originaldaten (CD-ROM).
- IFU GmbH (1999): Persönliche Information zu den Begehungsdaten.
- 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 Wispelaere). Plenum Press, New York.
- Janicke, L. (1998): Ausbreitungsmodell LASAT. Handbuch zu Version 2.8. Ingenieurbüro Dr. Lutz Janicke, Alter Postweg 21, 26427 Dunum.

Janicke, L. (1999): Website, [www.janicke.de](http://www.janicke.de).

KTBL (1989): Handbuch der VDI-Richtlinien 3471 Schweine und 3472 Hühner, Emissionsminderung Tierhaltung, KTBL-Arbeitspapier 126. Hrsg. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Darmstadt.

LAI (1999): Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie) mit Begründung und Auslegungshinweisen vom 07.05.1999.

Lohmeyer, A., Rühling, A. (1998): FuE-Vorhaben „Modellierung des Ausbreitungsverhaltens von luftfremden Schadstoffen/Gerüchen bei niedrigen Quellen im Nahbereich“. Auftraggeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Dezember 1998.

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

Sawford B.L., Frost C.C., Allan T.C. (1985): Atmospheric Boundary-Layer measurements of concentration statistics from isolated and multiple sources. Boundary-Layer Meteorology 31, pp 249-268.

Sächs. Geruchsimmissionsrichtlinie GIRL (1993): Verwaltungsvorschrift des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landesentwicklung zur Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen. Sächs. Amtsblatt Nr. 17, S. 514-521.

Thomson D.J. (1990): A stochastic model for the motion of particle pairs in isotropic high-Reynolds-number turbulence, and its application to the problem of concentration variance. J. Fluid Mech. Vol.210, pp. 113-153.

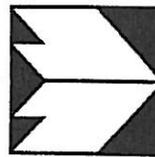
VDI 3782 Blatt 3 (1985): Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1. Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure.

VDI 3882 Blatt 1 (1992): Olfaktometrie, Bestimmung der Geruchsintensität. Beuth Verlag, Berlin, Oktober 1992.

VDI 3471 (1986): Emissionsminderung Tierhaltung - Schweine. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 3. Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure.

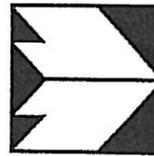
Wieringa, J. (1993): Representative roughness parameters for homogeneous terrain. Bound.-Layer Met., 63, pp. 323-363.

**A N H A N G A 1:**  
**BEGEHUNGSDATEN GOMMLA**

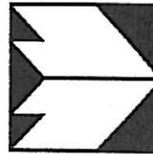


Ingenieurbüro  
Dr.-Ing. Achim Lohmeyer  
Karlsruhe und Dresden  
Strömungsmechanik  
Immissionsschutz  
Windkanaluntersuchungen

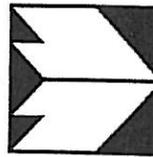
Fahne	Nr	Lfd-nr	Punktname	Proband	Datum	Startzeit	Häuf. Geruch [%]	Windgeschw. [m/s]	Windrichtung [°]	Monin-Obuchov-L. [m]
1	1	1	7.1.	BGR	11.11.97	15:33:30	0	2.4	5	453
1	2	2	7.2.	BGR	11.11.97	15:49:30	7	2.0	5	144
1	3	3	7.3.	BGR	11.11.97	16:11:30	0	2.2	5	76
1	4	4	10.4.	BGR	11.11.97	16:27:30	100	2.6	5	77
1	5	5	2.1.	AME	11.11.97	15:33:50	38	2.4	5	395
1	6	6	2.2.	AME	11.11.97	15:52:50	58	2.0	5	102
1	7	7	2.3.	AME	11.11.97	16:12:50	100	2.3	5	73
1	8	8	9.2.	AME	11.11.97	16:30:50	18	2.6	5	72
1	9	9	1.1.	IDR	11.11.97	15:19:41	0	2.7	5	49588
1	10	10	1.2.	IDR	11.11.97	15:51:41	53	2.0	5	124
1	11	11	1.3.	IDR	11.11.97	16:12:41	100	2.3	5	75
1	12	12	9.1.	IDR	11.11.97	16:29:41	10	2.6	5	81
1	13	13	3.1.	DSP	11.11.97	15:32:00	75	2.4	5	763
1	14	14	3.2.	DSP	11.11.97	15:54:00	83	2.0	5	115
1	15	15	3.3.	DSP	11.11.97	16:12:00	100	2.3	5	70
1	16	16	9.3.	DSP	11.11.97	16:29:00	75	2.6	5	84
1	17	17	5.1.	KGR	11.11.97	15:33:02	82	2.4	5	505
1	18	18	5.2.	KGR	11.11.97	15:54:46	87	2.0	5	140
1	19	19	5.3.	KGR	11.11.97	16:10:16	32	2.3	5	65
1	20	20	5.4.	KGR	11.11.97	16:28:16	40	2.6	5	83
1	21	21	8.1.	SKR	11.11.97	15:33:00	0	2.4	5	496
1	22	22	8.2.	SKR	11.11.97	15:53:30	48	2.0	5	118
1	23	23	8.3.	SKR	11.11.97	16:10:00	0	2.3	5	66
1	24	24	10.3.	SKR	11.11.97	16:27:30	100	2.6	5	77
1	25	25	4.1.	VJU	11.11.97	15:21:18	75	2.5	5	-389
1	26	26	4.2.	VJU	11.11.97	15:38:18	90	2.3	5	155
1	27	27	4.3.	VJU	11.11.97	15:55:18	83	2.0	5	127
1	28	28	4.4.	VJU	11.11.97	16:13:18	98	2.3	5	73
1	29	29	6.1.	FHA	11.11.97	15:32:50	5	2.4	5	580
1	30	30	6.2.	FHA	11.11.97	15:54:20	40	2.0	5	137
1	31	31	6.3.	FHA	11.11.97	16:11:20	0	2.2	5	72
1	32	32	10.1.	FHA	11.11.97	16:30:50	97	2.6	5	72
2	1	33	7.1.	BGR	11.11.97	19:14:30	28	4.0	5	757
2	2	34	7.2.	BGR	11.11.97	19:29:30	73	4.8	5	441
2	3	35	7.3.	BGR	11.11.97	19:43:30	48	3.3	5	204
2	4	36	7.4.	BGR	11.11.97	19:56:30	53	3.0	5	140
2	5	37	10.4.	BGR	11.11.97	20:09:30	100	3.8	5	82
2	6	38	2.1.	AME	11.11.97	19:15:50	0	4.0	5	514
2	7	39	2.2.	AME	11.11.97	19:30:50	15	4.8	5	454
2	8	40	2.3.	AME	11.11.97	19:45:50	100	3.3	5	132
2	9	41	9.2.	AME	11.11.97	20:01:50	0	3.3	5	137



Fahne	Nr	Lfd-nr	Punktname	Proband	Datum	Startzeit	Häuf. Geruch [%]	Windgeschw. [m/s]	Windrichtung [°]	Monin-Obuchov-L. [m]
2	10	42	1.1.	IDR	11.11.97	19:10:41	0	3.9	5	417
2	11	43	1.2.	IDR	11.11.97	19:24:41	0	4.7	5	400
2	12	44	1.3.	IDR	11.11.97	19:41:41	100	3.4	5	249
2	13	45	9.1.	IDR	11.11.97	19:56:41	0	3.0	5	137
2	14	46	3.1.	DSP	11.11.97	19:13:00	0	4.0	5	603
2	15	47	3.2.	DSP	11.11.97	19:29:00	32	4.8	5	483
2	16	48	3.3.	DSP	11.11.97	19:43:00	88	3.3	5	210
2	17	49	9.3.	DSP	11.11.97	19:57:00	2	3.0	5	118
2	18	50	5.1.	KGR	11.11.97	19:12:06	30	4.0	5	501
2	19	51	5.2.	KGR	11.11.97	19:28:46	90	4.9	5	496
2	20	52	5.3.	KGR	11.11.97	19:42:46	100	3.3	5	232
2	21	53	5.4.	KGR	11.11.97	19:55:46	100	3.0	5	160
2	22	54	10.2.	KGR	11.11.97	20:14:16	100	3.6	5	79
2	23	55	8.1.	SKR	11.11.97	19:14:30	52	4.0	5	757
2	24	56	8.2.	SKR	11.11.97	19:29:30	63	4.8	5	441
2	25	57	8.3.	SKR	11.11.97	19:43:30	22	3.3	5	204
2	26	58	8.4.	SKR	11.11.97	19:57:30	32	3.0	5	111
2	27	59	10.3.	SKR	11.11.97	20:12:00	100	3.8	5	71
2	28	60	4.1.	VJU	11.11.97	18:57:18	5	3.4	5	388
2	29	61	4.2.	VJU	11.11.97	19:13:18	35	4.0	5	916
2	30	62	4.3.	VJU	11.11.97	19:27:18	93	4.9	5	429
2	31	63	4.4.	VJU	11.11.97	19:41:18	100	3.4	5	244
2	32	64	6.1.	FHA	11.11.97	19:13:20	32	4.0	5	902
2	33	65	6.2.	FHA	11.11.97	19:31:20	72	4.7	5	429
2	34	66	6.3.	FHA	11.11.97	19:44:20	63	3.4	5	170
2	35	67	6.4.	FHA	11.11.97	19:59:20	73	3.1	5	105
2	36	68	10.1.	FHA	11.11.97	20:16:20	100	3.5	5	98
3	1	69	1.1.	DSP	17.11.97	11:40:00	27	1.7	5	-13.1
3	2	70	1.2.	DSP	17.11.97	11:55:00	8	2.0	5	-13.1
3	3	71	10.1.	DSP	17.11.97	12:12:00	68	2.3	5	-22
3	4	72	10.2.	DSP	17.11.97	12:27:00	27	1.8	5	-75
3	5	73	2.1.	AME	17.11.97	11:40:00	100	1.7	5	-13
3	6	74	2.2.	AME	17.11.97	11:55:00	97	2.0	5	-13.1
3	7	75	9.1.	AME	17.11.97	12:11:00	100	2.3	5	-22
3	8	76	9.2.	AME	17.11.97	12:22:00	100	2.0	5	-27.1
3	9	77	9.3.	AME	17.11.97	12:34:00	100	1.8	5	-53.4
3	10	78	3.1.	VJU	17.11.97	11:40:11	0	1.7	5	-13
3	11	79	7.1.	VJU	17.11.97	12:01:11	100	2.3	5	-16.7
3	12	80	7.2.	VJU	17.11.97	12:24:11	100	2.0	5	-50.6
3	13	81	11.1.	VJU	17.11.97	12:32:11	38	1.9	5	-43.4
3	14	82	3.1.	SMA	17.11.97	11:40:00	3	1.7	5	-13



Fahne	Nr	Lfd-nr	Punktname	Proband	Datum	Startzeit	Häuf. Geruch [%]	Windgeschw. [m/s]	Windrichtung [°]	Monin-Obuchov-L. [m]
3	15	83	7.1.	SMA	17.11.97	12:01:00	100	2.2	5	-15.7
3	16	84	7.2.	SMA	17.11.97	12:15:00	100	2.3	5	-22
3	17	85	11.1.	SMA	17.11.97	12:33:00	50	1.8	5	-51.8
3	18	86	4.1.	GRI	17.11.97	11:43:00	3	2.0	5	-13
3	19	87	8.1.	GRI	17.11.97	12:01:00	100	2.2	5	-15.7
3	20	88	8.2.	GRI	17.11.97	12:13:00	100	2.3	5	-22
3	21	89	8.3.	GRI	17.11.97	12:27:00	100	1.8	5	-75
3	22	90	5.1.	IDR	17.11.97	11:42:00	0	1.9	5	-13
3	23	91	6.1.	IDR	17.11.97	12:00:00	50	2.2	5	-14.2
3	24	92	6.2.	IDR	17.11.97	12:13:00	100	2.3	5	-22
3	25	93	6.3.	IDR	17.11.97	12:26:00	100	1.9	5	-67.3
4	1	94	1.1.	DSP	10.12.97	11:40:54	12	6.1	5	-3415
4	2	95	1.2.	DSP	10.12.97	11:53:54	15	5.9	5	-9819
4	3	96	1.3.	DSP	10.12.97	12:13:54	82	6.7	5	-7049
4	4	97	1.4.	DSP	10.12.97	12:27:54	32	5.9	5	-14619
4	5	98	1.5.	DSP	10.12.97	12:43:54	48	6.3	5	-6076
4	6	99	2.1.	SEH	10.12.97	11:45:00	87	5.5	5	-7016
4	7	100	2.2.	SEH	10.12.97	12:00:00	70	6.0	5	-4755
4	8	101	2.3.	SEH	10.12.97	12:15:00	62	7.0	5	-7871
4	9	102	2.4.	SEH	10.12.97	12:30:00	85	5.9	5	-8077
4	10	103	2.5.	SEH	10.12.97	12:45:00	95	5.9	5	-8085
4	11	104	3.1.a	SMA	10.12.97	11:42:21	55	5.5	5	-5024
4	12	105	3.2.a	SMA	10.12.97	11:59:21	28	5.9	5	-5300
4	13	106	3.3.a	SMA	10.12.97	12:16:21	98	6.9	5	-7849
4	14	107	3.4.a	SMA	10.12.97	12:34:21	100	6.5	5	-5928
4	15	108	3.5.a	SMA	10.12.97	12:51:21	8	5.5	5	-7785
4	16	109	3.1.b	VJU	10.12.97	11:42:00	67	5.5	5	-5072
4	17	110	3.2.b	VJU	10.12.97	12:00:00	30	6.0	5	-4755
4	18	111	3.3.b	VJU	10.12.97	12:15:00	97	7.0	5	-7871
4	19	112	3.4.b	VJU	10.12.97	12:35:00	98	6.6	5	-6139
4	20	113	3.5.b	VJU	10.12.97	12:51:00	10	5.6	5	-6822
4	21	114	4.1.	AME	10.12.97	11:39:55	100	6.2	5	-4071
4	22	115	4.2.	AME	10.12.97	11:57:55	100	5.9	5	-7791
4	23	116	4.3.	AME	10.12.97	12:11:55	100	6.6	5	-6962
4	24	117	4.4.	AME	10.12.97	12:30:55	100	6.0	5	-7128
4	25	118	4.5.	AME	10.12.97	12:45:55	100	6.0	5	-5905
4	26	119	5.1.	BGR	10.12.97	11:41:50	50	5.6	5	-4446
4	27	120	5.2.	BGR	10.12.97	11:58:50	45	5.8	5	-6514
4	28	121	5.3.	BGR	10.12.97	12:14:50	100	7.0	5	-8478
4	29	122	5.4.	BGR	10.12.97	12:33:50	100	6.3	5	-4723
4	30	123	5.5.	BGR	10.12.97	12:50:50	100	5.7	5	-6778



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

Fahne	Nr	Lfd-nr	Punktname	Proband	Datum	Startzeit	Häuf. Geruch [%]	Windgeschw. [m/s]	Windrichtung [°]	Monin-Obuchov-L. [m]
4	31	124	6.1.	IDR	10.12.97	11:41:00	58	6.0	5	-3498
4	32	125	6.2.	IDR	10.12.97	11:59:00	53	5.9	5	-6457
4	33	126	6.3.	IDR	10.12.97	12:14:00	100	6.7	5	-7165
4	34	127	6.4.	IDR	10.12.97	12:31:00	90	6.0	5	-7889
4	35	128	6.5.	IDR	10.12.97	12:48:00	100	5.9	5	-5722
5	1	129	1.1.	SEH	12.12.97	11:30:00	5	3.3	5	1568
5	2	130	1.2.	SEH	12.12.97	11:45:00	100	5.2	5	3441
5	3	131	1.3.	SEH	12.12.97	12:00:00	98	5.2	5	2467
5	4	132	1.4.	SEH	12.12.97	12:15:00	0	3.7	5	18627
5	5	133	2.1.	DSP	12.12.97	11:29:00	47	3.3	5	2075
5	6	134	2.2.	DSP	12.12.97	11:49:00	35	5.6	5	-10127
5	7	135	2.3.	DSP	12.12.97	12:06:00	23	5.2	5	3045
5	8	136	2.4.	DSP	12.12.97	12:25:00	72	3.0	5	1897
5	9	137	3.1.	AME	12.12.97	11:27:00	100	3.2	5	2205
5	10	138	3.2.	AME	12.12.97	11:44:00	100	5.0	5	1982
5	11	139	3.3.	AME	12.12.97	11:58:00	100	5.2	5	2143
5	12	140	3.4.	AME	12.12.97	12:14:00	100	3.9	5	5625
5	13	141	4.1.	BGR	12.12.97	11:24:00	27	3.1	5	1952
5	14	142	4.2.	BGR	12.12.97	11:38:00	7	4.0	5	2335
5	15	143	4.3.	BGR	12.12.97	11:54:00	82	5.4	5	2255
5	16	144	4.4.	BGR	12.12.97	12:07:00	97	5.1	5	3072
5	17	145	5.1.	GRI	12.12.97	11:29:00	7	3.3	5	2075
5	18	146	5.2.	GRI	12.12.97	11:44:00	42	5.0	5	1982
5	19	147	5.3.	GRI	12.12.97	12:00:00	50	5.2	5	2467
5	20	148	5.4.	GRI	12.12.97	12:16:00	0	3.5	5	12417

**A N H A N G A 2:**  
**BESCHREIBUNG LASAT**



# 1 Übersicht (gekürzt)

## 1.1 Einleitung

LASAT (Lagrange Simulation von Aerosol-Transport) ist ein Modell zur Berechnung der Ausbreitung von Spurenstoffen in der Atmosphäre, das in einem Computerprogramm realisiert ist. LASAT ist ein Episodenmodell, d.h. es berechnet den zeitlichen Verlauf der Stoffkonzentration in einem vorgegebenen Rechengebiet, wobei alle für die Ausbreitung wichtigen Größen als Zeitreihe vorgegeben werden. Bei der Ausbreitungsrechnung wird für eine Gruppe repräsentativer Stoffteilchen der Transport und die turbulente Diffusion durch einen Zufallsprozeß auf dem Computer simuliert (Lagrange-Simulation).

Das vorliegende Modell hat seinen Ursprung in den Forschungsmodellen LASAT-A und LASAT-C, die ursprünglich bei der Dornier GmbH entwickelt (JANICKE, 1983, 1985, 1987-A) und dort in einer Reihe von Forschungsvorhaben (AXENFELD UND JANICKE, 1984; JANICKE UND AXENFELD, 1988; TULLY ET AL., 1985) eingesetzt worden sind. Der Modell-Algorithmus wurde inzwischen jedoch verallgemeinert und das Programm neu konzipiert und in der Programmiersprache ANSI-C neu geschrieben. Seit der Auslieferung von Version 1.00 im Jahre 1990 wurde das Programmsystem stetig erweitert und verbessert, wobei die Anwender von LASAT viele wertvolle Hinweise und Anregungen gaben.

## 1.2 Dokumentation . . .

## 1.3 Schreibweise . . .

## 1.4 Das Ausbreitungsmodell

Das Ausbreitungsmodell LASAT berechnet die Ausbreitung passiver Spurenstoffe in der unteren Atmosphäre (bis ca. 2000 m Höhe) im lokalen und regionalen Bereich (bis ca. 150 km Entfernung). Es basiert auf einem Lagrange-Modell (Teilchen-Simulation), bei dem die Dispersion der Stoffteilchen in der Atmosphäre durch einen Zufallsprozeß auf dem Computer simuliert wird. Dies ist —

<sup>1</sup>Unter MSDOS und Windows 95/NT dürfen Options-Angaben auch mit einem Schrägstrich („/“) beginnen. Windows NT akzeptiert zwar auch „/“ als Separator in Pfadangaben, allerdings faßt LASAT unter Windows NT einen Parameter, der hiermit beginnt, nicht als absolute Pfadangabe sondern als Option auf.



seit der Version 2.00 — ein Markov-Prozeß für die Orts- und Geschwindigkeitskomponenten eines Simulationsteilchens, der Zeitschritte bis zum Doppelten der Lagrange-Korrelationszeit zuläßt.<sup>2</sup>

Es werden folgende physikalische Vorgänge zeitabhängig simuliert:

- Transport durch den mittleren Wind,
- Dispersion in der Atmosphäre,
- Sedimentation schwerer Aerosole,
- Deposition am Erdboden (trockene Deposition),
- Auswaschen der Spurenstoffe durch Regen und nasse Deposition,
- Chemische Umwandlungen erster Ordnung,
- Gamma-Submersion (Wolkenstrahlung) bei radioaktiven Stoffen.

Eine Abgasfahnenüberhöhung wird parametrisch erfaßt.<sup>3</sup>

Das Gelände kann eben oder gegliedert sein und Gebäude enthalten, deren Umströmung berücksichtigt wird. In ebenem Gelände werden die zeitabhängigen meteorologischen Größen durch ein ebenes Grenzschichtmodell beschrieben. Dieses greift auf einfache Parameter zur Charakterisierung der Wettersituation zurück, wie z.B. eine Klassierung nach TA Luft oder KTA, oder es wird direkt über die Monin-Obukhov-Länge und die Mischungsschichthöhe parametrisiert. Darüber hinaus können aber auch Vertikalprofile, wie sie von SODAR-Geräten zur Verfügung gestellt werden, oder Meßreihen eines Ultraschall-Anemometers verarbeitet werden.

Für komplexes Gelände ist im meteorologischen Präprozessor ein diagnostisches Windfeldmodell integriert, das für indifferente und stabile Schichtung einsetzbar ist.<sup>4</sup> Das diagnostische Windfeldmodell kann auch die Umströmung von Gebäuden berechnen und dabei die im Lee auftretende Rezirkulation und die

<sup>2</sup>In den Versionen 1.xx wurde ein Markov-Prozeß im Ortsraum benutzt, der die klassische Diffusion simuliert. Hierbei konnten große Zeitschritte benutzt werden, die den Einsatz unter Echtzeitbedingungen ermöglichten. Seit es gelungen ist, den Algorithmus zur Simulation der turbulenten Diffusion so zu verallgemeinern, daß der Zeitschritt bis zum Doppelten der Lagrange-Korrelationszeit ausgedehnt werden kann, bringt die Beschränkung auf die klassische Diffusion keinen Zeitvorteil mehr. Seit der Version 2.00 wird daher der Algorithmus zur Simulation der turbulenten Diffusion benutzt.

<sup>3</sup>Im Moment gemäß Richtlinie VDI 3782 Blatt 3. Es ist vorgesehen, in Zukunft die Abgasfahnenüberhöhung mit einem eigenen Modell (JANICKE, 1997) zu berechnen.

<sup>4</sup>Windfelder bei labiler Schichtung müssen durch solche bei indifferenter Schichtung approximiert werden.



erhöhte Turbulenz modellieren. Gebäude dürfen auch in gegliedertem Gelände stehen. Dreidimensionale Wind- und Turbulenzfelder können auch explizit vorgegeben werden. Die Struktur der hierfür benötigten Daten-Files ist voll dokumentiert.<sup>5</sup>

Es können beliebig viele Emissionsquellen als Punkt-, Linien-, Flächen-, Raster- oder Volumenquellen definiert werden. Die meisten Parameter der Ausbreitungsrechnung — insbesondere die Quellstärken bzgl. der einzelnen Stoffkomponenten, Quellorte, Umwandlungsraten, Depositionsgeschwindigkeiten — können als Zeitreihe vorgegeben werden.

Es wird die über fortlaufende Zeitintervalle gemittelte dreidimensionale Konzentrationsverteilung der emittierten Spurenstoffe und die Stoffstromdichte ihrer Deposition am Erdboden berechnet. Die Größe des Mittelungsintervalles ist vorgebar. Die horizontale räumliche Auflösung beträgt typischerweise 1 bis 3 % des gesamten Rechengebietes. Für den bei Teilchensimulationen immer auftretenden Stichprobenfehler (er kann durch Erhöhung der Teilchenzahl beliebig verringert werden) wird während der Ausbreitungsrechnung ein Schätzwert berechnet. Diese Schätzung ermöglicht es dem Programm, die Fluktuationen in der berechneten Konzentrationsverteilung ohne systematische Verfälschung zu glätten. Neben der vollen dreidimensionalen Verteilung wird für vorgebbare Monitorpunkte die Zeitreihe von Konzentration und Deposition ausgerechnet.

Liegen die meteorologischen Daten als Zeitreihe über ein Jahr oder als Jahresstatistik vor, können auch Jahresmittelwert und Perzentile berechnet werden. Im Nahbereich von Quellen kann die Ausbreitungsrechnung mit erhöhter räumlicher Auflösung durchgeführt werden. Hierzu werden mehrere Rechennetze ineinander geschachtelt, deren Maschenweite sich von Netz zu Netz um einen Faktor 2 ändert. Die berechnete Konzentrationsverteilung kann auf jedem der Netze dargestellt werden.

#### 1.4.1 Der Modell-Algorithmus von LASAT

Der Algorithmus von LASAT dient zur Berechnung von Transport und turbulenter Diffusion von Spurenstoffen in einem strömenden Medium, für welches die Strömungsgeschwindigkeit<sup>6</sup>  $V(\mathbf{x})$ , die Geschwindigkeitsfluktuationen  $\sigma_{u,v,w}(\mathbf{x})$  und die Austauschkoefizienten  $K_{u,v,w}(\mathbf{x})$  als Funktion des Ortes  $\mathbf{x}$  vorgegeben sind.

<sup>5</sup>Für eine Umsetzung der Ergebnisse von ABC, MISKAM oder FITNAH in Eingabe-Files von LASAT stehen Programme zur Verfügung. Da die Struktur der Ausgabedaten dieser Programme aber nicht standardisiert ist, sind im Einzelfall meist Anpassungen erforderlich.

<sup>6</sup>Vektoren, wie hier die Strömungsgeschwindigkeit  $V$  und der Ortsvektor  $\mathbf{x}$ , sind durch Kursivschrift und Fettdruck gekennzeichnet.



Bei der Ausbreitung von Spurenstoffen in der Atmosphäre kann die molekulare Diffusion in der Regel gegenüber der turbulenten Diffusion vernachlässigt werden.

Bei der Teilchen-Simulation wird aus der großen Menge der Spurenstoffteilchen (Moleküle oder Aerosole) eine repräsentative Stichprobe erhoben (typischerweise einige 10 000 Teilchen), ihre Bahn wird auf dem Computer simuliert, und aus dem Ergebnis wird auf das Verhalten der gesamten Spurenstoffwolke hochgerechnet.

Je mehr Teilchen man verfolgt, desto kleiner wird der Stichprobenfehler, desto länger aber auch die Rechenzeit. Da die Anzahl der benötigten Teilchen oft sehr von der Aufgabenstellung abhängt, ist es schwierig, eine allgemeine Aussage zur Rechenzeit zu machen. Informationen zur Schätzung des Stichprobenfehlers werden während der Rechnung gesammelt und können später vom Postprozessor zusammen mit den Konzentrationswerten ausgewiesen werden.

Die Bahn eines Teilchens  $\mathbf{x}(t)$  wird schrittweise mit einem Zeitschritt  $\tau$  verfolgt, der für die folgende Diskussion als räumlich und zeitlich konstant angenommen wird. Der Zustand eines Teilchens wird durch seinen Ort  $\mathbf{x}$  und seine Eigengeschwindigkeit  $\mathbf{u}$  gegenüber der mittleren Strömungsgeschwindigkeit  $\mathbf{V}(\mathbf{x})$  beschrieben. Der Ortsvektor  $\mathbf{x}$  wird für die Zeiten  $t_n = n\tau$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) ausgerechnet,  $\mathbf{x}_n \equiv \mathbf{x}(t_n)$ . Während eines Schrittes von  $t_n$  nach  $t_{n+1}$  ändert sich die Position des Teilchens durch den Transport mit der Strömung und durch die Diffusion im transportierenden Medium,

$$\mathbf{x}_{n+1} = \mathbf{x}_n + \tau[\mathbf{V}(\mathbf{x}_n) + \mathbf{u}] .$$

Der Anteil der Diffusion,  $\tau\mathbf{u}$ , wird durch einen Zufallsprozeß simuliert, indem die Komponenten des Vektors  $\mathbf{u}$  mit jedem Zeitschritt in einem Markov-Prozeß variiert werden. Bei der Realisierung dieses Algorithmus im Computerprogramm wird der Zeitschritt  $\tau$  nicht konstant gehalten sondern zur Optimierung von Rechenzeit und Rechengenauigkeit der räumlichen Variation der Turbulenzgrößen angepaßt.

Die Spurenstoffkonzentration wird als Mittelwert über ein Auszählvolumen berechnet. Hierzu werden zunächst im Dosisfeld für einen bestimmten Zeitraum für jedes Auszählvolumen die Zeiten addiert, die von Teilchen in diesem Volumen verbracht werden. Die mittlere Partikelkonzentration ergibt sich, indem durch die Größe des Rezeptorvolumens und die Mittelungszeit dividiert wird. Mit Hilfe der Menge, die von einem Teilchen repräsentiert wird, kann dann auf die Stoffkonzentration umgerechnet werden. Je größer das Volumen gewählt wird, desto geringer fällt der Stichprobenfehler aus, aber desto geringer ist auch die räumliche Auflösung. Der Stichprobenfehler kann vom Programm selbst ohne zusätzlichen Rechenaufwand geschätzt werden.

**A N H A N G A3:  
BESCHREIBUNG MISKAM**

## MISKAM - anspruchsvolle numerische Immissionsprognose

Autor:  
Dr. J. Eichhorn  
Arbeitsgruppe Stadtklima  
Institut für Physik der Atmosphäre  
Johannes Gutenberg - Universität  
D-55099 Mainz

in Zusammenarbeit mit

**giese-eichhorn**

umweltmeteorologische software  
anwendung beratung entwicklung vertrieb

*Mit der vorliegenden Broschüre stellen wir Ihnen das numerische Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM vor. Dieses ausgereifte Prognosemodell kann zu einem wichtigen Hilfsmittel einer ökologisch orientierten Stadtplanung werden, da es die lufthygienischen Konsequenzen städtebaulicher Maßnahmen bereits vor deren Realisierung quantitativ erfassen und somit die Wahl optimaler Lösungen sinnvoll unterstützen kann. Durch die physikalisch anspruchsvollen Modellansätze erschließt sich ein weit gefächertes Anwendungsspektrum des Modells.*

### Motivation

Die Vorhersage zu erwartender verkehrsbedingter Immissionen gewinnt im Zusammenhang mit der Diskussion neuer gesetzgeberischer Richtlinien (z.B. Bundes-Immissionsschutzverordnung, VDI-Richtlinien u.ä.) zunehmend an Bedeutung. Es ist praktisch keine planerische Maßnahme, sei es im städtebaulichen Bereich oder im Bereich der Straßenplanung, denkbar, bei der auf prognostische Aussagen über Immissionsbelastungen (Jahresmittelwerte, Spitzenbelastungen) verzichtet werden

könnte. Eine wichtige Rolle bei der Beurteilung bestehender Belastungen spielt dabei die Messung der wichtigsten Luftschadstoffe, wobei Meßprogramme aufgrund der relativ hohen Kosten jedoch stets nur eine geringe räumliche Auflösung gestatten. Desweiteren können Messungen meist nur über eng begrenzte Zeitspannen ausgeführt werden.

Seit einigen Jahren wird als Ergänzung und Erweiterung der Möglichkeiten von Meßprogrammen zunehmend die Entwicklung numerischer Methoden zur Immissionsprognose vorangetrieben. Die rasante technische Entwicklung auf dem Hardware-Sektor ermöglicht heute den Betrieb anspruchsvoller numerischer Modelle auf Standard-PC's, wofür noch vor wenigen Jahren Hochleistungsrechner erforderlich waren. Umso erstaunlicher ist es, daß bisherige Richtlinien (z.B. TA-Luft) lediglich den Einsatz von Gaußmodellen verlangen, obwohl deren Schwächen und Einschränkungen hinlänglich bekannt sind. Erst in der jüngsten Vergangenheit verlagert sich auch das behördliche Interesse zu komplexeren Modellen, die insbesondere den Ausbreitungsbedingungen in bebautem Terrain Rechnung tragen.

Das Modell MISKAM (Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell) ist der vom physikalischen Inhalt her wohl anspruchsvollste Vertreter einer ganzen Reihe inzwischen verfügbarer Modelle. Es wird am Institut für Physik der Atmosphäre der Universität Mainz (vormals Institut für Meteorologie) entwickelt. Dieses Institut befaßt sich seit mehr als 10 Jahren mit der Entwicklung regionaler und lokaler Klima- und Ausbreitungsmodelle. Neben der stetigen Weiterentwicklung und Pflege des Modells MISKAM steht derzeit die Arbeit an dem Regionalmodell KLIMM

(Klima-Modell Mainz) im Vordergrund. KLIMM wird für regionalklimatische und lufthygienische Fragestellungen eingesetzt, bei denen Gebiete von ca. 5 bis 50 km Horizontalausdehnung betrachtet werden.

Der Aufgabenbereich von MISKAM liegt dagegen im Bereich kleinräumiger Ausbreitungsprozesse mit typischen Modellausdehnungen von einigen 100 m. MISKAM ist somit ein Instrument, welches speziell für die oben genannten Aufgabenstellungen (Straßenbau, Stadtplanung) geeignet ist.

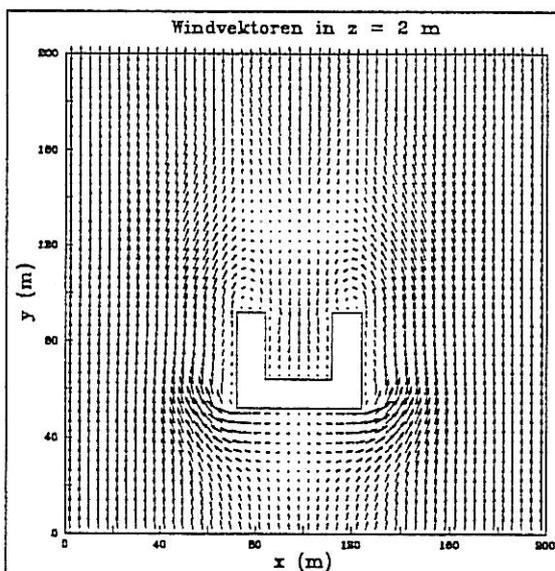


Abbildung 1: Simulierte Umströmung eines U-förmigen Gebäudes.

MISKAM ist ein dreidimensionales nicht-hydrostatisches Strömungs- und Ausbreitungsmodell zur kleinräumigen Prognose von Windverteilungen und Immissionskonzentrationen in der Umgebung von Einzelgebäuden (siehe Abb. 1), sowie in Straßen bis hin zu Stadtteilen. Es wurde ursprünglich zur Behandlung von

mikroklimatischen Problemen konzipiert (Eichhorn, 1989), erst durch den von Anwenderseite vorgetragenen Wunsch nach einer PC-fähigen Lösung zur Immissionsprognose in Straßen wurde die Entwicklung der jetzt vorliegenden Modellversion vorangetrieben.

MISKAM ermöglicht die explizite Behandlung von Gebäuden in Form von rechtwinkligen Blockstrukturen, so daß die Besonderheiten des Strömungsgeschehens in der Umgebung von Gebäuden realistisch modelliert werden können. Desweiteren wurde angestrebt, mit MISKAM ein Modell hohen physikalischen Anspruchs zu erstellen, welches auf die Verwendung empirisch-diagnostischer Beziehungen weitestgehend verzichtet. Die physikalische Grundlage von MISKAM bilden daher die vollständigen dreidimensionalen Bewegungsgleichungen zur Simulation der Strömungsverhältnisse, sowie die Advektions-Diffusions-Gleichung dichteneutraler Substanzen zur darauf aufbauenden Ausbreitungsberechnung.

Im folgenden wird ein Überblick über die physikalische und numerische Konzeption von MISKAM gegeben. Im Anschluß werden einige Simulationsbeispiele gezeigt.

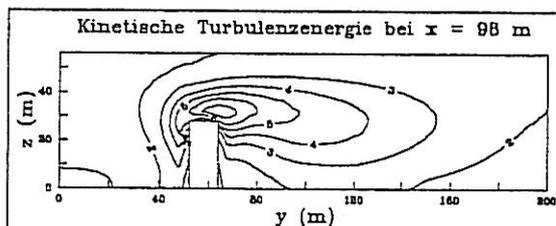
### Modellphysik

**Bewegungsgleichungen:** Das Modell verwendet die dreidimensionalen Bewegungsgleichungen in Boussinesq-approximierter Form. Vernachlässigt werden die Auswirkungen der Erdkrümmung sowie die Corioliskraft, da beide Effekte bei den verwendeten geringen Modellabmessungen von untergeordneter Bedeutung sind.

Eine Konsequenz der Boussinesq-Approximation ist die Forderung nach

einem divergenzfreien, also massenerhaltenden Windfeld, dies wiederum muß durch Lösung einer zusätzlichen Gleichung, der sogenannten Verträglichkeitsbedingung, sichergestellt werden.

**Turbulenzschließung:** Zur Berechnung der turbulenten Diffusionskoeffizienten wird ein sogenanntes E- $\epsilon$ -Modell verwendet. Hierbei werden die Diffusionskoeffizienten aus den Feldern der kinetischen Turbulenzenergie (Abb. 2) und der turbulenten Energiedissipation ermittelt. Für beide Größen werden jeweils prognostische Gleichungen gelöst. Zur Vervollständigung dieser Gleichungen sind mehrere Konstanten vorzugeben, für die weitgehend gesicherte Literaturwerte vorliegen.

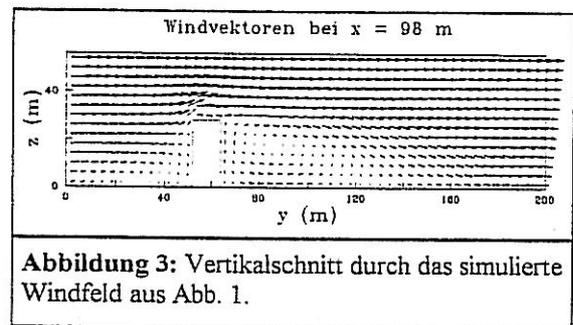


**Abbildung 2:** Simulierte Vertikalverteilung der kinetischen Turbulenzenergie ( $\text{m}^2/\text{s}^2$ ), passend zum Windfeld aus Abb. 1.

Unter Verwendung dieser Schließung ergeben sich insgesamt realistischere Windfelder als mit dem zuvor verwendeten K-Modell. Dieses steht optional weiterhin zur Verfügung. Dabei werden die Diffusionskoeffizienten diagnostisch aus dem mittleren Windfeld, der thermischen Schichtung und einer Mischungslänge berechnet. Diese einfachere Variante der Turbulenzschließung hat gegenüber der E- $\epsilon$ -Schließung den Vorteil eines geringeren Rechenzeitbedarfs, allerdings ergeben sich in einzelnen Simulationsfällen nicht plausible Ergebnisse. Dies ist durch den mangels besserer Informationen will-

kürlich gewählten Ansatz zur Bestimmung des Mischungswegs zu erklären.

**Grenzflächen:** Das Modell beinhaltet verschiedene Typen interner Grenzflächen, im einzelnen den Boden, die Gebäudewände und die Dächer. Die Strömungsabbremsung aufgrund der Reibung an solchen Grenzflächen wird über vorzugebende Rauigkeitslängen berücksichtigt. Gebäudeteilen wird dabei jeweils ein konstanter Wert zugeordnet, dagegen können für den Erdboden unterschiedliche Typen festgelegt werden.



**Abbildung 3:** Vertikalschnitt durch das simulierte Windfeld aus Abb. 1.

Eine Besonderheit bilden Gebäudekanten, da an diesen die ankommende ungestörte Strömung "abreißt". Diesem Effekt wird im Modell durch eine entsprechende Formulierung der Randbedingungen an den luvseitigen Gebäudekanten Rechnung getragen (siehe Abb. 3).

**Transportgleichung:** Nach der Berechnung eines Windfeldes kann die Ausbreitung beliebiger chemisch passiver Substanzen mit MISKAM simuliert werden.

Hierbei wird die dreidimensionale Advektions-Diffusions-Gleichung gelöst. Sedimentation und Deposition können berücksichtigt werden. Quellen unterschiedlichen Typs (Punkt-, Flächen- oder Linienquellen) können beliebig im Modellgebiet verteilt werden.

### Modellnumerik, Hardwareanforderungen

Die Gleichungen werden in einem Kartesischen Koordinatensystem diskretisiert. Das Gitter kann dabei in allen drei Raumrichtungen inäquidistant angelegt werden.

Die Advektionsterme werden mit einem upstream-Schema berechnet. Dabei ist im Ausbreitungsteil zusätzlich die Durchführung von bis zu zwei Korrekturschritten zur Minimierung numerischer Diffusionseffekte (Verfahren von Smolarkiewicz) möglich. Die Diffusionsanteile aller Prognosegleichungen werden mit einem ADI-Verfahren behandelt.

Die Verträglichkeitsbedingung in Form einer Poisson-Gleichung für den Stördruck wird mit einem einfachen SOR-Schema gelöst. Neuere Verfahren sind zwar weit aus schneller, benötigen aber gegenüber SOR merklich mehr Speicherkapazität und sind daher für den PC-Einsatz ungeeignet.

Zur Festlegung der Simulationsdauer können verschiedene Kriterien (feste Zeit, Stationarität) vorgegeben werden.

Zum Betrieb von MISKAM ist als Mindestkonfiguration ein 80386-Rechner mit Koprozessor sowie mindestens 8 MB RAM erforderlich. Vernünftige Rechenzeiten können mit einer derartigen Konfiguration allerdings nicht realisiert werden. Empfohlen wird zumindest ein DX2/66-Prozessor. Die Modellentwicklung wird seit einiger Zeit auf Pentium-Rechnern durchgeführt. Durch die einfachgenaue Variablenschreibweise ist MISKAM vom sogenannten Pentium-Bug nicht betroffen, dies wurde auch durch regelmäßige Vergleichsrechnungen auf anderen Rechnerplattformen sichergestellt.

Die von MISKAM benötigten Rechenzeiten und Speicherkapazitäten sind insbesondere bei Windsimulationen weit höher als diejenigen diverser diagnostischer Modelle. Dieser vermeintliche Nachteil wird jedoch durch die fundierteren und im allgemeinen plausibleren Modellergebnisse kompensiert.

### Validierung

Die Akzeptanz numerischer Modellrechnungen als Planungsinstrument ist in hohem Maße abhängig von der Qualität der Modellresultate im Vergleich mit Messungen, d.h. von der Fähigkeit des Modells, vorliegende Meßdaten mit einer ausreichenden Genauigkeit zu reproduzieren. Validierungsrechnungen für das Modell MISKAM werden von verschiedenen Institutionen durchgeführt.

Im Rahmen zweier von der EG und dem Land Baden-Württemberg geförderten sog. PEF-Projekte (*Projekt Europäisches Forschungszentrum*) erfolgte ein Vergleich der wichtigsten derzeit verfügbaren Modelle anhand von Windkanal- und Naturmeßdaten. Die abschließenden Berichte zeigen, daß bei den Simulationen mit MISKAM weitgehend gute Übereinstimmungen mit den Meßdaten erreicht werden konnte. Insbesondere hinterließ MISKAM beim Vergleich der simulierten Jahresmittelwerte und Perzentile einer Routinemeßstation (Göttinger Straße, Hannover) den besten Eindruck aller getesteten Modelle.

Im Zusammenhang mit dem § 40.2 BImSchG sowie der 23. BImSchV wird vom VDI derzeit eine Richtlinie "Ausbreitungsrechnung für Kfz-Emissionen" ausgearbeitet. Kernstück dieser Richtlinie wird, basierend auf den Ergebnissen des

Modellvergleichs, das Modell MISKAM sein.

Weiter Validierungsexperimente wurden am Institut für Physik der Atmosphäre in Zusammenarbeit mit Lahmeyer International, Frankfurt sowie dem Zentrum für Umweltforschung der Universität Frankfurt durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen eine ähnlich gute Übereinstimmung mit den Meßwerten wie die PEF-Resultate. Desweiteren wurden im Rahmen von Begutachtungsverfahren unter Verwendung von MISKAM wenn möglich jeweils Vergleiche der berechneten Immissionkonzentrationen mit vorhandenen Meßdaten vorgenommen, bislang konnte den MISKAM-Resultaten dabei stets eine vernünftige Übereinstimmung mit den Meßwerten bescheinigt werden.

### Einsatzgebiete

Die Immissionsprognose an bestehenden oder geplanten Straßenzügen stellt sicher den wichtigsten Anwendungsbereich des Modells MISKAM dar. Zunehmende Bedeutung gewinnt dabei die Bewertung innerstädtischer Straßentunnels. Zu diesem Problembereich wurden z.B. von der Firma Lahmeyer International bereits mehrere Untersuchungen mit Hilfe von MISKAM durchgeführt.

Eine andere Anwendungsmöglichkeit liegt in der Abschätzung von Windlasten. Dies ist sowohl im Vorfeld von Baumaßnahmen von Bedeutung, als auch z.B. bei der Begutachtung von windbedingten Schadensfällen.

Eine Reihe weiterer Einsatzgebiete des Modells ist denkbar, stellvertretend seien hier Modellrechnungen zur Beurteilung des Gebäude-Innenklimas und zur

Problematik der energiesparenden Belüftung - Stichwort *Intelligent Building* - genannt.

### Lieferumfang

MISKAM ist derzeit in der Versionen 3.11 erhältlich.

Diese Version repräsentiert den aktuellen Entwicklungsstand vom physikalischen und numerischen Inhalt her. Meteorologische (Anströmung, Schichtung) und allgemeine Startparameter (Simulationsablauf, Art der Turbulenzschließung, Abbruchkriterium u.a.) werden dem Programm über eine jeweils anzupassende INI-Datei mitgeteilt. Dadurch kann diese Modellversion, z.B. für Jahresstatistiken, problemlos im Batch-Betrieb laufen.

Zusätzlich wird eine menügesteuerte Bedienungsoberfläche mitgeliefert, die zum einen eine interaktive Programmsteuerung, zum anderen eine ganze Reihe graphischer Ausgabeoptionen (Ausgabe auf dem Bildschirm, als Postscript- oder HPGL-Datei) bis hin zu Vergleichsmöglichkeiten berechneter Immissionskonzentrationen mit verschiedenen Richt- und Leitwerten bietet. Fehleingaben bei der interaktiven Bedienung des Modells werden weitestgehend vom Programm abgefangen.

Derzeit wird die nächste Version von MISKAM vorbereitet. MISKAM 4 wird im Herbst 1996 erscheinen und beinhaltet u.a. folgende Erweiterungen:

- Durchströmung von Gebäudeteilen
- Flexible Einströmrandbedingungen (z.B. zur Vorgabe eines festen Einströmprofils zur Simulation des

Eindringens von Kaltluftabflüssen in bebautes Terrain)

- Lärmschutzwände
- alternatives Advektionsschema für den Impulstransport
- Detailverbesserungen

Neben den eigentlichen Programmdateien enthalten die Distributionsdisketten die folgenden Hilfsprogramme:

- Das Programm BINCONV zur Konvertierung älterer Binärdateien in das jetzt verwendete Ausgabeformat.
- Das Programm KONFIG zur interaktiven Erstellung von MISKAM-Konfigurationsdateien.
- Das Programm DATXYZ zur Ausgabe einzelner Querschnitte von beliebigen Modellergebnissen in Form von xyz-Tabellen.

Zu allen Programmen wird der FORTRAN77 - Quellcode derjenigen Programmteile mitgeliefert, die die Ein- und Ausgabe von Daten verwalten. Darüberhinaus sind einige exemplarische Konfigurationsdateien sowie Ergebnisse von Beispielrechnungen Bestandteil der Distributionsdisketten. Ein ausführliches Bedienungshandbuch ist derzeit in Arbeit und wird allen bisherigen Anwendern kostenlos nachgereicht.

Der vollständige Quellcode gehört nicht zum Lieferumfang, kann aber gegen Aufpreis erworben werden.

MISKAM kann von Hochschulen zur Verwendung in Forschung und Lehre zu günstigen Konditionen erworben werden.

## Referenzen

MISKAM wird derzeit von folgenden Institutionen eingesetzt:

- Technische Überwachungsvereine (Essen, Freiburg, Hamburg, Hannover, Kaiserslautern, Mannheim, Stuttgart u.a.)
- Landesämter für Umweltschutz (Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Thüringen, Baden-Württemberg)
- Städtische Umweltämter (Leipzig, Stuttgart)
- Ingenieur- und Beratungsbüros (Lahmeyer International, Frankfurt; Lohmeyer, Karlsruhe; uniplan, Mainz; Büro für Umweltmeteorologie, Paderborn; probiotec, Aachen u.a.)
- Kommunalverband Ruhr
- Universitäten, Fachhochschulen (Bochum, Erfurt, Hannover, Mainz, Paderborn u.a.)

## Literatur zu MISKAM

1. Eichhorn, J., R. Schrodin und W. Zdunkowski, 1988: Three-dimensional Numerical Simulations of the Urban Climate. *Beitr Phys. Atmos.*, **61**, 187 - 203.
2. Eichhorn, J., 1989: *Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen mikroskaligen Stadtklima - Modells*. Dissertation, Universität Mainz.
3. Eichhorn, J., 1995: Validation of a microscale pollution dispersal model. In: *Proceedings of the 21st International Meeting on Air Pollution Modelling and its Application*, Baltimore, Maryland, U.S.A.
4. weitere Literaturhinweise auf Anfrage ...

**A N H A N G A4:**  
**BESCHREIBUNG DES BEILIEGENDEN DATENMATERIALS**

## A4 BESCHREIBUNG DES BEILIEGENDEN DATENMATERIALS

Dem Bericht liegen insgesamt 3 CD's mit Datenmaterial bei. Dabei handelt es sich um Eingangs-, Zwischenergebnis- und Endergebnisdateien zum Themenkomplex „Berechnung definierter Einzelfälle entsprechend GIRL“ aus Kapitel 5.

Die ersten beiden CD's enthalten die MISKAM-Eingangsdaten der betrachteten Fälle und die jeweils berechneten Strömungsfelder in 10°-Schritten. Für jeden Fall wurde ein abgetrenntes direktory erstellt, unter dem alle zugehörigen Informationen zu finden sind. Die MISKAM-Werte für Fall 4 sind mit denen von Fall 3 identisch (gleiche Strömungsbedingungen), so daß dieser Fall bei den MISKAM-Daten nicht extra ausgewiesen wird.

Für Fall 3 wurden 2 verschiedene Strömungsrechnungen durchgeführt, zum einem mit 3 und zum anderen mit nur 2 Wohnhäusern. Die Ergebnisse und Eingangsdaten dazu sind unter „Fall 3“ jeweils in Extra-direktories zu finden („Fall3\_3Haus“ und „Fall3\_2Haus“). Die Eingangsdaten sind jeweils in einem direktory „ein“ und die berechneten Strömungsfelder in einem direktory „aus“ eingeordnet. Zur Beschreibung der Dateien siehe Eichhorn (1998).

Die LASAT-Eingangs- und Ergebnisdateien sind auf der dritten CD zu finden. Auch hier erfolgte eine Einteilung in die einzelnen betrachteten Fälle 1 bis 7. Die LASAT-kompatiblen Windfelder, die aus den Strömungswindfeldern der MISKAM-Rechnung ermittelt wurden, sind jeweils in einem Unterdirectory „wnd“ eingeordnet. Die restlichen Eingangs- und Ergebnisdateien befinden sich für die Fälle 2, 3, 5, 6 und 7 direkt im Verzeichnis für den jeweiligen Fall. Bei Fall 1 wurden 2 verschiedene LASAT-Rechnungen durchgeführt (siehe Text in Kapitel 5), für die die Windfelder jeweils gleich waren.

Unter „Fall1\_EINH“ stehen die Eingangs- und Ergebnisfiles für die Rechnung mit einer mittleren Emission, unter „Fall1\_VARI“ die entsprechenden Files für die Rechnung mit variablen Emissionen in Abhängigkeit von der anliegenden Windgeschwindigkeit (windinduzierte Quelle).

Fall 4 wurde unterteilt in ein direktory „Fall4\_3HAUS“ (Windfelder sind denen von Fall3 gleich und nicht explizit nochmals ausgewiesen) und ein direktory „Fall4\_2HAUS“. Zur Dateibeschriftung der LASAT-Eingangs- und Ergebnisfiles siehe Janicke (1998).