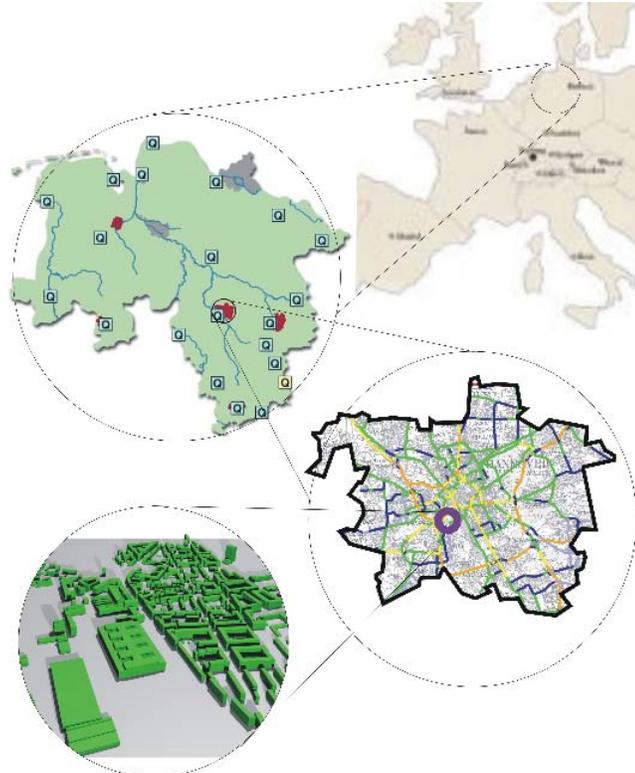


Nachhaltiges Niedersachsen 38

Dauerhaft umweltgerechte Entwicklung



Staatliches
Gewerbeaufsichtsamt
Hildesheim



11. Materialband für Maßnahmenpläne nach der EU- Richtlinie zur Luftqualität

**VERTEILUNG DER
LUFTSCHADSTOFFBELASTUNG
IN DER STADT
HANNOVER AUF DER BASIS DER
NEUEN EMISSIONSFAKTOREN FÜR
STRASSENVERKEHR**



Niedersachsen

Herausgeber:
Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim
Hindenburgplatz 20
31134 Hildesheim

in Zusammenarbeit mit
Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe
Dr.-Ing. W. Bächlin
Dipl.-Met. H. Frantz
www.lohmeyer.de

Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim
ZUS Umweltmeteorologie
vormals Niedersächsisches Landesamt für Ökologie
Dipl. Met. W. J. Müller

Titelbild : Lohmeyer et al. (2005)
1. Auflage 2005 (Internet)

ISSN: 0949-8265

Schutzgebühr: -

Bezug:
Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim
31135 Hildesheim
www.luen-ni.de
email:

wolfgang.mueller@gaa-hi.niedersachsen.de

Download der bisherigen erschienenen Materialienbände ist nach Auflösung des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie (NLÖ) über Internet www.luen-ni.de möglich.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Grundlagen
3. Vorgehensweise der Untersuchung
 - 3.1 Berechnungsverfahren
 - 3.1.1 Emissions- Immissionsbestimmung
 - 3.1.2 Projektablauf
 - 3.2 Überschreitungshäufigkeit der Stunden- und Tagesmittelwerte
4. Eingangsdaten
 - 4.1 Lage des Untersuchungsgebietes
 - 4.1.1 Gesamtstädtische Betrachtung
 - 4.2 Meteorologische Daten
 - 4.3 Schadstoffvorbelastung
 - 4.4 Verkehrsdaten
5. Emissionen
 - 5.1 Betrachtete Schadstoffe
 - 5.2 Methode zur Bestimmung der Emissionsfaktoren
 - 5.2.1 Motorbedingte Emissionsfaktoren
 - 5.2.2 Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren
 - 5.3 Emissionen pro Fahrzeug
 - 5.4 Emissionen des untersuchten Straßennetzes
6. Ergebnisse
 - 6.1 Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Messdaten
 - 6.2 Gesamtstädtische Betrachtung
7. Maßnahme 2 – Göttinger Straße (Situation April 2005)
8. Literatur

1. Einleitung

Das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim ist zuständig für die Ermittlung und Analyse der Luftschadstoffbelastungen nach der EU Rahmenrichtlinie zur Luftqualität 96/62/EG und den zugehörigen Tochterrichtlinien 1999/30/EG, 2000/69/EG, 2002/3/EG und 2004/107/EG. Die Umsetzungen dieser Richtlinien in nationales Recht erfolgten in der 22. und 33. BImSchV. Bei Überschreitungen der in den Tochterrichtlinien festgelegten Grenzwerten fordert die EU Maßnahmenpläne, die darstellen, durch welche Maßnahmen zukünftig eine Einhaltung der Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit sichergestellt werden kann. Für diese Maßnahmenplanungen ist in Niedersachsen das Niedersächsische Umweltministerium zuständig.

Ein Überschreitungsort wurde im Stadtgebiet Hannover entsprechend der EU Tochterrichtlinien zur Luftqualität im Detail untersucht. Im Auftrag der Zentralen Unterstützungsstelle des Gewerbeaufsichtsamtes Hildesheim wurde von dem Ing.-Büro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe die Immissionsbelastung in Hannover auf der Basis der neuen Emissionsfaktoren für Straßenverkehr untersucht. Diese Ergebnisse stellen eine Grundlage für weitere Überlegungen entsprechend der Richtlinien zur Luftqualität dar.

2. Grundlagen

Die Überschreitungen der durch die EU vorgegebenen Beurteilungswerte (Grenzwert plus Toleranzmarge) für Stickstoffdioxid, NO₂ und Feinstaub, PM₁₀ im Jahr 2002 (für Niedersachsen siehe z.B. Jahresbericht des LÜN unter www.luen-ni.de) löst eine Kette von weiteren Schritten aus. Die grundsätzliche Abfolge lautet:

- Ermittlung der hot spot Bereiche der Grenzwertüberschreitung(en)
- Messtechnischer Nachweis der Grenzwertüberschreitung(en)
- Analyse der Verursacherquellgruppen
- Diskussion und Auswahl von Maßnahmen mit den zuständigen Behörden
- Prognose der Wirksamkeit von Maßnahmen
- Durchführung von Maßnahmen
- Messtechnischer Nachweis der Wirksamkeit der Maßnahmen und der Unterschreitung(en) der Grenzwerte

Ausgewählte und durchgeführte Maßnahmen sind messtechnisch zu überprüfen. Sollte weiterhin eine Grenzwertüberschreitung vorliegen, so sind aus der neuerlichen Analyse

der Verursacher weitere Maßnahmen auszuwählen. Hierbei wird der Stufenplan nochmals durchlaufen.

Für jeden einzelnen Teilschritt sind standardisierte Reports für die EU Kommission zu fertigen und zu übermitteln. Die einzelnen Teilschritte sind zu dokumentieren und zu veröffentlichen. Das Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim praktiziert in Nachfolge des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie (NLÖ) dieses Vorgehen mit der Veröffentlichung der Materialienbände in der Schriftenreihe Nachhaltiges Niedersachsen sowie dem Downloadangebot im Internet www.luen-ni.de.

Dieser vorliegende Materialband behandelt die Teilschritte

- Ermittlung von hot spot Bereichen der Grenzwertüberschreitung(en) in Hannover
- Prognose der Wirksamkeit einer Maßnahme – Detailgebiet Göttinger Straße

Das Vorwissen aus einer Vielzahl von früheren messtechnischen Untersuchungen und Modellrechnungen in dem Verkehrsraum des Stadtgebietes von Hannover fand bei dem vorliegenden Projekt auch Eingang.

3. Vorgehensweise der Untersuchung

3.1 Berechnungsverfahren

3.1.1 Emissions- und Immissionsbestimmung

Gemäß der Fragestellung werden die Schadstoffe Stickoxide NO_x bzw. NO_2 und Feinstaubpartikel (PM_{10}) behandelt. Für die Bearbeitung der Aufgabenstellung hat sich eine zweistufige Vorgehensweise bewährt. In der ersten Stufe, der Basisstufe für Szenariorechnung, wird mit dem Modellsystem PROKAS (siehe www.lohmeyer.de/modelle/prokas_detail.htm) unter Berücksichtigung der typisierten Bebauungsstruktur (PROKAS_B) das gesamte relevante Straßennetz (PROKAS_V) der Stadt Hannover abgebildet. PROKAS hat bei einem bundesweiten "Vergleich von berechneten Immissionswerten innerhalb eines beidseitig bebauten Straßenquerschnitts", der von BWPLUS, Forschungszentrum Karlsruhe veranstaltet wurde, gute Übereinstimmung der Ergebnisse mit Messungen gezeigt. Es werden für das gesamte Stadtgebiet auf Basis der neuen Emissionsfaktoren Bereiche mit hohen Immissionswerten ermittelt.

Als Basis der Emissionsmodellierung dienen das Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA 2.1) aus (UBA, 2004) und neuere Ansätze für die Modellierung der PM_{10} -Emissionen. Die PM_{10} -Emissionen aus Abrieben (Reifen, Bremsen und Straßenbelag) und infolge der Wiederaufwirbelung (Resuspension) von Straßenstaub (nach bisherigen Untersuchungen des NLÖ in Hannover von besonderer Bedeutung) werden entsprechend der von Gehrig et al. (2003) vorgeschlagenen und in Lohmeyer (2004a und 2004b) beschriebenen Vorgehensweise berechnet. Diese wurde im Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI), Unterausschuss Verkehrsimmissionen in Berlin am 16.6.2004 und auf der Konferenz „Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes“ in Garmisch-Partenkirchen, 1. – 4. Juni

2004 (Lohmeyer, 2004) vorgestellt und diskutiert. Die Vorgehensweise zur Emissionsbestimmung entspricht somit dem aktuellen Stand der Kenntnisse. Die großräumige Hintergrundbelastung in Hannover fließt in die Berechnungen ein. Das hier eingesetzte Modellsystem mit den aktualisierten Emissionsfaktoren wurde bereits in mehreren Städten eingesetzt und liefert gute Übereinstimmung mit gemessenen Werten. Die notwendigen Verkehrsdaten lagen in Hannover im Format des Verkehrsmodells VISUM vor. Diese Daten wurden in das Simulationsmodell übernommen. Als Ergebnis der nachfolgenden Ausbreitungsrechnungen werden für das gesamte Straßennetz der Stadt Hannover flächenhaft die Konzentrationen entlang den Straßen ermittelt. Mit diesem System können auch die in Maßnahmeplänen zu diskutierenden zukünftigen Verkehrsumlegungen oder Verkehrsverlagerungen direkt berücksichtigt und deren Auswirkungen auf das gesamte Netz berechnet werden. In der zweiten Stufe, dem Detailgebietsszenario, erfolgte eine detailliertere Betrachtung aufbauend auf den Arbeiten des Projektes VALIUM und wie im 1. Materialband zur Maßnahmenplanung (Lohmeyer et al., 2003) beschrieben. In Erweiterung der dort beschriebenen Vorgehensweise wird die großräumige Hintergrundbelastung mit dem Lagrange'schen Ausbreitungsmodell LASAT berechnet, die detaillierte Modellierung der Gebäudeeinflüsse erfolgt mit dem dreidimensionalen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM – wie auch in dem 1. Materialband zur Maßnahmenplanung beschrieben. Der Einsatz des aufwändigeren Lagrange'schen Modells LASAT im Rahmen der Detailrechnung liefert den Vorteil, dass hier eine der TA Luft konforme Modellierung verwendet wird. D.h. bei diesen betrachteten Flächen liegen zukünftig die Eingangsdaten für ein Modellsystem vor, mit dem auch für punktförmige Quellen (z.B. Industrie) Ausbreitungsrechnungen durchgeführt werden können. Nachfolgend ist die Vorgehensweise detailliert beschrieben. Auf die Ergebnisse der Detailgebietsberechnungen wird in diesem Materialband nicht eingegangen.

3.1.2 Projektablauf

Der Ablauf in der Basisstufe für Szenariorechnung erfolgte entsprechend den nachfolgenden Schritten:

- Bereitstellung der Straßenabschnitte mit Randbebauung und Verkehrsstärke (DTV)
- Typisierung der Randbebauung für die zu betrachtenden Abschnitte
- Ermittlung der NO₂- und PM₁₀-Emissionen nach aktualisiertem Handbuch für Emissionsfaktoren und den neuen Ansätzen für die PM₁₀-Emissionsmodellierung von Abrieb und Aufwirbelung. Berechnung der Immissionen für die zu betrachtenden Abschnitte mit PROKAS_B.
- Vergleich mit den Immissionsgrenzwerten der 22. BImSchV und Identifizierung der Abschnitte mit potentiellen Grenzwert-Überschreitungen

Der Ablauf des 1. anschließenden Detailgebietsszenarios umfasste die Detailbetrachtung Göttinger Straße und nähere Umgebung.

Diese Detailbetrachtung beinhaltet:

- Detaillierte Modellierung der Bebauung und des Verkehrs, der Emissionen nach aktualisiertem Handbuch für Emissionsfaktoren bzw. neuen Ansätzen für Abrieb und Aufwirbelung bei PM10. Berechnung der Immissionen. Diskussion und Festlegung von verkehrlichen Maßnahmen. Betrachtung der immissionsseitigen Auswirkung der auf Grund der Maßnahme modifizierten Verkehrsströme.
- Ermittlung der NO₂- und PM10-Immissionen für die festgelegten Beurteilungsflächen mit dem mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM in Kombination mit dem Modell LASAT zur Berücksichtigung des umgebenden Straßennetzes.
- Vergleich mit den Immissionsgrenzwerten der 22. BImSchV

In diesem Materialienband wird nur die gesamtstädtische Betrachtung in den Ergebnissen dargestellt. Die 1. Detailgebietsbearbeitung erfolgte für die Göttinger Straße.

3.2 Überschreitungshäufigkeit der Stunden- und Tagesmittelwerte

Um den erheblichen Aufwand an Modellrechnungen überschaubar zu halten, werden Vereinfachungen durchgeführt.

Die novellierte 22. BImSchV definiert neue Werte der Kurzzeitbelastung von NO₂ mit 18 Stunden Überschreitung von 200 µg/m³ im Kalenderjahr. Entsprechend einem praktikablen Ansatz basierend auf Auswertungen von Messdaten (Lohmeyer et al., 2000) kann abgeschätzt werden, dass der neue Grenzwert dann eingehalten ist, wenn der 98-Perzentilwert 115 µg/m³ bis 170 µg/m³ nicht überschreitet. Die genannte Spannbreite auf Grund von Messdaten verschiedener Messstellen ist groß; die Interpretationen der Messdaten deuten darauf hin, dass bei einer Unterschreitung des 98-Perzentilwertes von 130 µg/m³ der neue EG-Grenzwert für die maximalen Stundenwerte eingehalten wird.

Zur Ermittlung der in der 22. BImSchV definierten Anzahl von Überschreitungen eines Tagesmittelwertes der PM10-Konzentrationen von 50 µg/m³ wird ein ähnliches Verfahren eingesetzt. Es wird wegen der Unsicherheiten bei der Berechnung der PM10-Emissionen sowie wegen der von Jahr zu Jahr an den Messstellen beobachteten meteorologisch bedingten Schwankungen der Überschreitungshäufigkeiten im Sinne einer konservativen Vorgehensweise die mit einem Sicherheitszuschlag von einer Standardabweichung erhöhte angegebene „best fit“-Funktion aus Lohmeyer (2004a) angewendet. Mehr als 35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von 50 µg/m³ (Grenzwert) werden mit diesem Ansatz für PM10-Jahresmittelwerte ab 29 µg/m³ erwartet.

4 . Eingangsdaten

4.1 Lage des Untersuchungsgebietes

Die Größe des Untersuchungsgebietes ist abhängig von der jeweiligen Fragestellung. Für die gesamtstädtische Betrachtung werden sämtliche Straßen im Stadtgebiet von Hannover abgebildet, die aus Sicht der Stadt Hannover in die Untersuchung einbezogen werden sollen.

Für die Detailgebietsbetrachtung ist das Untersuchungsgebiet wesentlich kleiner, weil hier die kleinräumigen Betrachtungen mit hohem Detaillierungsgrad im Vordergrund stehen, der Beitrag der weiter entfernt liegenden Emissionen wird in Form der Vorbelastung berücksichtigt.

4.1.1 Gesamtstädtische Betrachtung

Das Ziel der gesamtstädtischen Betrachtung ist eine flächendeckende Information der Immissionsverhältnisse in allen relevanten Straßenräumen. Dies erfordert die detaillierte Berücksichtigung der örtlichen Bebauung in parametrisierter Form. Die Grundlagen für die Erfassung der Bebauungshöhen liefert das von der Landeshauptstadt Hannover, Bereich Geoinformation zur Verfügung gestellte Gebäudekataster. Das berücksichtigte Gebiet ist in **Abb. 4.1** dargestellt.

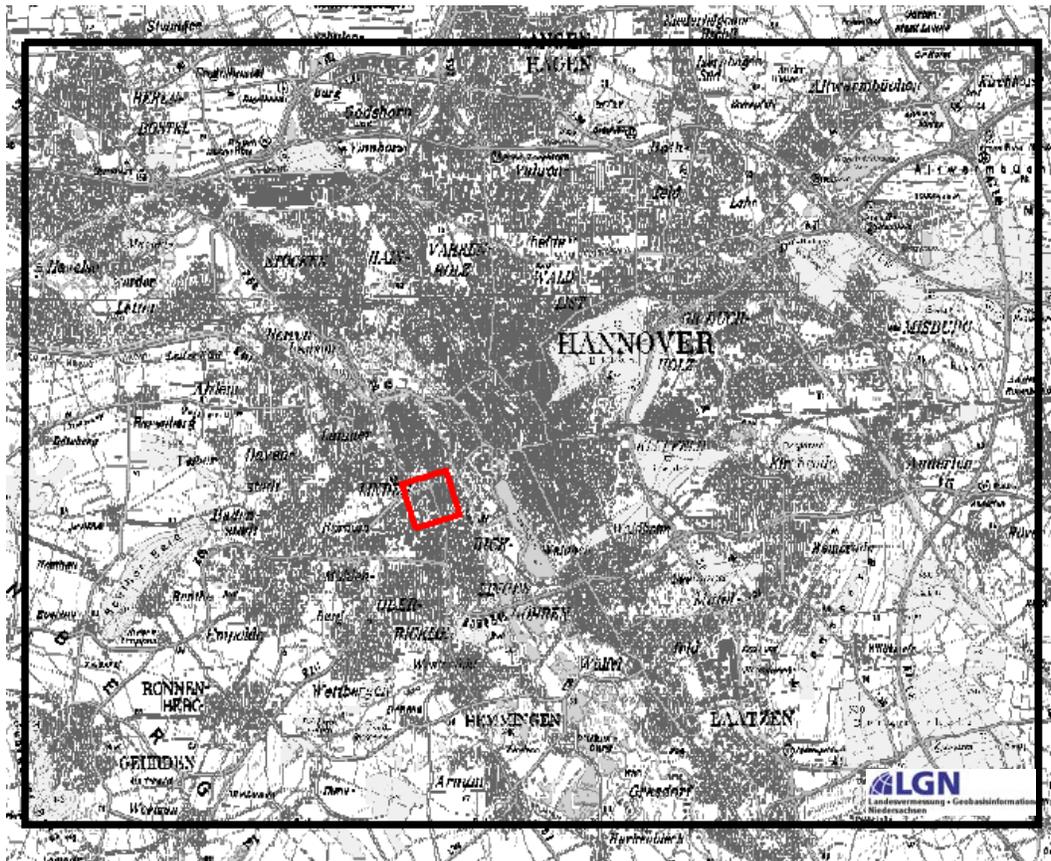


Abb. 4.1 Gesamtes Untersuchungsgebiet mit schwarzem Rahmen, 1. Detailgebiet Göttinger Straße mit rotem Rahmen gekennzeichnet.

4.2 Meteorologische Daten

Für die Berechnung der Schadstoffimmissionen werden Ausbreitungsklassenstatistiken (AKS) bzw. -zeitreihen (AK-Term) benötigt. Das sind Angaben über die Häufigkeit verschiedener Ausbreitungsverhältnisse in den unteren Luftschichten, die durch Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Stabilität der Atmosphäre definiert sind. Windmessdaten werden in Hannover auf dem Dach des ehemaligen NLÖ-Gebäudes (Station HRSW, Messhöhe 42 m über Grund) in der Göttinger Straße durch das Lufthygienische Überwachungssystem Niedersachsen (LÜN) und am Flughafen Langenhagen durch den Deutschen Wetterdienst (Messhöhe 10 m über Grund) erhoben. Die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten für die Station HRSW für das Jahr 2002 ist in **Abb. 4.2** dargestellt.

Ausgeprägt sind die Hauptmaxima aus West und Südost, die jeweils einen breiten Sektor aufspannen. Die mittlere Windgeschwindigkeit liegt bei 3.7 m/s. Im Vergleich zu dem einzelnen Jahr 2002 ist in **Abb. 4.3** die 10-jährige Häufigkeitsverteilung für den Zeitraum von 1995 bis 2004 dargestellt. Die Verteilung zeigt die gleiche Charakteristik wie die des Jahres 2002 mit breiten Hauptwindrichtungssektoren aus West und Südost. Auch in der Verteilung der Windgeschwindigkeiten prägen in beiden Zeiträumen hohe Geschwindigkeiten den Westsektor und niedrige Geschwindigkeiten den Südostsektor. Die mittlere Windgeschwindigkeit liegt im 10-jährigen Mittel mit 3.8 m/s nur leicht über der des Jahres 2002.

Da bei der gesamtstädtischen Betrachtung die Straßen mit den hohen Belastungen im wesentlichen im Kernbereich der Stadt liegen, wurde als Referenzwindstatistik die Station HRSW gewählt. Für die Detailbetrachtung Göttinger Straße wurde ebenfalls die Windverteilung an der Station HRSW herangezogen.

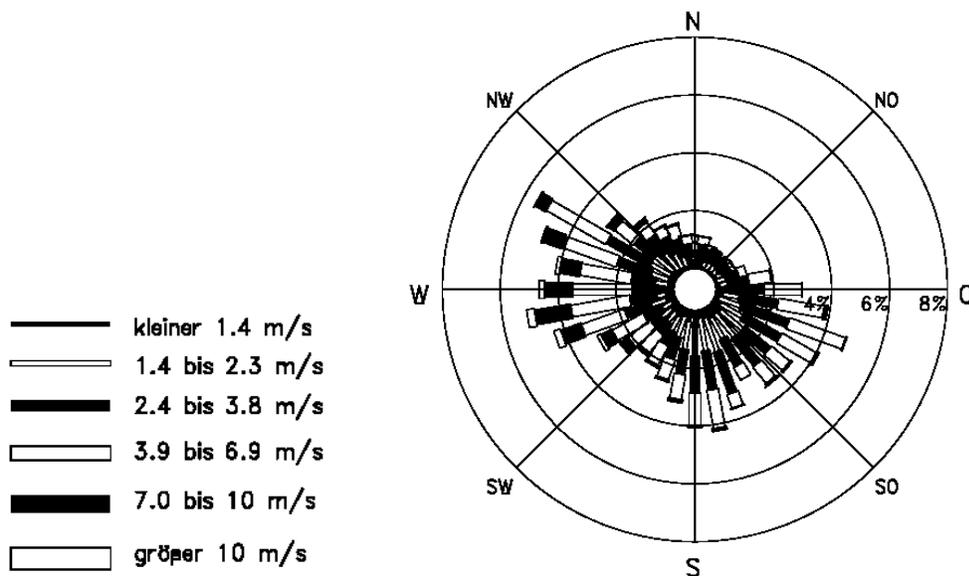


Abb. 4.2: Windrose für den Zeitraum Januar 2002 bis Dezember 2002 an der Station HRSW in 42 m über Grund

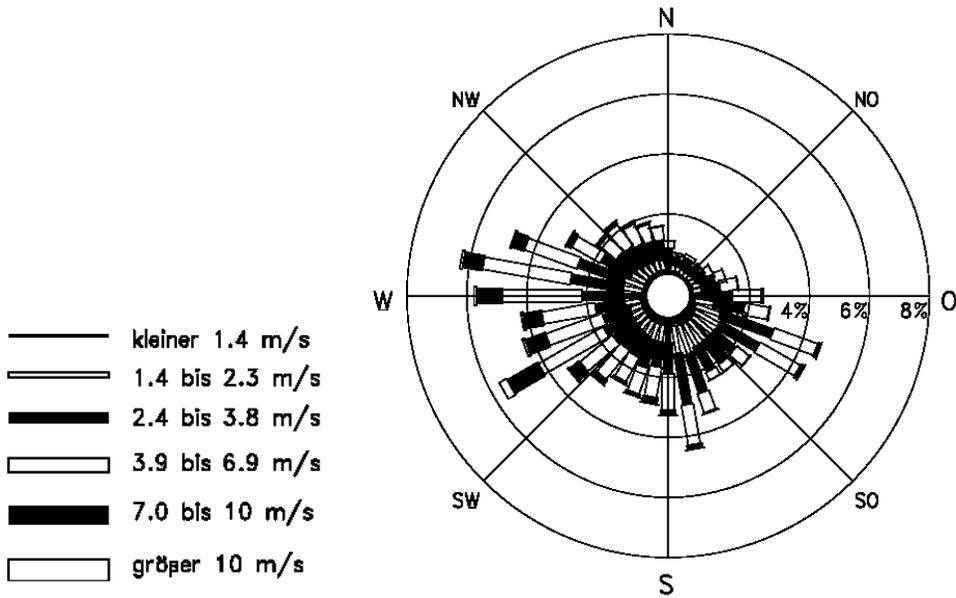


Abb. 4.3: Windrose für den Zeitraum Januar 1995 bis Dezember 2004 an der Station HRSW in 42 m über Grund

4.3 Schadstoffvorbelastung

Die Immission eines Schadstoffes im Nahbereich von Straßen setzt sich aus der großräumig vorhandenen Vorbelastung und der straßenverkehrsbedingten Zusatzbelastung zusammen.

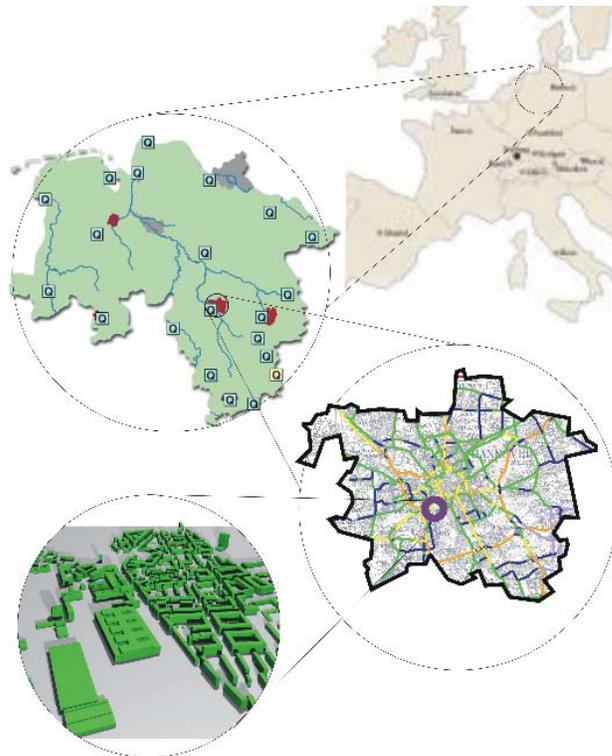


Abb. 4.4 Zusammensetzung der Gesamt-Immissionsbelastung aus den verschiedenen Vorbelastungsanteilen (Lohmeyer, 2005)

Die Vorbelastung entsteht durch Überlagerung von Immissionen aus Industrie, Hausbrand, nicht detailliert betrachtetem Nebenstraßenverkehr und weiter entfernt fließendem Verkehr sowie überregionalem Ferntransport von Schadstoffen (s. **Abb. 4.4**). Es ist die Schadstoffbelastung, die im Untersuchungsgebiet ohne Verkehr auf den explizit in die Untersuchung einbezogenen Straßen vorliegen würde. Dies bedeutet, dass die für die Rechnung anzusetzende Vorbelastung von der Größe des Untersuchungsgebietes abhängig ist.

An der Überdachstation HRSW in der Göttinger Straße wurden für das Jahr 2002 $25 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ im Jahresmittel und $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als 98-Perzentilwert gemessen. Für PM10 wurde ein Jahresmittelwert von $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. Diese Messdaten beinhalten sowohl die großräumigen Anteile als auch Anteile aufgrund der Straßen im Untersuchungsgebiet. Die Luftgütestation Allertal (WASS) in Walsrode/Dueshorn liegt ca. 50 km nördlich vom Zentrum Hannover entfernt. An dieser Station wurden im Jahresmittel $15 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ und als 98-Perzentilwert $44 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ erfasst. Als Jahresmittelwert für PM10 wurden $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Die Hintergrundstation Waldhof des Umweltbundesamtes liegt ca. 85 km nordöstlich von Hannover und repräsentiert den ländlichen Hintergrund. An dieser Station wurden im Jahresmittel im Jahr 2002 $11 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ und $24 \mu\text{g PM10}/\text{m}^3$ gemessen.

Die den Berechnungen zu Grunde liegende Vorbelastung resultiert aus der großräumigen Hintergrundbelastung zuzüglich der Immissionsbelastung auf Grund der in der Ausbreitungsrechnung nicht explizit berücksichtigten Quellen, wie z.B. Industrie, Gewerbe, Hausbrand, Straßen geringerer Belastung u.ä. Die Summe dieser beiden Anteile wird nachfolgend Vorbelastung genannt.

Basierend auf den Messdaten im Untersuchungsgebiet bzw. der nächstgelegenen Stationen und unter Berücksichtigung der oben genannten Beiträge der in der Ausbreitungsrechnung nicht explizit erfassten Beiträge wurden folgende Vorbelastungswerte für die betrachteten Schadstoffe abgeleitet (**Tab. 4.1**)

Schadstoff	Vorbelastung in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO ₂ -Jahresmittelwert	20
NO ₂ 98-Perzentilwert	56
PM10-I1	28

Tab. 4.1: Vorbelastungswerte im Untersuchungsgebiet im Bezugsjahr (2002), PM10-I1 entspricht dem Jahresmittelwert für PM10

Diese Werte wurden für die gesamtstädtische Betrachtung und für die Detailbetrachtung angesetzt.

4.4 Verkehrsdaten

Für die gesamtstädtische Betrachtung wurden von Seiten der Stadt Hannover, Fachbereich Planen und Stadtentwicklung (61.15)/Flächennutzungsplanung die Verkehrsdaten zur Verfügung gestellt. Die gelieferten LKW-Anteile waren sehr hoch und lagen z.B. im Bereich der Göttinger Straße weit über den Zählwerten aus dem abgeschlossenen Forschungsprojekt VALIUM. In Absprache mit dem Auftraggeber wurden alle gelieferten LKW-Anteile, außer auf Autobahnen und Schnellwegen, auf die Hälfte reduziert.

Für die Göttinger Straße liegen sehr detaillierte Verkehrsdaten aus obigem Forschungsprojekt vor. Da die von der Stadt Hannover gelieferten DTV-Werte für die Göttinger Straße deutlich niedriger waren als die auf Zählungen basierenden Daten des Forschungsprojektes, wurden letztere im Rahmen des vorliegenden Projektes verwendet.

Die berücksichtigten Verkehrsdaten und die für die Berechnung angesetzten LKW-Anteile sind in **Abb. 4.5** und **Abb. 4.6** dargestellt.

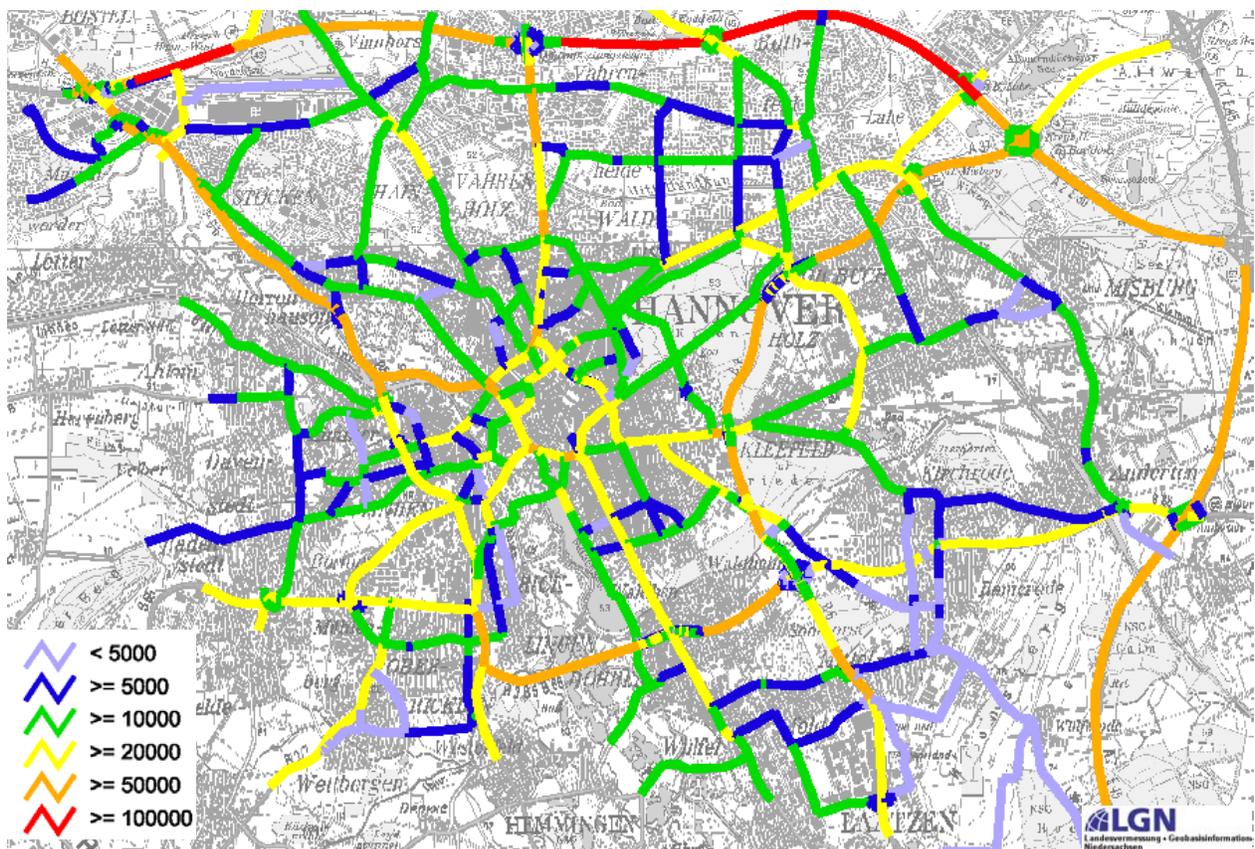


Abb. 4.5 Durchschnittliche Tägliche Verkehrsstärke (DTV) der gesamtstädtischen Betrachtung für das Jahr 2002 (Kfz/24h)

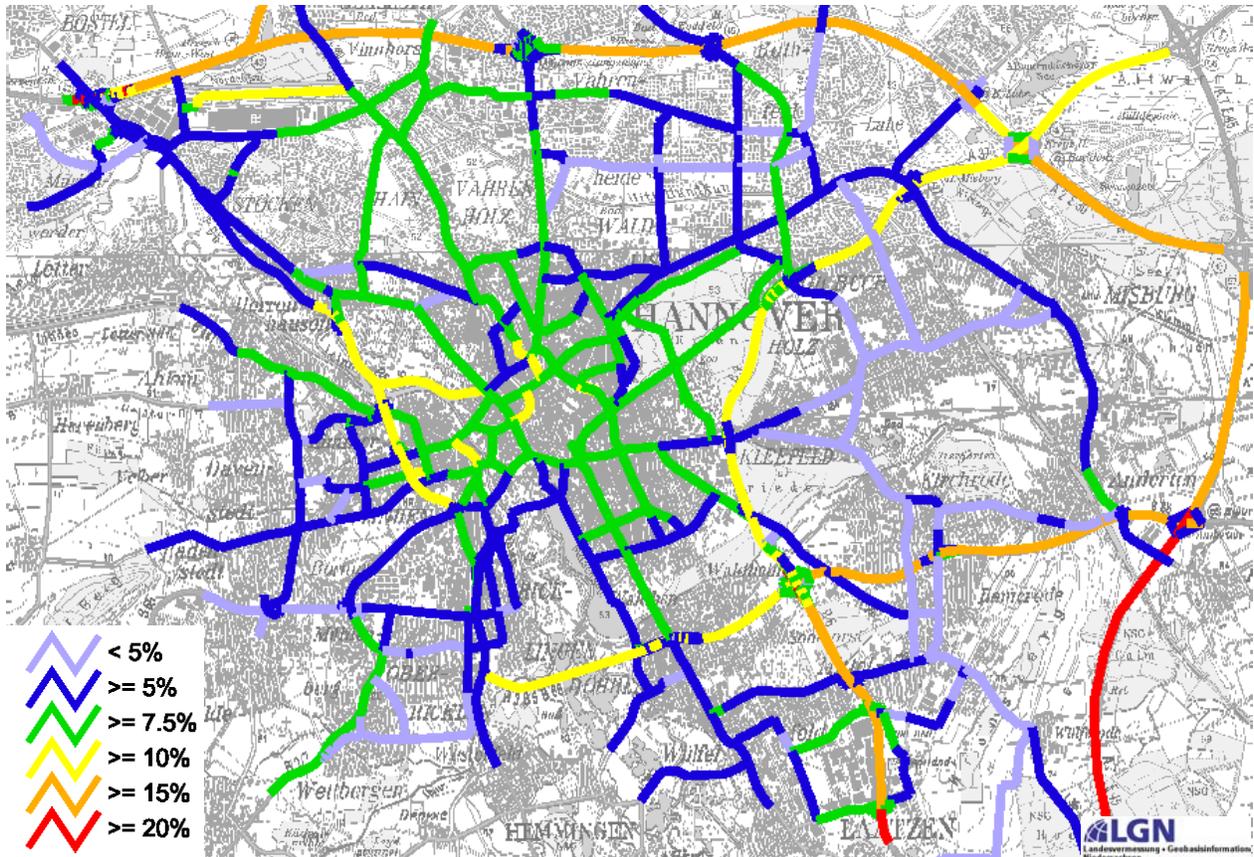


Abb. 4.6 LKW Anteile der gesamtstädtischen Betrachtung für das Jahr 2002

Für die Detailuntersuchung Göttinger Straße wurden in Erweiterung des Datensatzes für die gesamtstädtische Betrachtung auch die in die Göttinger Straße im Untersuchungsbereich einmündenden Nebenstraßen sowie weitere Straßen dieses Gebietes berücksichtigt.

5. EMISSIONEN

In die Berechnung der Schadstoffimmissionen fließen die Emissionen der Fahrzeuge auf den betrachteten Straßen im Untersuchungsgebiet ein.

5.1 Betrachtete Schadstoffe

Die Kraftfahrzeuge emittieren bei ihrem Betrieb eine Vielzahl von Schadstoffen. Die Relevanz dieser Schadstoffe ist recht unterschiedlich. Überschreitungen der Grenz- bzw. Beurteilungswerte liegen vor bei NO₂ und PM10. Deshalb werden diese Stoffe in der vorliegenden Untersuchung detailliert betrachtet. Die Konzentrationen für andere Luftschadstoffe wie Benzol, SO₂, CO, Blei etc. sind im Vergleich zu ihren gesetzlichen Immissionsgrenzwerten deutlich geringer, deshalb werden sie hier nicht betrachtet. Verkehrliche Maßnahmen wirken sich im Allgemeinen auch auf Benzol und CO aus.

5.2 Methode zur Bestimmung der Emissionsfaktoren

Zur Ermittlung der Emissionen werden die Verkehrsdaten und für jeden Luftschadstoff so genannte Emissionsfaktoren benötigt. Die Emissionsfaktoren sind Angaben über die pro mittlerem Fahrzeug der Fahrzeugflotte und Straßenkilometer freigesetzten Schadstoffmengen.

Im vorliegenden Gutachten werden die Emissionsfaktoren für die Fahrzeugarten PKW und LKW unterschieden. Die Fahrzeugart PKW enthält dabei die leichten Nutzfahrzeuge (LNfz) und Motorräder, die Fahrzeugart LKW versteht sich inklusive Lastkraftwagen, Sattelschlepper, Busse usw.

Die Emissionsfaktoren setzen sich aus „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ (Reifenabrieb, Staubaufwirbelung etc.) Emissionsfaktoren zusammen.

5.2.1 Motorbedingte Emissionsfaktoren

Die motorbedingten Emissionsfaktoren der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Busse etc.) werden mithilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 2.1 (UBA, 2004) berechnet. Sie hängen für die Fahrzeugarten PKW und LKW im Wesentlichen ab von

- den so genannten Verkehrssituationen („Fahrverhalten“), das heißt der Verteilung von Fahrgeschwindigkeit, Beschleunigung, Häufigkeit und Dauer von Standzeiten (siehe **Tab. 5.1**).
- der Zusammensetzung der Fahrzeugschichten (Fahrleistungsanteile der Fahrzeuge einer bestimmten Gewichts- bzw. Hubraumklasse und einem bestimmten Stand der Technik hinsichtlich Abgasemission, z. B. EURO 2, 3, ...) und damit vom Jahr, für welches der Emissionsfaktor bestimmt wird (= Bezugsjahr),

- der sich fortlaufend ändernden Fahrzeugflotte (Anteil Diesel etc.),
- der Längsneigung der Fahrbahn (mit zunehmender Längsneigung nehmen die Emissionen pro Fahrzeug und gefahrenem Kilometer entsprechend der Steigung deutlich zu, bei Gefällen weniger deutlich ab) und dem
- Prozentsatz der Fahrzeuge, die mit nicht betriebswarmem Motor betrieben werden und deswegen teilweise erhöhte Emissionen (Kaltstarteinfluss) haben.

Verkehrssituation	Beschreibung
AB>120	Autobahn ohne Tempolimit
AB_120	Autobahn Tempolimit 120
AB_100	Autobahn Tempolimit 100
AB_80	Autobahn Tempolimit 80
AB_60	Autobahn Tempolimit 60
AB_Bau1	Autobahn Baustelle zweistreifig
AB_Bau2	Autobahn Baustelle eng bzw. einstreifig
AB_StGo	Autobahn Stop and Go
AO1	Außerortsstraße, guter Ausbaugrad, gerade
AO2	Außerortsstraße, guter Ausbaugrad, gleichmäßig kurvig
AO3	Außerortsstraße, guter Ausbaugrad, ungleichmäßig kurvig
HVS1>50	Hauptverkehrsstraße, Tempolimit >50 km/h, geringe Störungen
HVS2>50	Hauptverkehrsstraße, Tempolimit >50 km/h, mittlere Störungen
HVS3>50	Hauptverkehrsstraße, Tempolimit >50 km/h, starke Störungen
HVS1	Ortsdurchfahrt, vorfahrtsberechtigt, ohne Störungen
HVS2	Hauptverkehrsstraße, vorfahrtsberechtigt, geringe Störungen
HVS3	Hauptverkehrsstraße, vorfahrtsberechtigt, mittlere Störungen
HVS4	Hauptverkehrsstraße, vorfahrtsberechtigt, starke Störungen
Kern	Innerortsstraßen im Stadtkern
LSA1	Hauptverkehrsstraße mit Lichtsignalanlage, geringe Störungen
LSA2	Hauptverkehrsstraße mit Lichtsignalanlage, mittlere Störungen
LSA3	Hauptverkehrsstraße mit Lichtsignalanlage, starke Störungen
NS_D	Nebenstraßen, geschlossene Bebauung
NS_L	Nebenstraßen, locker bebaut
StGo	Innerortsstraßen bei Stop and Go

Tab. 5.1: Definition der Verkehrssituation laut Handbuch für Emissionsfaktoren (nach UBA, 2004). Für einige Verkehrssituationen ist bei einer Verkehrsdichte > 1 400 oder 1 500 Kfz/h je Fahrspur zusätzlich eine Verkehrssituation „gebunden“ definiert.

Die Zusammensetzung der Fahrzeuge innerhalb der Fahrzeugkategorien wird für das zu betrachtende Bezugsjahr dem HBEFA (UBA, 2004) entnommen. Darin ist die Gesetzgebung bezüglich Abgasgrenzwerten (EURO 2, 3, ...) berücksichtigt. Die Längsneigung der Straßen ist aus Höhenplänen oder Lageplänen des Untersuchungsgebietes bekannt, der Kaltstarteinfluss innerorts für PKW wird entsprechend HBEFA angesetzt, der Kaltstarteinfluss für LKW wird aus UBA (1995) entnommen. Die Verkehrssituationen im Untersuchungsgebiet werden entsprechend den Gegebenheiten auf den einzelnen Streckenabschnitten und den Auswahlmöglichkeiten der **Tab. 5.1** festgelegt.

5.2.2 Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren

Untersuchungen der verkehrsbedingten Partikelimmissionen zeigen, dass neben den Partikeln im Abgas auch nicht motorbedingte Partikelemissionen zu berücksichtigen sind, hervorgerufen durch Straßen-, Kupplungs- und Bremsbelagabrieb, Aufwirbelung von auf der Straße aufliegendem Staub etc. Diese Emissionen sind im HBEFA nicht enthalten, sie sind auch derzeit nicht mit zufriedenstellender Aussagegüte zu bestimmen. Die Ursache hierfür liegt in der Vielfalt der Einflussgrößen, die bisher noch nicht systematisch parametrisiert wurden und für die es derzeit auch keine verlässlichen Aussagen gibt.

Das bisher allgemein angewandte PM10-Modell (Lohmeyer, 2001) weist deutliche Schwächen auf. Die größte ist die dort verwendete Staubbeladung der Straße als wesentlicher Parameter, der zumindest für befestigte Straßen unter mitteleuropäischen Verhältnissen nicht als primäre Einflussgröße angesehen werden kann (siehe z. B. Lohmeyer, 2001; Fitz, 2001; Lohmeyer, 2003). Insbesondere für Autobahnen und Außerortsstraßen werden die PM10-Emissionen nach den Erkenntnissen aktueller Messungen mit dem bisherigen Ansatz überschätzt.

In der vorliegenden Untersuchung werden die PM10-Emissionen aus Abrieben und infolge der Aufwirbelung auf der Grundlage neuester Ergebnisse aktueller Forschungsarbeiten (Gehrig et al., 2003, Lohmeyer, 2004a und 2004b) berechnet, die im Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI), Unterausschuss Verkehrsimmissionen, in Berlin am 16.06.2004 und auf der Konferenz „Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes“ in Garmisch-Partenkirchen, 1. - 4. Juni 2004 vorgestellt und diskutiert wurden.

Diese Emissionsfaktoren als Summe aus Reifen-, Brems-, Straßen- und Kupplungsabrieb sowie Wiederaufwirbelung von eingetragenen Straßenstaub sind in der **Tab. 5.2** aufgeführt.

Verkehrssituation (nach HBEFA)	Tempolimit [km/h]	Anteil Konstantfahrt (nach HBEFA) [%]	Standanteil (nach HBEFA) [%]	Emissionsfaktor für PM10-Auf/Ab je Kfz [mg/km]	
				PKW inkl. Infz	LKW
AB>120	---			22	200
AB_120	120			22	200
AB_100	100			22	200
AB_80	80			22	200
AB_60	60			22	200
AB_StGo	---			22	200
AO1	100	60	1	22	200
AO2	100	53	1	22	200
AO3	100	28	1	22	200
IO_HVS>50	60	46	1	22	200
Tunnel AB_100	100			10	200
Tunnel AB_80	80			10	200
Tunnel AB_60	60			10	200
Tunnel IO_HVS>50	60	46	1	10	200
HVS1	50	46	1	22	200
HVS2	50	52	1	30	300
HVS3	50	44	7	40	380
LSA1	50	44	7	40	380
HVS4	50	37	14	50	450
LSA2	50	32	20	60	600
LSA3	50	28	26	90	800
IO_Kern	50	23	33	90	800
IO_NS_dicht	50	32	5	90	800

Tab. 5.2: PM10-Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abriebe (Auf/Ab) differenziert nach Verkehrssituation

Die Bildung von so genannten sekundären Partikeln aus heißen Abgasen während der Abkühlung und Ausbreitung wird im vorliegenden Fall nicht berücksichtigt, da dieser Prozess nur in großen Entfernungen (10 km bis 50 km) von den Schadstoffquellen dominiert (Filliger et al., 1999).

5.3 Emissionen pro Fahrzeug

Die im vorliegenden Fall angesetzten Verkehrssituationen sowie die Längsneigungen der betrachteten Straßen (falls ungleich Null durch Unterstrich von den Verkehrssituationen getrennt) sind für die gesamtstädtische Betrachtung und für die Detailbetrachtung Göttinger Straße bzw. für die Maßnahme 1 in der Göttinger Straße berechnet worden. **Tab. 5.3** gibt einen Überblick über die zu diesen Verkehrssituationen gehörenden Emissionsfaktoren in dem betrachteten Bezugsjahr 2002, klassifiziert nach HBEFA (UBA, 2004). Die Beiträge der nicht motorbedingten Partikelemissionen werden wie o. a. angesetzt und sind in **Tab. 5.3** nicht aufgenommen.

Straßenparameter		spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [mg/km]					
Verkehrssituation (Kürzel)	Längsneigung	NO _x		Partikel (nur Abrieb und Aufwirbelung)		Partikel (nur Abgas)	
		PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
AB_60	±0 %	0.278	7.462	22	200	0.01128	0.1627
AB_80	±0 %	0.352	7.352	22	200	0.01512	0.1524
AB_80_2	±2 %	0.370	7.912	22	200	0.01641	0.1551
AB_100	±0 %	0.428	7.398	22	200	0.01884	0.1444
AB_120	±0 %	0.488	7.398	22	200	0.02093	0.1444
AO1	±0 %	0.329	6.663	22	200	0.00788	0.1564
AO2	±0 %	0.308	6.759	22	200	0.00910	0.1585
AO2_2	±2 %	0.326	7.354	22	200	0.00981	0.1668
AO2_4	±4 %	0.313	9.635	22	200	0.01347	0.2165
AO3	±0 %	0.332	7.148	22	200	0.01070	0.1711
AO3+2	+2 %	0.430	12.655	22	200	0.01455	0.2720
AO3-2	-2 %	0.262	2.842	22	200	0.00847	0.0874
HVS1	±0 %	0.369	6.642	22	200	0.01346	0.1839
HVS1_2	±2 %	0.383	7.112	22	200	0.01433	0.1905
HVS2	±0 %	0.373	8.075	30	300	0.01206	0.2519
HVS2_2	±2 %	0.365	8.496	30	300	0.01277	0.2562
HVS2-2	-2 %	0.294	4.372	30	300	0.01011	0.1680
HVS2_4	±4 %	0.437	9.743	30	300	0.01588	0.2769
HVS3	±0 %	0.386	8.893	40	380	0.01234	0.2937
HVS3_2	±2 %	0.373	9.280	40	380	0.01302	0.2965
HVS3+2	+2 %	0.440	13.337	40	380	0.01553	0.3854
HVS3-2	-2 %	0.306	5.223	40	380	0.01051	0.2077
HVS4	±0 %	0.399	10.717	50	450	0.01262	0.3951
HVS4_2	±2 %	0.382	11.034	50	450	0.01326	0.3942
Kern	±0 %	0.454	10.935	90	800	0.01570	0.4698
LSA3	±0 %	0.435	10.902	90	800	0.01468	0.4545

Tab. 5.3: Emissionsfaktoren in mg/km je Kfz für die betrachteten Straßen im Untersuchungsgebiet für das Bezugsjahr 2002

5.4 Emissionen des untersuchten Straßennetzes

Die Emissionen der betrachteten Schadstoffe NO_x und PM_{10} werden für jeden der betrachteten Straßenabschnitte in Hannover ermittelt. Dabei wirken sich sowohl die verschiedenen Verkehrsaufkommen und LKW-Anteile als auch die unterschiedlichen Verkehrssituationen aus. In den **Abb. 5.4** und **Abb. 5.5** sind die räumlichen Verteilungen der Emissionen für die Schadstoffe NO_x und PM_{10} für die gesamtstädtische Betrachtung dargestellt.

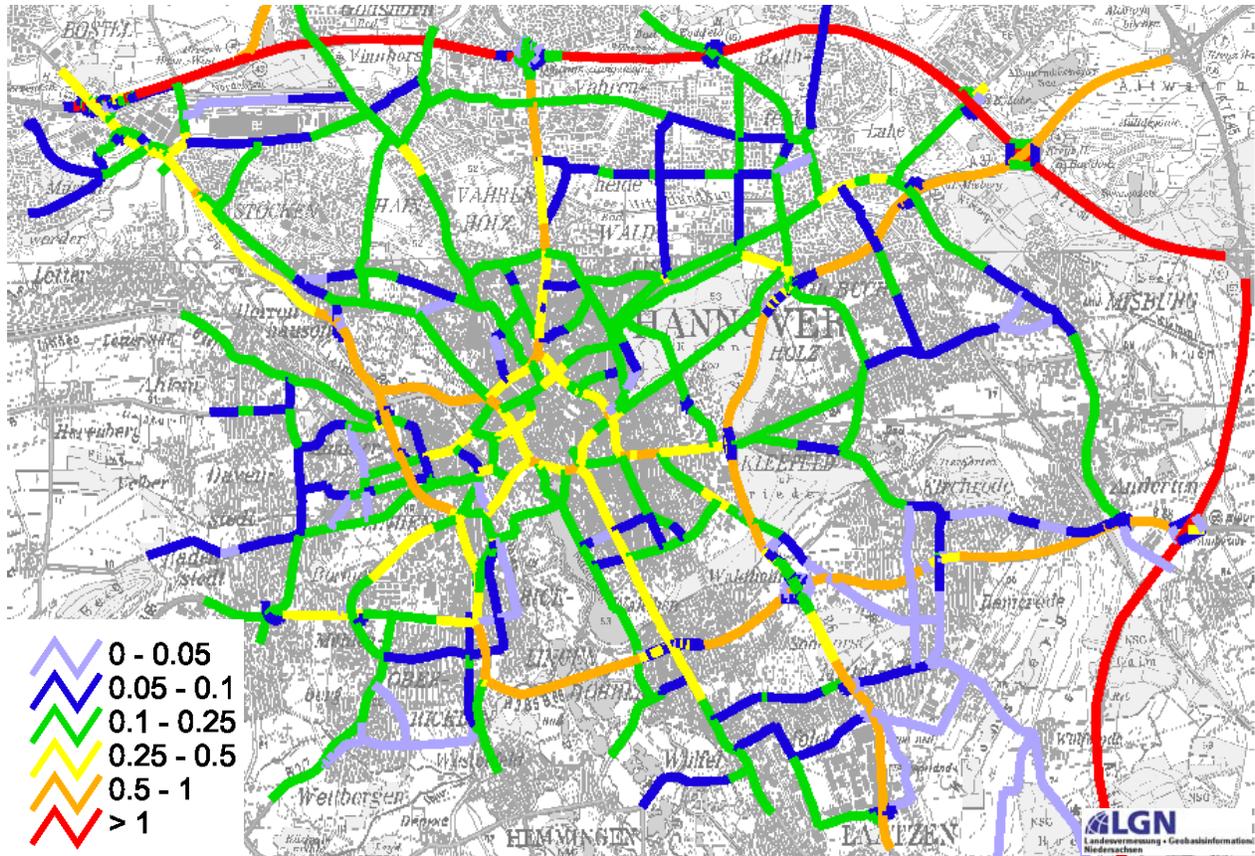


Abb. 5.4 Mittlere NO_x Emissionen aus dem Straßennetz der gesamtstädtischen Betrachtung für das Jahr 2002 in ($\text{mg}/(\text{m} \cdot \text{s})$)

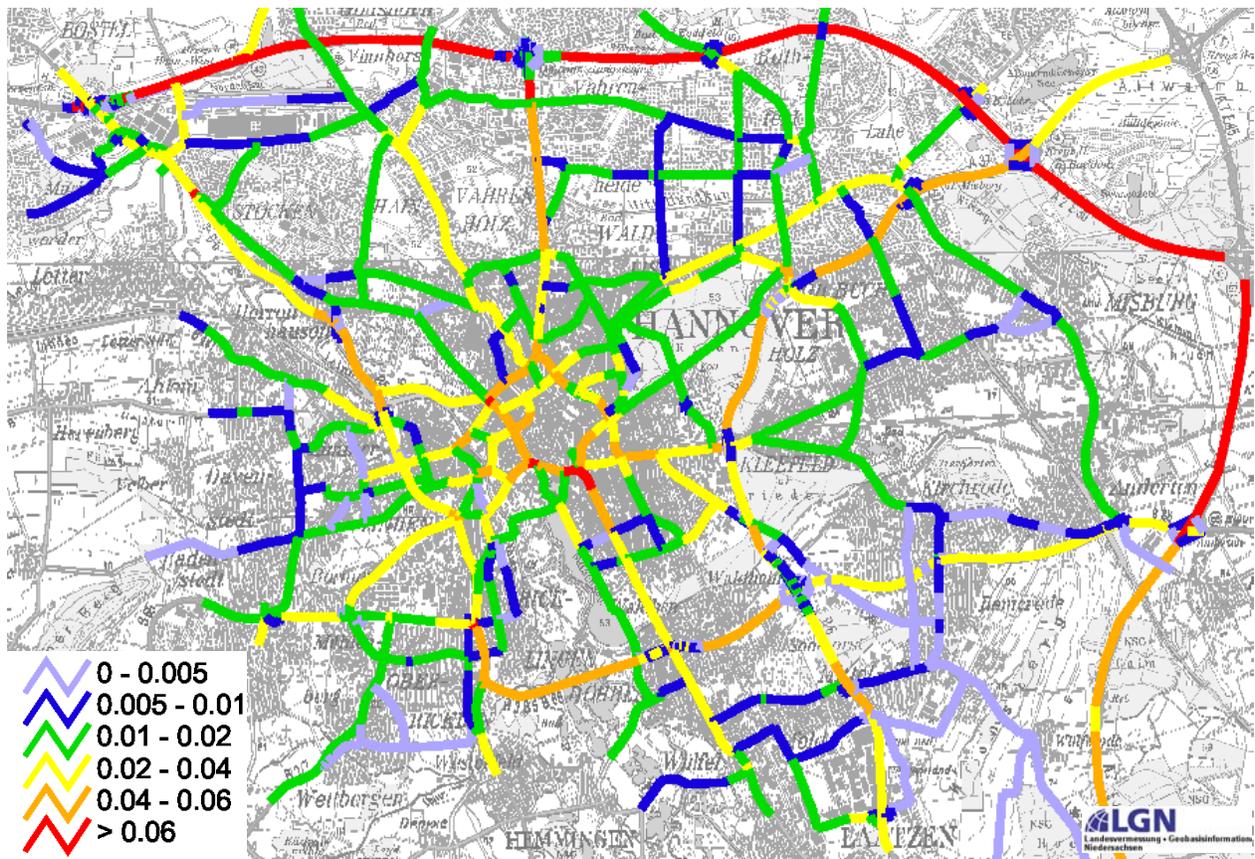


Abb. 5.5 Mittlere PM10 Emissionen auf dem Straßennetz der gesamtstädtischen Betrachtung für das Jahr 2002 in (mg/(m*s))

6. ERGEBNISSE

6.1 Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Messdaten

Zur Qualitätssicherung werden zunächst die berechneten Schadstoffkonzentrationen für das Jahr 2002 mit vorliegenden Messdaten verglichen. Dazu werden die beiden gegenüberliegenden Stationen HRV1 und HRV3 im Straßenraum der Göttinger Straße sowie die Station HRV4, die östlich der Göttinger Straße positioniert ist und damit eher als städtische Hintergrundstation anzusehen ist, herangezogen. **Tab. 6.1** zeigt den Vergleich, der sowohl die Ergebnisse für die gesamtstädtische Betrachtung mit dem Modellsystem PROKAS als auch die Ergebnisse aus der Detailbetrachtung Göttinger Straße mit dem Modell MISKAM, wobei die Beiträge des umliegenden Straßenverkehrs mit dem Modell LASAT berechnet wurden, beinhaltet.

NO ₂						
Ort	angesetzte VB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PROKAS_V + _B		LASAT+MISKAM		Messung
		ZB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	GB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	ZB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	GB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	GB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
HRV1	20	40	60	45	65	58
HRV3	20	40	60	39	59	53
HRV4	20	4	24	10	30	27

PM ₁₀						
Ort	angesetzte VB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PROKAS_V + _B		LASAT+MISKAM		Messung
		ZB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	GB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	ZB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	GB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	GB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
HRV1	28	14	43	16	45	43
HRV3	28	14	43	13	42	40
HRV4	28	1	29	2	30	28
VB = Vorbelastung		ZB = Zusatzbelastung		GB = Gesamtbelastung		

Tab. 6.1: Vergleich PROKAS- bzw. Modellsystem LASAT+MISKAM-Immissionsberechnungen mit Messwerten für das Jahr 2002, alle Werte gerundet auf ganze Zahlen

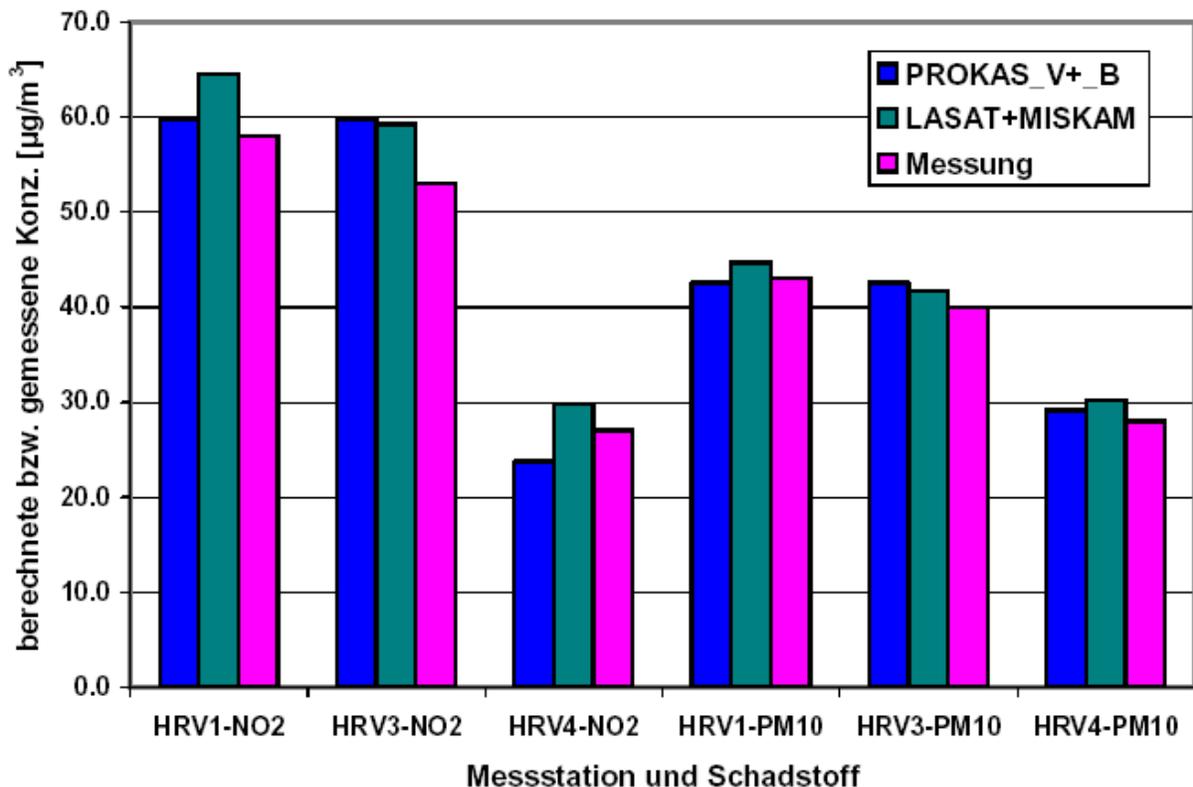


Abb. 6.1 Vergleich der Ergebnisse der Rechnungen und der Messungen von PM₁₀ und NO₂ für die verschiedenen Stationsorte in der Göttinger Straße Gesamtbelastung.

Mit dem Modellsystem PROKAS werden die max. Konzentrationen im Betrachtungsquerschnitt berechnet, d.h. für die beiden Luv-Lee-Messpunkte im Straßenraum HRV1 und HRV3 wird nur ein Wert geliefert.

Die berechneten NO₂-Konzentrationen im Straßenraum liegen bei der Gesamtstädtischen Betrachtung bei 60 µg/m³ für den Straßenraum und bei 24 µg/m³ für die Station HRV4. Damit werden die gemessenen Konzentrationen im Straßenraum von 58 µg/m³ bzw. 53 µg/m³ leicht überschätzt, die Werte an der abseits gelegenen Station HRV4 mit gemessenen 27 µg/m³ eher unterschätzt.

Bei der Detailbetrachtung ergibt sich ein ähnliches Bild. Die berechneten Konzentrationen liegen im Straßenraum bei 65 µg/m³ für HRV1 und bei 59 µg/m³ bei HRV3 im Vergleich zu den Messwerten von 58 µg/m³ für HRV1 bzw. 53 µg/m³ für HRV3. Die abseits gemessenen Konzentrationen werden mit 30 µg/m³ im Vergleich zu gemessenen 27 µg/m³ ebenfalls leicht überschätzt.

Die berechneten Konzentrationen für PM10 liegen bei der gesamtstädtischen Betrachtung im Straßenraum bei 43 µg/m³ im Vergleich zu gemessenen 43 µg/m³ bzw. 40 µg/m³. Für die abseits gelegene Station HRV4 ergeben sich berechnete Konzentrationen von 29 µg/m³ im Vergleich zu gemessenen 28 µg/m³.

Die berechneten Werte aus der Detailbetrachtung liegen im Straßenraum bei 45 µg/m³ bzw. 42 µg/m³ im Vergleich zu gemessenen 43 µg/m³ bzw. 40 µg/m³. Auch hier werden die Konzentrationen an HRV4 mit 30 µg/m³ gegenüber gemessenen 28 µg/m³ leicht überschätzt.

Insgesamt zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den Messwerten und den berechneten Werten, so dass die gewählte Vorgehensweise und die entsprechenden Modellsysteme für die vorliegende Untersuchung als gut geeignet angesehen werden kann.

6.2 Gesamtstädtische Betrachtung

Für die gesamtstädtische Betrachtung wurde das Programmsystem PROKAS mit den Modulen PROKAS_V und PROKAS_B (siehe Anhang A1) eingesetzt.

Die Ergebnisse für die Immissionsverhältnisse in den Straßenräumen bei der gesamtstädtischen Betrachtung sind in **Abb. 6.2** für NO₂ und in **Abb. 6.3** für PM10 dargestellt.

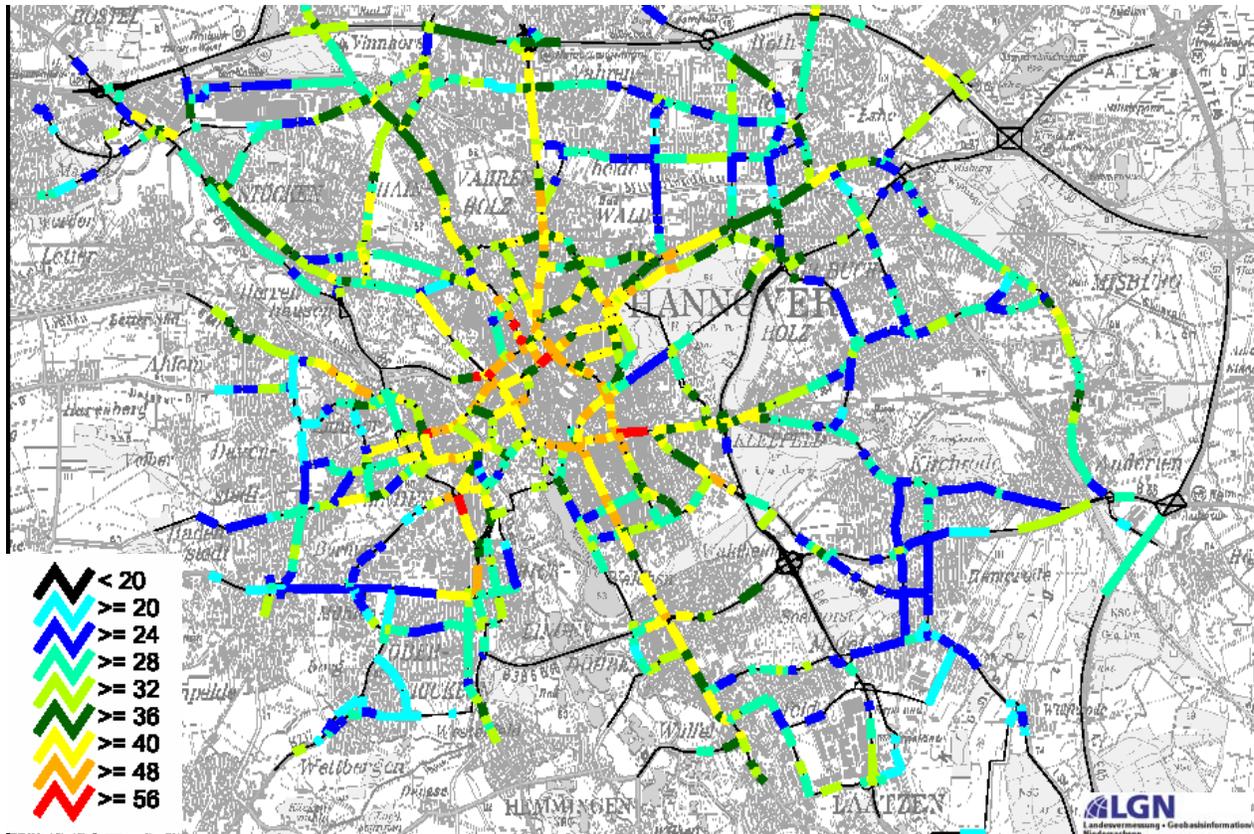


Abb. 6.2 NO₂ Immissionen [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] (Jahresmittelwert) für die gesamtstädtische Betrachtung für das Jahr 2002.

Tab. 6.2 liefert tabellarisch die Bereiche höchster Belastung.

Es zeigt sich für den Jahresmittelwert von NO₂, dass der zukünftig gültige Grenzwert von $40 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ im Innenbereich der Stadt Hannover im Jahre 2002 in vielen Straßenräumen überschritten wird. Der anzusetzende Grenzwert plus Toleranzmarge für das Jahr 2002 liegt bei $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, im Jahr 2010 bei $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Legt man diese Werte zu Grunde, ergeben sich Überschreitungen in Bereichen der Göttinger Straße, der Schlossestraße, des Bremer Damms, der Celler Straße, der Fössestraße und der Marienstraße.

Ein ähnliches Bild ergibt sich auch für die berechneten PM₁₀-Jahresmittelwerte. Auf die betroffenen Flächen bezogen sind die Bereiche mit Überschreitungen des ab 2005 gültigen Grenzwertes von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ deutlich kleiner. Betrachtet man den für 2002 relevanten Grenzwert plus Toleranzmarge mit $44.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, so ergeben sich Überschreitungen in der Marienstraße, der Celler Straße und der Fössestraße.

Wie in Kap. 3.2 ausgeführt, ist für jahresmittlere Konzentrationen größer $29 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ mit Überschreitungen des Kurzzeitwertes mit 35 Überschreitungen von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr zu rechnen. In **Abb. 6.3** sind die Jahresmittelwerte für PM_{10} dargestellt. Es ist zu erkennen, dass $29 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ flächenhaft in den meisten Straßen des Untersuchungsgebietes überschritten werden. D.h., es ist großflächig mit Überschreitung des Kurzzeitwertes zu rechnen. Einen wesentlichen Beitrag hierzu liefert bereits die angesetzte Vorbelastung von $28 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$.



Abb. 6.3 PM_{10} - Immissionen [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] (Jahresmittelwert) für die gesamtstädtische Betrachtung für das Jahr 2002

Nach den vorliegenden Unterlagen (Tab 6.2) ergeben sich für die einzelnen Straßen (hot spots) die in Tab. 6.3 aufgeführten Immissionsbelastungen.

Hotspots NO ₂	Querstraße		Bebauung		Verkehr			
	Straßenname	von	bis	Breite [m]	Höhe [m]	DTV	LKW-Anteil	Orientierung
	Marienstr.	Stadtstr.	Kestnerstr.	28	24	42662	8,4%	W-O
	Celler Str.	Hamburger Allee	DB-Brücke	18	20	27551	9,0%	SW-NO
	Marienstr.	Berliner Allee	Walter-Giesecking-Str.	26	18	42901	8,5%	W-O
	Bremer Damm	Moorweggasse	Königsworther Platz	30	26	51165	13,2%	W-O
	Schloßwender Str.	Königsworther Platz	An der Christuskirche	25	20	50039	6,7%	SW-NO
	Göttinger Straße	Deister Platz	Wesselstr.	20	20	31994	7,8%	N-S
	Fössestr.	Kötnerholzweg	Fortunastr.	16	16	21309	7,7%	W-O
	Marienstr.	Kestnerstr.	Braunschweiger Platz	32	20	42988	8,3%	W-O
	Marienstr.	Walter-Giesecking-Str.	Stadtstr.	30	18	42647	8,4%	W-O

Hotspots PM10	Querstraße		Bebauung		Verkehr			
	Straßenname	von	bis	Breite [m]	Höhe [m]	DTV	LKW-Anteil	Orientierung
	Fössestr.	Kötnerholzweg	Fortunastr.	16	16	21309	7,7%	W-O
	Marienstr.	Stadtstr.	Kestnerstr.	28	24	42662	8,4%	W-O
	Celler Str.	Hamburger Allee	DB-Brücke	18	20	27551	9,0%	SW-NO
	Marienstr.	Papenstieg	Große Barlinge	19	20	18516	7,7%	W-O
	Marienstr.	Berliner Allee	Walter-Giesecking-Str.	26	18	42901	8,5%	W-O
	Schloßwender Str.	Königsworther Platz	An der Christuskirche	25	20	50039	6,7%	SW-NO
	Göttinger Straße	Deister Platz	Wesselstr.	20	20	31994	7,8%	N-S

Tab. 6.2: Bereiche höchster Belastung auf Grund der gesamtstädtischen Betrachtung für das Jahr 2002. Es sind alle Straßenabschnitte mit berechneten Belastungen über $56 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ bzw. über $43 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ in die Liste aufgenommen. Die Abschnitte sind jeweils nach ihrer Belastung absteigend sortiert.

Straßenschlucht	PM10	DTV	% LKW
Fössestr.	51	21309	8
Marienstr.	47	42662	8
Celler Str.	46	27551	9
Marienstr.	46	18516	8
Marienstr.	46	18516	8
Marienstr.	46	42901	9
Celler Str.	45	27551	9
Celler Str.	45	27551	9
Marienstr. West	45	16537	8
Hildesheimer/Aegi	45	34307	9
Schloßwender Str.	44	50039	7
Göttinger str.	43	31994	8
Marienstr.	43	42988	8
GöttingerStr.	43	31994	8

Straßenschlucht	NO₂	DTV	% LKW
Marienstr.	64	42662	8
CellerStr.	63	27551	9
CellerStr.	63	27551	9
CellerStr.	63	27551	9
Marienstr.	63	42901	9
SchloßwenderStr.	61	50039	7
Göttingerstr.	60	31994	8
Fössestr.	60	21309	8
Göttingerstr.	60	31994	8
Marienstr.	59	42988	8
Marienstr.	54	18516	8
Marienstr.	54	18516	8
Hildesheimerstr./Aegi	54	34307	9
Marienstr. West	53	16537	8

Tab. 6.3 Auflistung der Straßen mit einer hohen prognostizierten Immissionsbelastung im Jahresmittel. Die Angaben für NO₂ und PM10 sind in µg/m³.

Bestimmte Bereiche der südlichen Vahrenwalder Straße sind ebenfalls auffällig. Im Jahr 2000 wurde an der zeitweise dort eingesetzten LÜN-Station ein Jahresmittelwert von 55 µg NO₂/m³ registriert.

Zwischenzeitliche Ortsbesichtigungen in den Straßen bestätigen weitestgehend die Ermittlung der höchst belasteten Straßen im Untersuchungsgebiet Hannover.

Auf Grund mehrjähriger Erfahrungen wurde beobachtet, dass bei einer höheren Luftschadstoffbelastung häufiger leer stehende Verkaufsflächen auftreten. Dieser Indikator bestätigt sich auch in Hannover.

Aus der räumlichen Verteilung der Straßenabschnitte ergeben sich Überschreitungsbereiche, die bei einer gesamtstädtischen Maßnahmeplanung besonders gemeinsam angesprochen werden sollten. Sie sind in der **Abb. 6.4** skizziert.

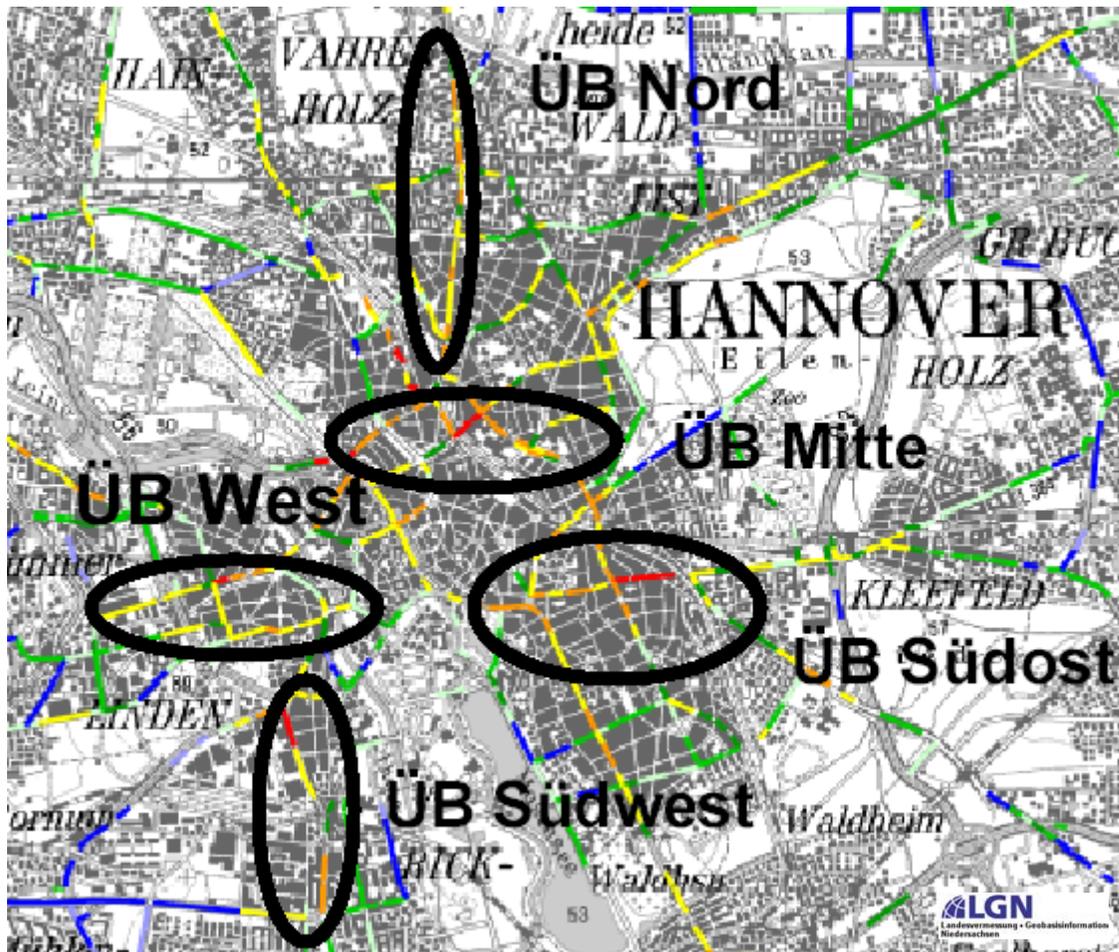


Abb. 6.4 Aufteilung des Stadtgebietes in Überschreitungsbereiche.

Die Berechnungsergebnisse weisen für eine Vielzahl von Straßen im Untersuchungsgebiet von Hannover eine Überschreitung der geltenden oder künftigen Grenzwerte für PM₁₀ und NO₂ aus. Mit dieser Untersuchung wurde eine weitere Grundlage für Maßnahmepläne und Fragestellungen der Stadtentwicklung geschaffen.

Hochaufgelöste Karten der PM₁₀ und NO₂ sind als **Abb. 6.5** und **Abb. 6.6** beigefügt.



Abb. 6.5 Jahresmittelwert der PM₁₀ Belastung, ÜB Südwest und Mitte (Jahr 2002)

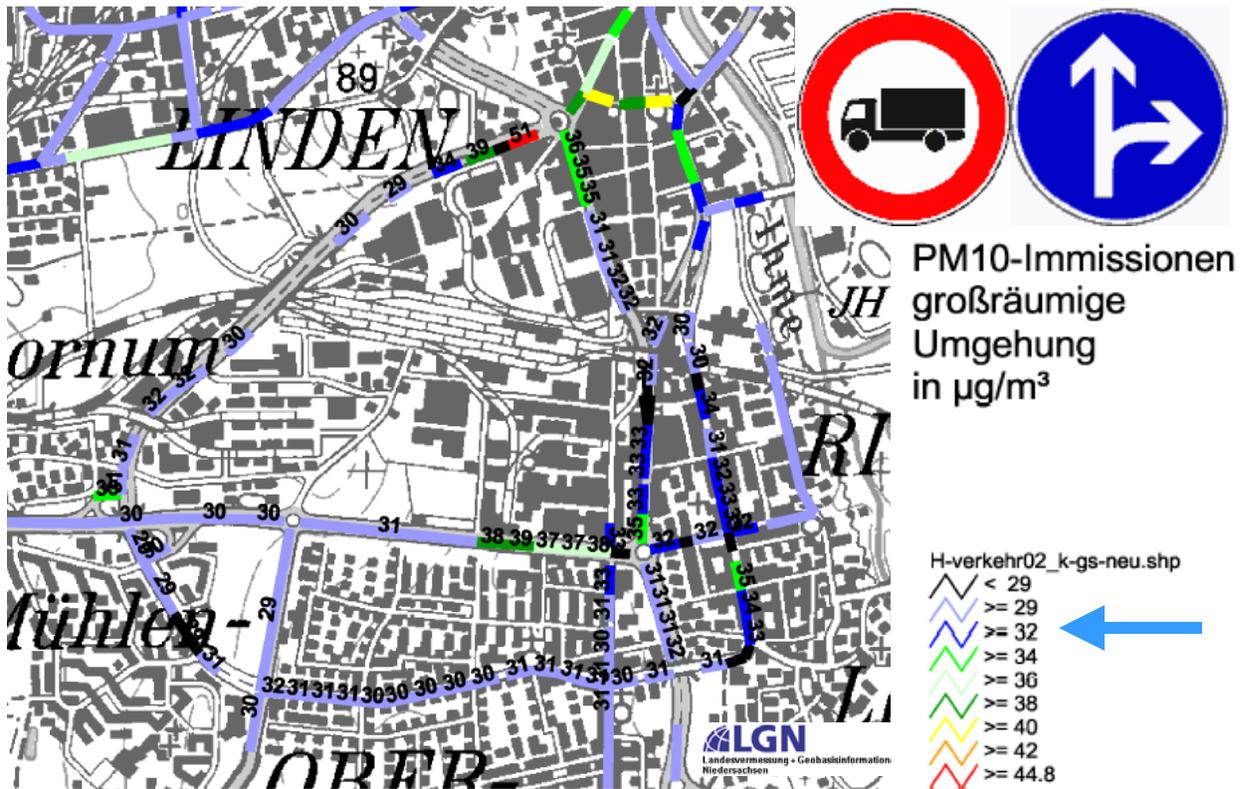
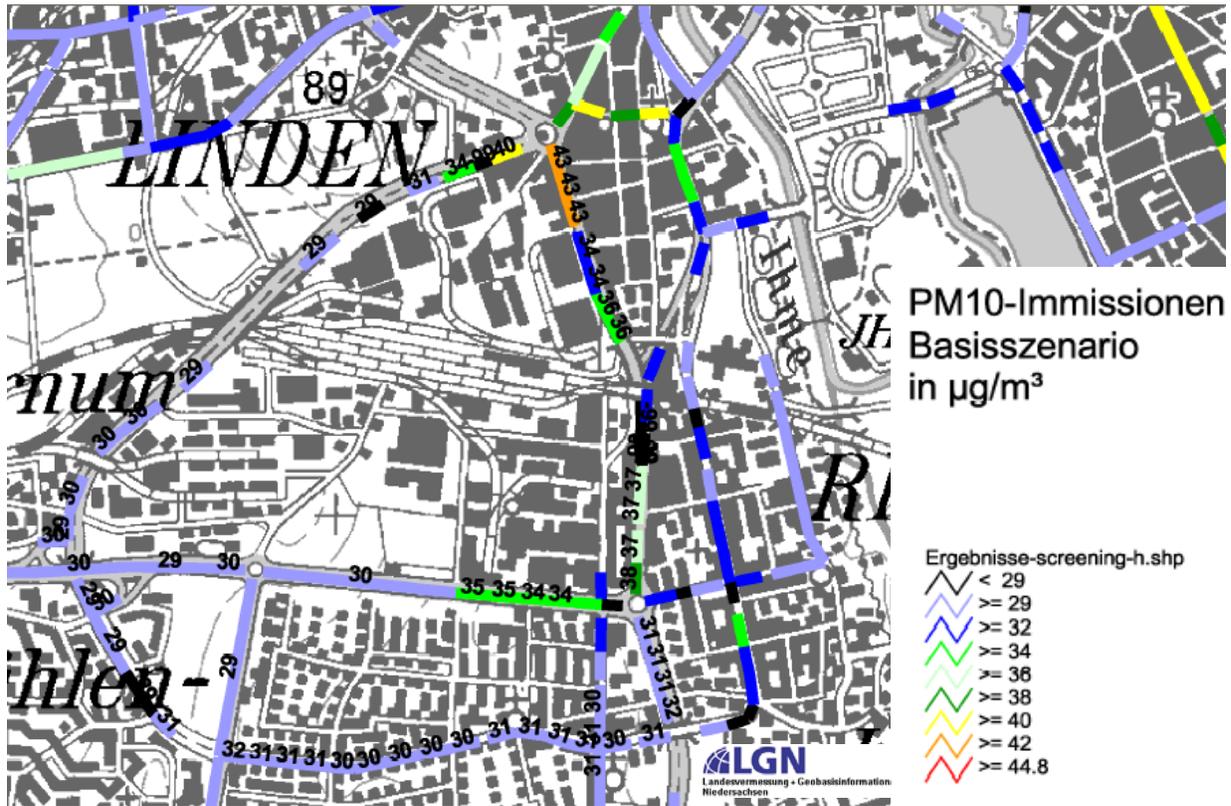


Abb. 7.1 (oben Basis) und 7.2 (unten) zeigen die berechneten Auswirkungen der Maßnahme 2 für PM10 – Jahresmittelwert.

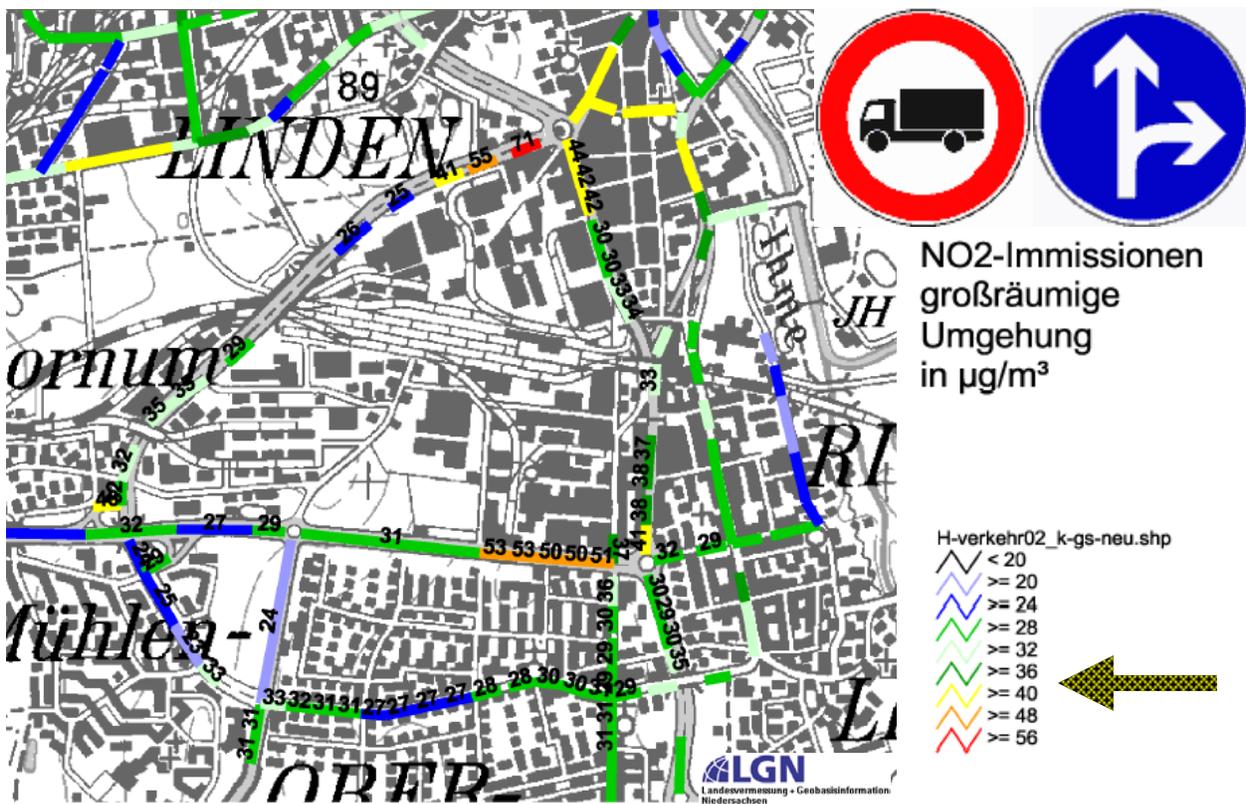
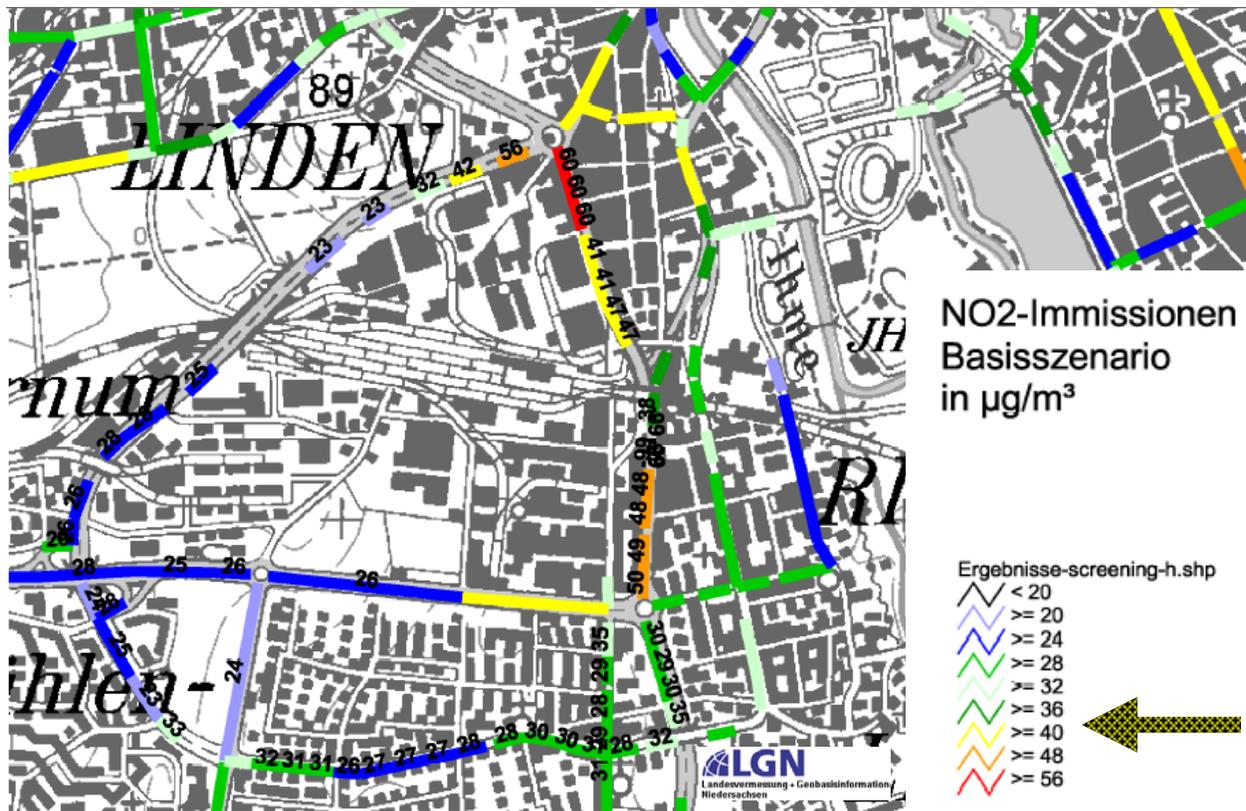


Abb. 7.3 (oben Basis) und 7.4 (unten) zeigen die berechneten Auswirkungen der Maßnahme 2 für NO₂ – Jahresmittelwert.

Die Wirksamkeit der Maßnahme 2 bzw. 1 ist innerhalb der Göttinger Straße hoch. Die zusätzliche Belastung ist auf dem nördlichen Teilstück bei beiden Maßnahmen gleichermaßen leicht angestiegen. Auf dem weiteren Straßenverlauf praktisch unverändert und erst an der südlichen Einfädelung geringförmig erhöht. Angesichts der tatsächlichen Bebauungsverhältnisse wird in der Detailbetrachtung die große Entlastung und die praktisch als nicht relevant einzustufende geringe zusätzliche Belastung deutlich.

8. LITERATUR

22. BImSchV (2002): Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte). In: BGBl. I, Nr. 66 vom 17.09.2002, S. 3626.
23. BImSchV (1996): Dreiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten - 23. BImSchV). In: BGBl. I, Nr. 66, S. 1962.
33. BImSchV. (2004): Dreiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen – 33. BImSchV). BGBl I, Nr. 36, S. 1612-1625 vom 20.07.2004.
- BAST (1986): Straßenverkehrszählungen 1985 in der Bundesrepublik Deutschland. Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik. Schriftenreihe Straßenverkehrszählungen, Heft 36. Im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bergisch Gladbach, 1986. Hrsg.: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.
- Eichhorn, J. (1989): Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen mikroskaligen Stadtklima-Modells. Dissertation, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz.
- Eichhorn, J. (2003): MISKAM Handbuch zu Version 4.22. Giese-Eichhorn Umweltmeteorologische Software. Wackersheim.
- Filliger, P., Puybonnieux-Texier, V., Schneider, J. (1999): PM10 Population Exposure – Technical Report on Air Pollution, Prepared for the WHO Ministerial Conference for Environment and Health, London, June 1999, Published by Federal Department of Environment, Transport, Energy and Communications Bureau for Transport Studies, Berne, Switzerland.
- Fitz, D.R. (2001): Measurements of PM10 and PM2.5 emission factors from paved roads in California. Final report contract no. 98-723. California Air Resources Board Monitoring and Laboratory Division, 1001 I Street, Sacramento, CA 95812, 02-AP-18381-003-FR.
- Flassak, Th., Bächlin, W., Bösinger, R., Blazek, R., Schädler, G., Lohmeyer, A. (1996): Einfluss der Eingangsparmeter auf berechnete Immissionswerte für Kfz-Abgase - Sensitivitätsanalyse. In: FZKA PEF-Bericht 150, Forschungszentrum Karlsruhe. (<http://bwplus.fzk.de>)
- Gehrig, R., Hill, M., Buchmann, B., Imhof, D., Weingartner, E., Baltensperger, U. (2003): Verifikation von PM10-Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Abschlussbericht der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) und des Paul Scherrer Instituts (PSI) zum Forschungsprojekt ASTRA 2000/415. www.empa.ch/plugin/template/empa/700/5750/---/l=1.
- Janicke, L. (2003): Ausbreitungsmodell LASAT, Referenzbuch zu Version 2.12. Ing.-Büro Dr. Lutz Janicke, Dunum.
- Kühling, W., Peters, H.-J. (1994): Die Bewertung der Luftqualität bei Umweltverträglichkeitsprüfungen. Bewertungsmaßstäbe und Standards zur Konkretisierung einer wirksamen Umweltvorsorge. In: UVP Spezial 10. Hg.: Verein zur Förderung der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) e.V., Hamm/Westfalen.
- Kutzner, K., Diekmann, H., Reichenbacher, W. (1995): Luftverschmutzung in Straßenschluchten - erste Messergebnisse nach der 23. BImSchV in Berlin. VDI-Bericht 1228, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf.

LAI (1992): Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen. Entwicklung von Beurteilungsmaßstäben für kanzerogene Luftverunreinigungen im Auftrag der Umweltministerkonferenz.

LAI Länderausschuss für Immissionsschutz. Hg.: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.

Lohmeyer, A., Nagel, T., Clai, G., Düring, I., Öttl, D. (2000): Bestimmung von Kurzzeitbelastungswerten - Immissionen gut vorhergesagt. In: Umwelt (kommunale ökologische Briefe) Nr. 01/05.01/2000.

Lohmeyer (2001): Validierung von PM10-Immissionsberechnung im Nahbereich von Straßen und Quantifizierung der Feinstaubausbildung von Straßen (Lützner Straße und Schildhornstraße, Berlin). Auftraggeber: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, Berlin und Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden. Berichte des Ingenieurbüros Lohmeyer, Projekt 2238/B, April 2001 und Projekt 2238/L, Februar 2001.

Lohmeyer (2003): Quantifizierung der PM10-Emissionen durch Staubaufwirbelung und Abrieb von Strassen auf Basis vorhandener Messdaten. Erstellt vom Ingenieurbüro Lohmeyer (Feb. 2003) in Zusammenarbeit mit IFEU Heidelberg und UMEG Karlsruhe für das Ministerium für Umwelt und Verkehr, Baden-Württemberg. Herunterladbar unter www.lohmeyer.de/literatur.htm.

Lohmeyer (2004): Experiences when modelling roadside PM10 concentrations. In: 9th Int. Conf. on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Garmisch-Partenkirchen 1 – 4 June 2004. Hrsg.: Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft (IMK-IFU).

Lohmeyer (2004a): FE 02.222/2002/LRB, PM10-Emissionen an Außerortsstraßen. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch-Gladbach, Projekt 70016-03-10, Berichtsentwurf vom 30.04.2004 (unveröffentlicht).

Lohmeyer (2004b): Berechnung der Kfz-bedingten Feinstaubemissionen infolge Aufwirbelung und Abrieb für das Emissionskataster Sachsen. Ingenieurbüro Lohmeyer unter Mitarbeit der IFEU Heidelberg GmbH und der TU Dresden, Institut für Verkehrsökologie, im Auftrag des Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden, Projekt 2546, Zwischenbericht vom 26.05.2004.

Lohmeyer, A. Bächlin, W., Frantz, H., Müller W.J. (2005): Modellierung von Emission und Ausbreitung zur Unterstützung der Messplanung und Interpretation der Messergebnisse – Zusammenarbeit nützt! VDI Berichte Nr. 1885, p77-87, ISSN 0083-5560

Richtlinie VDI 3945, Blatt 3 (2000): Umweltmeteorologie - Atmosphärische Ausbreitungsmodelle - Partikelmodell.

Röckle, R., Richter, C.-J. (1995): Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen -. Abschlussbericht PEF 92/007/02, Forschungszentrum Karlsruhe. (<http://bwplus.fzk.de>)

Romberg, E., Böisinger, R., Lohmeyer, A., Ruhnke, R., Röth, E. (1996): NO-NO₂-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase. Hrsg.: Gefahrstoffe- Reinhaltung der Luft, Band 56, Heft 6, S. 215-218.

Schädler, G., Bächlin, W., Lohmeyer, A., van Wees, T. (1996): Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. In: Berichte Umweltforschung Baden-Württemberg (FZKA-PEF 138). "<http://bwplus.fzk.de>"

TA Luft (2002): 1. Allg. Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft). GMBI. 2002, Heft 25 – 29, S. 511 – 605.

UBA (1995): Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Version 1.1, Okt. 1995.

INFRAS AG, Bern/Schweiz. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin.

UBA (1997): Reduzierung hoher Luftschadstoffbelastung an Straßen. Beitrag von P. Klippel und M. Jäcker-Küppers in den Proceedings zum 465. FGU-Seminar.

Verkehrsbedingte Belastungen durch Benzol, Dieselruß und Stickoxide in städtischen Straßenräumen, 14. - 15. April 1997. Hg.: Umweltbundesamt, Berlin.

UBA (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1/April 2004. Dokumentation zur Version Deutschland erarbeitet durch INFRAS AG Bern/Schweiz in Zusammenarbeit mit IFEU Heidelberg. Hrsg: Umweltbundesamt Berlin. Herunterladbar unter <http://www.hbefa.net/>.

UMK (2004): Partikelemissionen des Straßenverkehrs. Endbericht der UMK AG „Umwelt und Verkehr“. Oktober 2004.

Materialienbände und EU-Richtlinien

Materialienbände 1 bis 10

Bächlin, W., Frantz, H., Lohmeyer, A., Dreiseidler, A., Baumbach, G., Theurer, W., Heits, B., Müller, W.J., Giesen, K.-P.: Feinstaub und Schadgasbelastungen in der Göttinger Straße, Hannover.

1. Materialienband für Maßnahmepläne nach der EU-Richtlinie zur Luftqualität, Reihe Nachhaltiges Niedersachsen, Heft 24, 2003, ISSN 0949-8265

Jakops, H.J., Friese, E., Memmesheimer, M., Ebel, A., Müller, W.J., Heits, B.: MODMESS – Modellgestützte Analyse der PM- und Ozonbelastungen an den Stationen Bösel und Hannover.

2. Materialienband für Maßnahmepläne nach der EU-Richtlinie zur Luftqualität, Reihe Nachhaltiges Niedersachsen, Heft 27, 2004, ISSN 0949-8265

Bächlin, W., Lohmeyer, A., Kuhlbusch, T., Dreiseidler, A., Baumbach, G., Giesen, K.-P., Heits, B., Müller, W.J., Klasmeier, E., Schmidt, H.: Aerosolbudget in einem landwirtschaftlich geprägten Gebiet in Niedersachsen.

3. Materialienband für Maßnahmepläne nach der EU-Richtlinie zur Luftqualität, Reihe Nachhaltiges Niedersachsen, Heft 28, 2004, ISSN 0949-8265

Bohlen, S., Winkler, J., Lauterbach, H., Wehrse, R., Osmers, J.-C., Endler, D., Giesen, K.-P., Heits, B., Klasmeier, E., Haase, D., Müller, W.J.: PM₁₀-Messprogramm Bremerhaven 2003.

4. Materialienband für Maßnahmepläne nach der EU-Richtlinie zur Luftqualität, Reihe Nachhaltiges Niedersachsen, Heft 30, 2004, ISSN 0949-8265

Heits, B., Giesen, K.-P., Klasmeier, E., Haase, D., Müller, W.J.: LÜN: Untersuchungen zur Feinstaubbelastung PM₁₀.

5. Materialienband für Maßnahmepläne nach der EU-Richtlinie zur Luftqualität, Reihe Nachhaltiges Niedersachsen, Heft 31, 2004, ISSN 0949-8265

Schäfer, K., Emeis, S., Hoffmann, H., Jahn, C., Müller, W.J., Heits, B., Haase, D., Drunkenmölle, W.-D., Busch, W., Beyer, R., Tharsen, J., Nolte, T.: Feldmessungen in einem Stadtquartier zur Erzeugung eines Validierungsdatensatzes.

6. Materialienband für Maßnahmepläne nach der EU-Richtlinie zur Luftqualität, Reihe Nachhaltiges Niedersachsen, Heft 33, 2004, ISSN 0949-8265

Kühlwein, J., Friedrich, R., Volkmar, H., Ernst, H., Müller, W.J., Heits, B.: Berechnung hochaufgelöster Emissionsdaten für einen Ballungsraum und Straßenschluchten.

7. Materialienband für Maßnahmepläne nach der EU-Richtlinie zur Luftqualität, Reihe Nachhaltiges Niedersachsen, Heft 34, 2004, ISSN 0949-8265

Bächlin, W., Rühling, A., Frantz, H., Theurer, W., Müller, W.J., Heits, B., Drunkenmölle, W.-D.: Erstellung eines auf Naturmessungen basierenden Validierungsdatensatzes zur Ausbreitung von Schadstoffen in Straßenschluchten.

8. Materialienband für Maßnahmepläne nach der EU-Richtlinie zur Luftqualität, Reihe Nachhaltiges Niedersachsen, Heft 35, 2004, ISSN 0949-8265

Müller, W.J., Frantz, H., Bächlin, W., Bösing, W., Lohmeyer, A.: Beispielmaßnahme Schwerverkehr Göttinger Straße, Hannover; Immissionsprognose.

9. Materialienband für Maßnahmepläne nach der EU-Richtlinie zur Luftqualität, Reihe Nachhaltiges Niedersachsen, Heft 36, 2004, ISSN 0949-8265

Müller, W.J.: Maßnahmen zum Luftreinhalte- und Aktionsplan Hannover Göttinger Straße, Auswertung des 1. Feldversuches.

10. Materialienband für Maßnahmepläne nach der EU-Richtlinie zur Luftqualität, Reihe Nachhaltiges Niedersachsen, Heft 37, 2005, ISSN 0949-8265

EU-Richtlinien zur Luftqualität

Rahmenrichtlinie Luftqualität, 1996:

Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität.

Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 296/55

1. Tochterrichtlinie, 1999:

Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft.

Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 163/41

2. Tochterrichtlinie, 2000:

Richtlinie 2000/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. November 2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 313/12

3. Tochterrichtlinie, 2002:

Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt der Luft.

Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 67/14

4. Tochterrichtlinie, 2004:

Richtlinie 2004/107/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 über Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft.

Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 23/3

A N H A N G A 1: NUMERISCHE VERFAHREN ZUR IMMISSIONSERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION

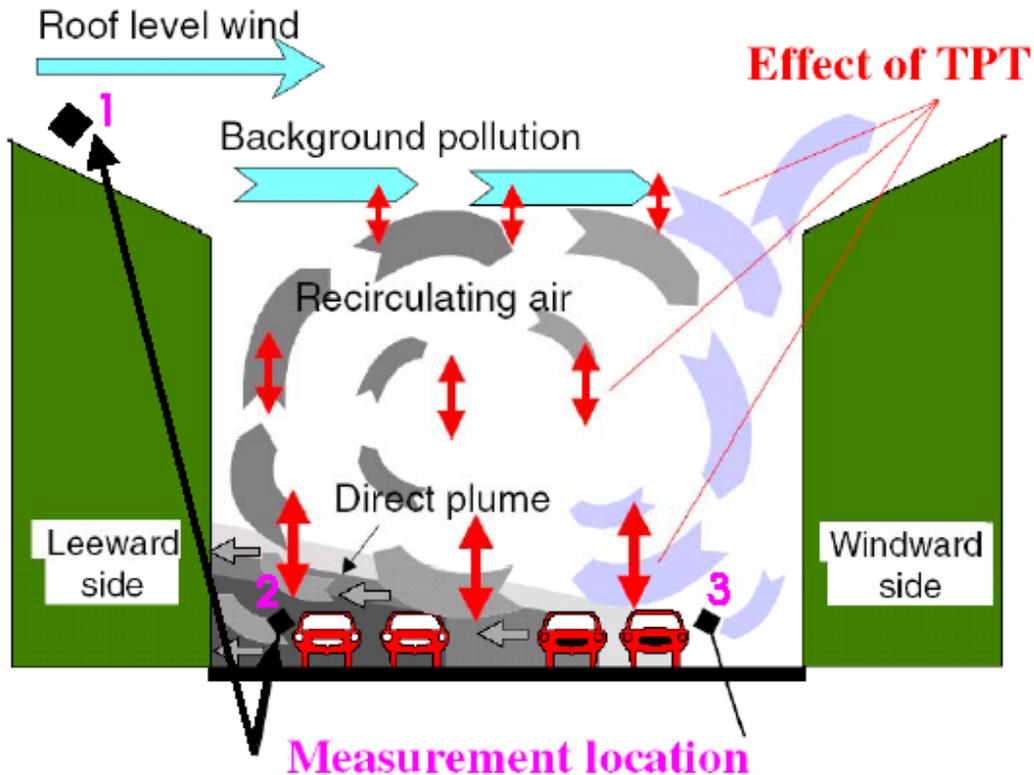
Für die Berechnung der Schadstoffimmission an einem Untersuchungspunkt wird das mathematische Modell PROKAS in Kombination mit dem mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM angewendet. Beim Screening wird das Basismodul PROKAS_V (Gaußfahnenmodell) und das Bebauungsmodul PROKAS_B eingesetzt, das für die Berechnung der Immissionen in Straßen mit dichter Randbebauung in Screeningqualität konzipiert ist. Bei der Detailuntersuchung wird das Modell MISKAM und das Modell PROKAS_V angewendet. Zusätzlich wird das lagrange'sche Partikelmodell LASAT eingesetzt. LASAT ist Grundlage des „offiziellen“ Rechenprogramms AUSTAL2000 der TA Luft (Umsetzung der Vorgaben des Anhang 3 der TA Luft 2002). Die Parametrisierung der Umwandlung des von Kraftfahrzeugen hauptsächlich emittierten NO in NO₂ erfolgt nach Romberg et al. (1996).

A1.1 Berechnung der Immissionen mit PROKAS_V

Die Zusatzbelastung infolge des Straßenverkehrs in Gebieten ohne oder mit lockerer Randbebauung wird mit dem Modell PROKAS ermittelt. Es werden jeweils für 36 verschiedene Windrichtungsklassen und 9 verschiedene Windgeschwindigkeitsklassen die Schadstoffkonzentrationen berechnet. Die Zusatzbelastung wird außerdem für 6 verschiedene Ausbreitungsklassen ermittelt. Mit den berechneten Konzentrationen werden auf der Grundlage von Emissionsganglinien bzw. Emissionshäufigkeitsverteilungen und einer repräsentativen Ausbreitungsklassenstatistik die statistischen Immissionskenngrößen Jahresmittel- und 98- Perzentilwert ermittelt.

A1.2 Berechnung der Immissionen in Straßen mit dichter Randbebauung mit PROKAS_B

Im Falle von teilweise oder ganz geschlossener Randbebauung (etwa einer Straßenschlucht) ist die Immissionsberechnung nicht mit PROKAS_V durchführbar. Die grundsätzlichen Strömungsverhältnisse in einer Straßenschlucht veranschaulicht **Abb. A1.1**.



Palmgren, 2003

Abb. A1.1 Darstellung der prinzipiellen Strömungs- und Schadstoffverteilung in einer Straßenschlucht.

Für die Bebauungssituation der Randbebauung wird das ergänzende Bebauungsmodul PROKAS_B verwendet. Es basiert auf Modellrechnungen mit dem mikroskaligen Ausbreitungsmodell MISKAM für idealisierte Bebauungstypen. Dabei wurden für 20 Bebauungstypen und jeweils 36 Anströmrichtungen die dimensionslosen Abgaskonzentrationen c^* in 1.5 m Höhe und 1 m Abstand zum nächsten Gebäude bestimmt.

Die Bebauungstypen werden unterschieden in Straßenschluchten mit ein- oder beidseitiger Randbebauung mit verschiedenen Gebäudehöhe-zu-Straßenschluchtbreite-Verhältnissen und unterschiedlichen Lückenanteilen in der Randbebauung. Unter Lückigkeit ist der Anteil nicht verbauter Flächen am Straßenrand mit (einseitiger oder beidseitiger) Randbebauung zu verstehen. Die Straßenschluchtbreite ist jeweils definiert als der zweifache Abstand zwischen Straßenmitte und straßennächster Randbebauung. Die **Tab. A2.1** beschreibt die Einteilung der einzelnen Bebauungstypen.

Straßenkreuzungen werden auf Grund der Erkenntnisse aus Naturmessungen (Kutzner et al., 1995) und Modellsimulationen nicht berücksichtigt. Danach treten an Kreuzungen trotz höheren Verkehrsaufkommens um 10 % bis 30 % geringere Konzentrationen als in den benachbarten Straßenschluchten auf.

Aus den dimensionslosen Konzentrationen errechnen sich die vorhandenen Abgaskonzentrationen c zu

$$c = \frac{c^* \cdot Q}{B \cdot u'}$$

- wobei:
- c = Abgaskonzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
 - c^* = dimensionslose Abgaskonzentration [-]
 - Q = emittierter Schadstoffmassenstrom [$\mu\text{g}/\text{m s}$]
 - B = Straßenschluchtbreite [m] beziehungsweise doppelter Abstand von der Straßenmitte zur Randbebauung
 - u' = Windgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der fahrzeug-induzierten Turbulenz [m/s]

Die Konzentrationsbeiträge von PROKAS_V für die Vorbelastung und von PROKAS_B werden für jede Einzelsituation, also zeitlich korreliert, zusammengefasst.

Typ	Randbebauung	Gebäudehöhe/ Straßenschluchtbreite	Lückenanteil [%]
0*	locker	-	61 - 100
101	einseitig	1:3	0 - 20
102	"	1:3	21 - 60
103	"	1:2	0 - 20
104	"	1:2	21 - 60
105	"	1:1.5	0 - 20
106	"	1:1.5	21 - 60
107	"	1:1	0 - 20
108	"	1:1	21 - 60
109	"	1.5:1	0 - 20
110	"	1.5:1	21 - 60
201	beidseitig	1:3	0 - 20
202	"	1:3	21 - 60
203	"	1:2	0 - 20
204	"	1:2	21 - 60
205	"	1:1.5	0 - 20
206	"	1:1.5	21 - 60
207	"	1:1	0 - 20
208	"	1:1	21 - 60
209	"	1.5:1	0 - 20
210	"	1.5:1	21 - 60

Tab. A2.1: Typisierung der Straßenrandbebauung

A1.3 Berechnung der Immissionen mit MISKAM

Die Zusatzbelastung im bebauten Gebiet infolge des Straßenverkehrs innerhalb eines räumlich begrenzten Rechengebietes wird mit dem dreidimensionalen prognostischen Modell MISKAM (Eichhorn, 1989 und 2003, Version 4.22) ermittelt.

MISKAM löst numerisch die Erhaltungssätze für Impuls (Bewegungsgleichungen) und Masse (Kontinuitätsgleichung). Die Turbulenzschließung erfolgt über Berücksichtigung von kinetische Turbulenzenergie und turbulenter Energiedissipation (E- α -Modell).

Für die Berechnung der Zusatzbelastung wird zunächst das Berechnungsgebiet in ein nichtäquidistantes kartesisches Gitter aufgeteilt. Die Bebauungs- und Quellstruktur wird im nächsten Schritt auf dieses Gitter gerastert. Für 36 verschiedene Windrichtungen werden Strömungsfelder berechnet. Die Strömungsfelder werden in 9 verschiedene Windgeschwindigkeitsklassen (gemäß Anhang 3 der TA Luft (2002)) skaliert und damit die Schadstoffkonzentrationen berechnet. Mit den berechneten Konzentrationen werden auf der Grundlage von Emissionsganglinien bzw. Emissionshäufigkeitsverteilungen und einer repräsentativen Ausbreitungsklassenstatistik die statistischen Immissionskenngrößen Jahresmittel und 98- Perzentil ermittelt.

A1.4 Berechnung der Immissionen mit LASAT

Strömungs- und Ausbreitungsmodellierung

Die Ausbreitung wird mit dem Lagrange'schen Partikelmodell **LASAT** (Janicke, 2003) simuliert. Das Ausbreitungsmodell LASAT (Beschreibung unten) berechnet die Ausbreitung von Spurenstoffen in der unteren Atmosphäre im mikro- und mesoskaligen Bereich. Es basiert auf einem Lagrange-Modell (Teilchensimulation), bei dem die Dispersion der Stoffteilchen in der Atmosphäre durch einen Zufallsprozess auf dem Computer simuliert wird. Für komplexes Gelände ist im meteorologischen Präprozessor ein diagnostisches Windfeldmodell integriert.

Dreidimensionale Wind- und Turbulenzfelder, in denen z.B. der Einfluss von Gebäuden oder Unebenheiten des Geländes berücksichtigt sind, können auch explizit vorgegeben werden.

Es können beliebig viele Emissionsquellen als Punkt-, Linien-, Flächen-, Raster- oder Volumenquellen definiert werden. Die meteorologischen Parameter der Ausbreitungsrechnung können als Zeitreihe vorgegeben werden. Es wird die über fortlaufende Zeitintervalle gemittelte dreidimensionale Konzentrationsverteilung der emittierten Spurenstoffe und die Massenstromdichte ihrer Deposition am Erdboden berechnet. 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.

Beschreibung des Modells LASAT (Auszug aus dem LASAT Referenzbuch zu Version 2.12)

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.

Bei der Ausbreitungsrechnung wird für eine Gruppe repräsentativer Stoffteilchen der Transport und die turbulente Diffusion durch einen Zufallsprozess auf dem Computer simuliert (Lagrange-Simulation).

LASAT ist konform mit der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 (Partikelmodell) vom September 2000 und ist Grundlage des Ausbreitungsmodells AUSTAL2000 der neuen TA Luft (2002), das vom Ing.-Büro Janicke im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellt wurde. 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 — seit der Version 2.00 — ein Markov-Prozess für die Orts- und Geschwindigkeitskomponenten eines Simulationsteilchens, der Zeitschritte bis zum Doppelten der Lagrange-Korrelationszeit zulässt.

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.

Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG 74

Verteilung der Luftschadstoffbelastung in der Stadt Hannover 60231-04-01.doc
auf Basis der neuen Emissionsfaktoren für Straßenverkehr

Eine Abgasfahnenüberhöhung wird parametrisch erfasst. 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. Windfelder bei labiler Schichtung müssen durch solche bei indifferenter Schichtung approximiert werden.

Das diagnostische Windfeldmodell kann auch die Umströmung von Gebäuden berechnen und dabei die im Lee auftretende Rezirkulation und die erhöhte Turbulenz modellieren. Gebäude dürfen auch in gegliedertem Gelände stehen. Dreidimensionale Wind- und Turbulenzfelder können auch explizit vorgegeben werden.

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 Rechnetze ineinander geschachtelt, deren Maschenweite sich von Netz zu Netz um einen Faktor 2 ändert. Die berechnete Konzentrationsverteilung kann auf jedem der Netze dargestellt werden.

A1.5 Fehlerdiskussion

Immissionsprognosen als Folge der Emissionen des KFZ-Verkehrs sind ebenso wie Messungen der Schadstoffkonzentrationen fehlerbehaftet. Bei der Frage nach der Zuverlässigkeit der Berechnungen und der Güte der Ergebnisse stehen meistens die Ausbreitungsmodelle im Vordergrund. Die berechneten Immissionen sind aber nicht nur abhängig von den Ausbreitungsmodellen, sondern auch von einer Reihe von Eingangsinformationen, wobei jede Einzelne dieser Größen einen mehr oder weniger großen Einfluss auf die prognostizierten Konzentrationen hat. Wesentliche Eingangsgrößen sind die Emissionen, die Bebauungsstruktur, meteorologische Daten und die Vorbelastung.

Es ist nicht möglich, auf Basis der Fehlerbandbreiten aller Eingangsdaten und Rechenschritte eine klassische Fehlerberechnung durchzuführen, da die Fehlerbandbreite der einzelnen Parameter bzw. Teilschritte nicht mit ausreichender Sicherheit bekannt sind. Es können jedoch für die einzelnen Modelle Vergleiche zwischen Naturmessungen und Rechnungen gezeigt werden, anhand derer der Anwender einen Eindruck über die Güte der Rechenergebnisse erlangen kann.

In einer Sensitivitätsstudie für das Projekt "Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung - PEF" (Flassak et al., 1996) wird der Einfluss von Unschärfen der Eingangsgrößen betrachtet. Einen großen Einfluss auf die Immissionskenngrößen zeigen demnach die Eingangsparameter für die Emissionsberechnungen sowie die Bebauungsdichte, die lichten Abstände zwischen der Straßenrandbebauung und die Windrichtungsverteilung.

Hinsichtlich der Fehlerabschätzung für die KFZ-Emissionen ist anzufügen, dass die Emissionen im Straßenverkehr bislang nicht direkt gemessen, sondern über Modellrechnungen ermittelt werden. Die Genauigkeit der Emissionen ist unmittelbar abhängig von den Fehlerbandbreiten der Basisdaten (d.h. Verkehrsmengen, Emissionsfaktoren, Fahrleistungsverteilung, Verkehrsablauf).

Nach BAST (1986) liegt die Abweichung von manuell gezählten Verkehrsmengen (DTV) gegenüber simultan erhobenen Zählraten aus automatischen Dauerzählstellen bei ca. 10 %.

Für Emissionsfaktoren liegen derzeit noch keine statistischen Erhebungen über Fehlerbandbreiten vor. Deshalb wird vorläufig ein leicht erhöhter Schätzwert von ca. 20 % angenommen.

Weitere Fehlerquellen liegen in der Fahrleistungsverteilung innerhalb der nach Fahrzeugschichten aufgeschlüsselten Fahrzeugflotte, dem Anteil der mit nicht betriebswarmem Motor gestarteten Fahrzeuge (Kaltstartanteil) und der Modellierung des Verkehrsablaufs. Je nach betrachtetem Schadstoff haben diese Eingangsdaten einen unterschiedlich großen Einfluss auf die Emissionen. Untersuchungen haben beispielsweise gezeigt, dass die Emissionen, ermittelt über Standardwerte für die Anteile von leichten und schweren Nutzfahrzeugen und für die Tagesganglinien im Vergleich zu Emissionen, ermittelt unter Berücksichtigung entsprechender Daten, die durch Zählung erhoben wurden, Differenzen im Bereich von +/-20 % aufweisen.

Die Güte von Ausbreitungsmodellierungen war Gegenstand weiterer PEF-Projekte (Röckle & Richter, 1995 und Schädler et al., 1996). Schädler et al. führten einen ausführlichen Vergleich zwischen gemessenen Konzentrationskenngrößen in der Göttinger Straße, Hannover, und MISKAM-Rechenergebnissen durch. Die Abweichungen zwischen Mess- und Rechenergebnissen lagen im Bereich von 10 %, wobei die Eingangsdaten im Fall der Göttinger Straße sehr genau bekannt waren. Bei größeren Unsicherheiten in den Eingangsdaten sind höhere Rechenunsicherheiten zu erwarten. Dieser Vergleich zwischen Mess- und Rechenergebnissen dient der Validierung des Modells, wobei anzumerken ist, dass sowohl Messung als auch Rechnung fehlerbehaftet sind.

Hinzuzufügen ist, dass der Fehler der Emissionen sich direkt auf die berechnete Zusatzbelastung auswirkt, nicht aber auf die Vorbelastung, d.h. dass die Auswirkungen auf die Gesamtimmisionsbelastung geringer sind.