



**Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG**

**Immissionsschutz, Klima,
Aerodynamik, Umweltsoftware**

An der Roßweid 3, D-76229 Karlsruhe

Telefon: +49 (0) 721 / 6 25 10 - 0

E-Mail: info.ka@lohmeyer.de

URL: www.lohmeyer.de

Messstelle nach §§ 26, 28 BImSchG

**SCREENING DER
LUFTSCHADSTOFFBELASTUNG
IN DEN HAUPTVERKEHRSTRASSEN
DER STADT BREMEN**

Auftraggeber: Senator für Bau, Umwelt und Verkehr
Ansgaritorstraße 2
28195 Bremen

Dr.rer.nat. R. Bösingher
Dipl.-Ing. S. Drautz

Dr.-Ing. W. Bächlin
Dipl.-Met. H. Frantz

Juli 2005
Projekt 60141-04-01
Berichtsumfang 58 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN	1
1 ZUSAMMENFASSUNG	3
2 AUFGABENSTELLUNG	6
3 VORGEHENSWEISE	8
3.1 Zusammenfassung der Beurteilungsmaßstäbe	8
3.2 Berechnungsverfahren	9
3.2.1 Emissions- und Immissionsbestimmung.....	9
3.2.2 Überschreitungshäufigkeit der Stunden- und Tagesmittelwerte	11
4 EINGANGSDATEN	14
4.1 Verkehrsdaten	14
4.2 Hintergrundbelastung	18
4.3 Meteorologische Daten	19
5 EMISSIONEN	22
5.1 Betrachtete Schadstoffe	22
5.2 Methode zur Bestimmung der Emissionsfaktoren.....	22
5.2.1 Motorbedingte Emissionsfaktoren	22
5.2.2 Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren	24
5.3 Emissionen pro Fahrzeug	25
5.4 Emissionen des untersuchten Straßennetzes.....	28
6 ERGEBNISSE	32
6.1 Ergebnisse NO ₂	32
6.2 Ergebnisse Feinstaub PM ₁₀	34
7 LITERATUR	39
A1 BEURTEILUNGSWERTE FÜR LUFTSCHADSTOFFKONZENTRATIONEN AN KFZ-STRASSEN	44

A2 NUMERISCHE VERFAHREN ZUR IMMISSIONSERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION	48
A3 ERGEBNISTABELLEN SCREENING BREMEN	54

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 Dezimalkommas. Eine Abtrennung von Tausendern erfolgt durch Leerzeichen.

ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN

Emission / Immission

Als Emission bezeichnet man die von einem Fahrzeug oder anderen Emittenten ausgestoßene Luftschadstoffmenge in Gramm Schadstoff pro Stunde. Die in die Atmosphäre emittierten Schadstoffe werden vom Wind verfrachtet und führen im umgebenden Gelände zu Luftschadstoffkonzentrationen, den so genannten Immissionen. Diese Immissionen stellen Luftverunreinigungen dar, die sich auf Menschen, Tiere, Pflanzen und andere Schutzgüter überwiegend nachteilig auswirken. Die Maßeinheit der Immissionen am Untersuchungspunkt ist μg (oder mg) Schadstoff pro m^3 Luft.

Vorbelastung / Zusatzbelastung / Gesamtbelastung

Als Vorbelastung werden im Folgenden die Immissionen bezeichnet, die bereits ohne die Emissionen des Straßenverkehrs auf den betrachteten Straßen an den Untersuchungspunkten vorliegen. Die Zusatzbelastung ist diejenige Immission, die ausschließlich vom Verkehr auf dem zu untersuchenden Straßennetz oder der zu untersuchenden Straße hervorgerufen wird. Die Gesamtbelastung ist die Summe aus Vorbelastung und Zusatzbelastung und wird in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oder mg/m^3 angegeben.

Grenzwerte / Vorsorgewerte

Grenzwerte sind zum Schutz der menschlichen Gesundheit vom Gesetzgeber vorgeschriebene Beurteilungswerte für Luftschadstoffkonzentrationen, die nicht überschritten werden dürfen, siehe z.B. Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Vorsorgewerte stellen zusätzliche Beurteilungsmaßstäbe dar, die zahlenmäßig niedriger als Grenzwerte sind und somit im Konzentrationsbereich unterhalb der Grenzwerte eine differenzierte Beurteilung der Luftqualität ermöglichen.

Jahresmittelwert / 98-Perzentilwert / Kurzzeitwert (Äquivalentwert)

An den betrachteten Untersuchungspunkten unterliegen die Konzentrationen der Luftschadstoffe in Abhängigkeit von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Verkehrsaufkommen etc. ständigen Schwankungen. Die Immissionskenngrößen Jahresmittelwert, 98-Perzentilwert und weitere Kurzzeitwerte charakterisieren diese Konzentrationen. Der Jahresmittelwert stellt den über das Jahr gemittelten Konzentrationswert dar. Eine Einschränkung hinsichtlich Beurteilung der Luftqualität mit Hilfe des Jahresmittelwertes besteht darin, dass er nichts über Zeiträume mit hohen Konzentrationen aussagt. Eine das ganze Jahr über konstante Konzentration kann zum gleichen Jahresmittelwert führen wie eine zum Beispiel tagsüber sehr hohe und nachts sehr niedrige Konzentration. Der Gesetzgeber hat deshalb zusätzlich zum Jahresmittelwert z.B. den so genannten 98-Perzentilwert der Konzentrationen

eingeführt. Das ist derjenige Konzentrationswert, der in 98 % der Zeit des Jahres unterschritten wird.

Die Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (22. BImSchV) fordert weitere Kurzzeitwerte in Form des Stundenmittelwertes der NO₂ Konzentrationen von 200 µg/m³, der in nicht mehr als 18 Stunden pro Jahr überschritten werden darf und des Tagesmittelwertes der PM10-Konzentration von 50 µg/m³, der maximal an 35 Tagen überschritten werden darf. Da diese Werte derzeit nicht direkt berechnet werden können, erfolgt die Beurteilung hilfsweise anhand von abgeleiteten Äquivalentwerten auf Basis der 98-Perzentil- bzw. Jahresmittelwerte. Diese Äquivalentwerte sind aus Messungen abgeleitete Kennwerte, bei deren Unterschreitung auch eine Unterschreitung der Kurzzeitwerte erwartet wird.

Verkehrssituation

Emissionen und Kraftstoffverbrauch hängen in hohem Maße vom Fahrverhalten der Kfz ab, die sich in unterschiedlichen Betriebszuständen wie Leerlauf im Stand, Beschleunigung, Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit, Bremsverzögerung etc. befinden. Das typische Fahrverhalten der Kfz kann zu so genannten Verkehrssituationen zusammengefasst werden. Diese wurden vom Umweltbundesamt definiert und es wurden dafür die Emissionen gegeben. Verkehrssituationen sind durch die Merkmale eines Straßenabschnitts wie Geschwindigkeitsbeschränkung, Ausbaugrad, Vorfahrtregelung etc. charakterisiert.

PM10

Mit PM10 werden alle Partikel bezeichnet, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist.

1 ZUSAMMENFASSUNG

Das Bremer Luftüberwachungssystem (BLUES) erfasst seit 1987 an ortsfesten Messstationen Daten zur Überwachung der Luftqualität. Bedingt durch die Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs lag im Jahr 2002 die Stickstoffdioxid-Immissionsbelastung an den beiden verkehrsnah messenden Stationen Bremen-Verkehr 1 und Bremen-Verkehr 2 etwa doppelt so hoch wie die Belastung der verkehrsfernen Messpunkte. Der ab 1.1.2010 einzuhaltende Immissionsgrenzwert von $40 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ im Jahresmittel wurde an den beiden Stationen Bremen-Verkehr 1 und Bremen-Verkehr 2 mit $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten. Der für 2002 einzuhaltende Grenzwert unter Einbeziehung der geltenden Toleranzmarge von $56 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ im Jahresmittel wurde an der Messstation Bremen-Verkehr 1 überschritten. Aufgrund dieser Überschreitung von Grenzwert inklusive Toleranzmarge ist ein Luftreinhalteplan entsprechend § 47 BImSchG zu entwickeln.

Der ab 1.1.2005 einzuhaltende Immissionsgrenzwert für Feinstaub (PM10) von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel wurde im Jahr 2002 an keiner Messstation überschritten. An den verkehrsnahen Messstationen wurden als Mittelwert $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. Der einzuhaltende Tages-Immissionswert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mit maximal 35 zulässigen Überschreitungen im Kalenderjahr, wurde mit 33 gemessenen Überschreitungen an den verkehrsnahen Messstationen nur geringfügig unterschritten. Bei den Schadstoffen Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid und Benzol lagen im Messzeitraum 2002 die Konzentrationen deutlich unter den in der 22. BImSchV festgelegten Immissionsgrenzwerten.

Um neben den o.g. Messstationen weitere durch Kfz-Verkehr stark belastete Orte im Bremer Stadtgebiet identifizieren zu können, sollen vereinfachte Immissionsabschätzungen für relevante Straßenabschnitte durchgeführt werden (Grobscreening). Die Erkenntnisse des Grobscreenings stellen die Grundlage für die Auswahl von Straßenabschnitten für detaillierte Schadstoffuntersuchungen (Feinscreening) bzw. von Schadstoffmessungen dar.

Für die Berechnung der vom Straßenverkehr verursachten Schadstoffemissionen wird das Berechnungsverfahren PROKAS verwendet (siehe Anhang A2). Auf der Grundlage der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Verkehrsmengen werden für das zu betrachtende Bezugsjahr die von den Kraftfahrzeugen emittierten Schadstoffmengen und -immissionen ermittelt. Die mittleren spezifischen Emissionen der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Busse etc.) werden mithilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 2.1 (UBA, 2004) bestimmt. Die Emissionen der Feinstaubpartikel (PM10) des Straßenverkehrs aufgrund von Abrieb und Aufwirbelung werden im HBEFA 2.1 nicht behandelt. Die PM10-Emissionsbestimmung für Abrieb und

Aufwirbelung erfolgt auf der Grundlage neuester Ergebnisse aktueller Forschungsarbeiten (Lohmeyer, 2004a und 2004b), 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 (Lohmeyer, 2004) vorgestellt und diskutiert wurden. Die Vorgehensweise zur Emissionsbestimmung entspricht somit dem aktuellen Stand der Technik.

Nach Übernahme des digitalen Straßennetzes und Zuordnung sowohl der Verkehrsbelegungen als auch der Verkehrssituationen erfolgt unter Berücksichtigung von Kaltstartzuschlägen, Stauanteilen und Längsneigungseinflüssen die Ermittlung der abschnittsbezogenen Emissionsdichten im Jahresmittel. Die jahresmittleren Emissionen werden für das detailliert betrachtete Straßennetz auf Linien mit Raumbezug ausgewiesen.

Den Screeningberechnungen für die linienbezogenen Immissionskarten liegen die in Kap. 3 beschriebene Methodik sowie die in Kap. 4 beschriebene Hintergrundbelastung und die für das gesamte Straßennetz von Bremen ermittelten Emissionsdichten (vgl. Kap. 5) zugrunde. Die Berechnungen werden für das Jahr 2001 durchgeführt.

Ergebnisse NO₂-Immissionen

Für das betrachtete Bezugsjahr 2001 wird an acht einzelnen Straßenabschnitten der Übergangsbeurteilungswert von 56 µg NO₂ /m³ im Jahresmittel mit den berechneten Immissionen erreicht oder sogar überschritten. Diese einzelnen Straßenabschnitte lassen sich zu drei verschiedenen Straßenzügen zusammenfassen:

- Eduard-Grunow-Straße/Dobbenweg,
- Bismarckstraße und
- Neuenlander Straße.

Da die Toleranzmarge bis zum Erreichen des Beurteilungswertes von 40 µg/m³ im Jahr 2010 jährlich abnimmt, wurden auch die Straßenbereiche mit Werten unter 56 µg/m³ einem Ranking unterzogen. Die Straßenabschnitte mit Werten ab 40 µg/m³ wurden erarbeitet. Herauszuheben sind die nachfolgend zusammengefassten Straßenzüge:

Außer der Schleifmühle/Bismarckstraße, Friedrich-Ebert-Straße, Hansestraße, Westerstraße/Osterstraße, Bürgermeister-Smidt-Straße/Langemarckstraße, Am Wall, Gastfeldstraße/Pappelstraße und weitere.

Eine Überschreitung des Kurzzeitbeurteilungswertes für das Bezugsjahr ist nicht festgestellt worden.

Ergebnisse Feinstaub-Immissionen

Für das betrachtete Bezugsjahr 2001 wird der Übergangsbeurteilungswert für PM10 von $44.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel an keinem untersuchten Straßenabschnitt mit den berechneten Immissionen erreicht bzw. überschritten. Hingegen wird eine Überschreitung des Übergangsbeurteilungswert von $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Tagesmittelwert, der maximal an 35 Tagen im Jahr überschritten werden darf, mit der

- Eduard-Grunow-Straße und der
- Bismarckstraße

an zwei Straßenabschnitten festgestellt.

Da auch bei PM10 die Toleranzmarge bis zum Erreichen des Beurteilungswertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Tagesmittelwert, der maximal an 35 Tagen im Jahr überschritten werden darf, im Jahr 2005 jährlich abnimmt, werden auch die Straßenbereiche mit Jahresmittelwerten ab $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ einem Ranking unterzogen. Herauszuheben sind folgende Straßenzüge, an denen ein Überschreiten des Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an mehr als 35 Tagen im Jahr zu erwarten ist:

Eduard-Grunow-Straße/Dobbenweg/Schwachhauser Heerstraße, Außer der Schleifmühle/Bismarckstraße, Am Wall, Doventorstraße, Bürgermeister-Smidt-Straße, Westerstraße, Hansestraße, Neuenlander Straße und weitere.

Der im Jahre 2005 geltende Beurteilungswert für das Jahresmittel von $40 \mu\text{g PM10}/\text{m}^3$ wird mit einer berechneten Immission von $41 \mu\text{g PM10}/\text{m}^3$ in der Eduard-Grunow-Straße geringfügig überschritten.

2 AUFGABENSTELLUNG

Das Bremer Luftüberwachungssystem (BLUES) erfasst seit 1987 an ortsfesten Messstationen Daten zur Überwachung der Luftqualität. Bedingt durch die Emissionen des Kraftfahrzeugverkehrs lag im Jahr 2002 die Stickstoffdioxid-Immissionsbelastung an den beiden verkehrsnah messenden Stationen Bremen-Verkehr 1 und Bremen-Verkehr 2 etwa doppelt so hoch wie die Belastung der verkehrsfernen Messpunkte. Der ab 1.1.2010 einzuhaltende Immissionsgrenzwert von $40 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ im Jahresmittel wurde an den beiden Stationen Bremen-Verkehr 1 und Bremen-Verkehr 2 mit $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten.

Der für 2002 einzuhaltende Grenzwert unter Einbeziehung der geltenden Toleranzmarge von $56 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ im Jahresmittel wurde an der Messstation Bremen-Verkehr 1 überschritten. Aufgrund dieser Überschreitung von Grenzwert inklusive Toleranzmarge ist ein Luftreinhalteplan entsprechend § 47 BImSchG zu entwickeln.

Der ab 1.1.2005 einzuhaltende Immissionsgrenzwert für Feinstaub (PM10) von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel wurde im Jahr 2002 an keiner Messstation überschritten. An den verkehrsnahen Messstationen wurden als Mittelwert $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. Der einzuhaltende Tages-Immissionswert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mit maximal 35 zulässigen Überschreitungen im Kalenderjahr, wurde mit 33 gemessenen Überschreitungen an den verkehrsnahen Messstationen nur geringfügig unterschritten. Bei den Schadstoffen Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid und Benzol lagen im Messzeitraum 2002 die Konzentrationen deutlich unter den in der 22. BImSchV festgelegten Immissionsgrenzwerten.

Es wird davon ausgegangen, dass auch an anderen stark belasteten Straßen in Bremen möglicherweise Grenzwerte der 22. BImSchV überschritten werden. Aufgabe der vorliegenden Untersuchung ist die Ermittlung der Konzentrationswerte im Sinne der 22. BImSchV mit Hilfe von Modellrechnungen für das Hauptverkehrsstraßennetz der Stadt Bremen für das Bezugsjahr 2001. Um den Untersuchungs- und Messaufwand in einem vertretbaren Rahmen zu halten, sind zunächst für das gesamte Stadtgebiet (**Abb. 2.1**) von Bremen Vorermittlungen in Form vereinfachter Immissionsabschätzungen für relevante Straßenabschnitte durchzuführen (Grobscreening). Die Erkenntnisse des Grobscreenings stellen die Grundlage für die Auswahl von Straßenabschnitten für detaillierte Schadstoffuntersuchungen (Feinscreening) bzw. von Schadstoffmessungen dar. Der vorliegende Bericht beschreibt die Grundlagen, die Methoden und die Ergebnisse des Grobscreenings.

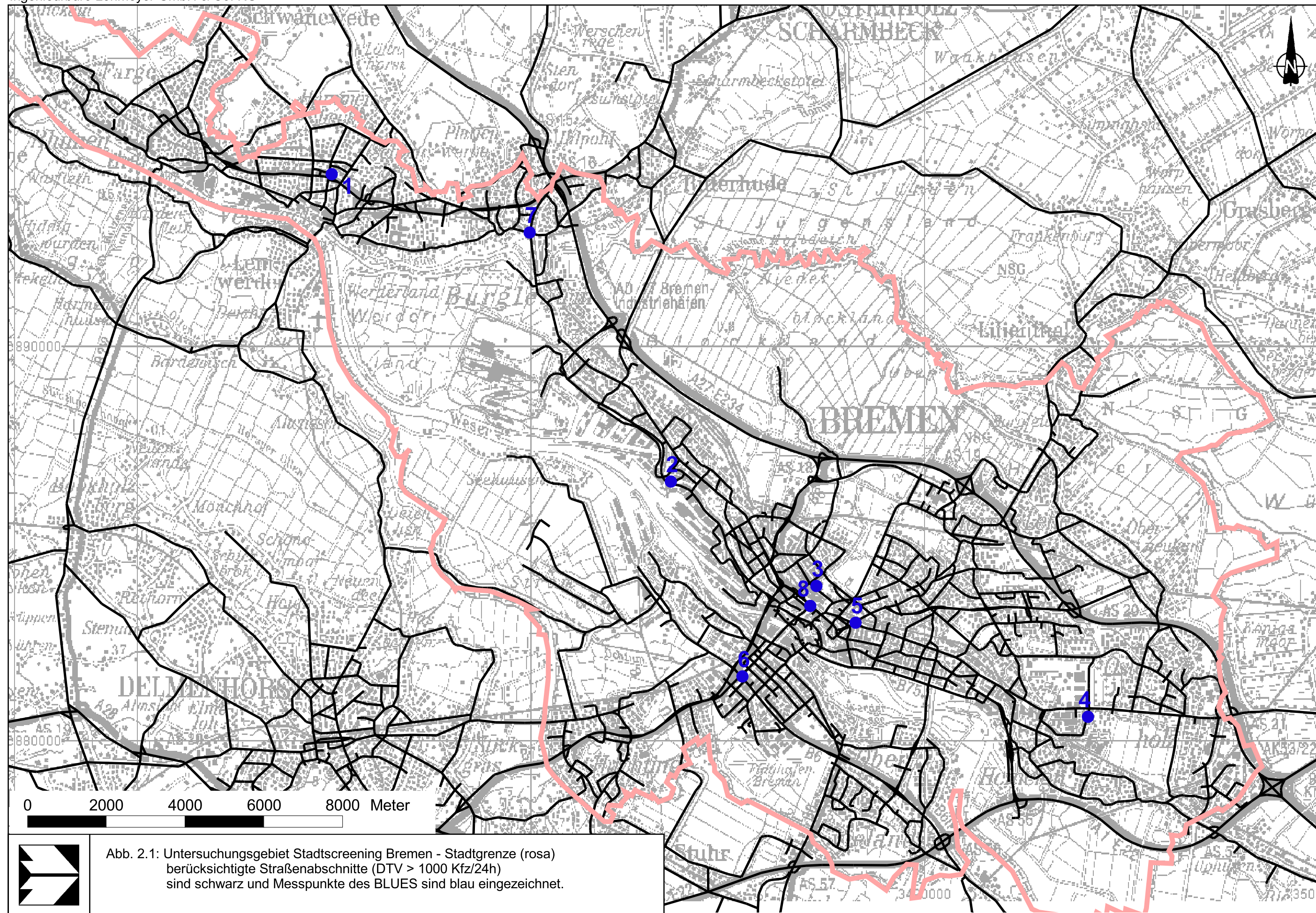


Abb. 2.1: Untersuchungsgebiet Stadtscreening Bremen - Stadtgrenze (rosa) berücksichtigte Straßenabschnitte (DTV > 1000 Kfz/24h) sind schwarz und Messpunkte des BLUES sind blau eingezeichnet.

3 VORGEHENSWEISE

Bei der Verbrennung des Kfz-Kraftstoffes wird eine Vielzahl von Schadstoffen freigesetzt, die die menschliche Gesundheit gefährden können. Der Vergleich der Schadstoffkonzentrationen mit schadstoffspezifischen Beurteilungswerten, z.B. Grenz- oder Vorsorgewerten, die vom Gesetzgeber zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegt werden, lässt Rückschlüsse auf die Luftqualität zu. Für den Kfz-Verkehr relevant ist v.a. die 22. BImSchV.

Die vorliegende Untersuchung konzentriert sich unter Berücksichtigung der o.g. Grenzwerte und der derzeitigen Konzentrationsniveaus auf die v.a. vom Straßenverkehr erzeugten Schadstoffe Stickoxide und Feinstaubpartikel PM10. Im Zusammenhang mit Beiträgen durch den Kfz-Verkehr sind gemäß den Ergebnissen des Bremer Luftüberwachungssystems (BLUES) die Schadstoffe Benzol, Blei, Schwefeldioxid SO₂ und Kohlenmonoxid CO von untergeordneter Bedeutung. Für Stickstoffmonoxid NO gibt es keine Beurteilungswerte. Die Beurteilung der Schadstoffimmissionen erfolgt durch Vergleich relativ zum entsprechenden Grenzwert.

3.1 Zusammenfassung der Beurteilungsmaßstäbe

In **Tab. 3.1** werden die in der vorliegenden Studie verwendeten und im Anhang A1 erläuterten Beurteilungswerte für die relevanten Autoabgaskomponenten zusammenfassend dargestellt. Die Beurteilung der Schadstoffimmissionen erfolgt durch den Vergleich relativ zum jeweiligen Grenzwert.

Schadstoff	Beurteilungswert	Zahlenwert in µg/m ³	
		Jahresmittel	Kurzzeit
NO ₂	Grenzwert bis 2009	-	200 (98-Perzentil-Wert)
NO ₂	Grenzwert ab 2010	40	200 (Stundenwert, maximal 18 Überschreitungen/Jahr)
PM10	Grenzwert ab 2005	40	50 (Tagesmittelwert, maximal 35 Überschreitungen/Jahr)

Tab. 3.1: Beurteilungsmaßstäbe für Luftschadstoffimmissionen nach 22. BImSchV (2002)

Weiter orientiert sich die Bewertung an der Einstufung von Schadstoffimmissionen (siehe **Tab. 3.2**) durch die Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg (LfU, 1993).

Immissionen in % der entsprechenden Grenzwerte	Bewertung
bis 10 %	sehr niedrige Konzentrationen
über 10 % bis 25 %	niedrige Konzentrationen
über 25 % bis 50 %	mittlere Konzentrationen
über 50 % bis 75 %	leicht erhöhte Konzentrationen
über 75 % bis 90 %	erhöhte Konzentrationen
über 90 % bis 100 %	hohe Konzentrationen
über 100 % bis 110 %	geringfügige Überschreitungen
über 110 % bis 150 %	deutliche Überschreitungen
über 150 %	hohe Überschreitungen

Tab. 3.2: Bewertung von Immissionen nach LfU (1993)

Die 22. BImSchV sieht für die Jahre zwischen dem Inkrafttreten und dem Jahr der Geltung des jeweiligen Grenzwertes Toleranzmargen vor. Grenzwert plus Toleranzmarge wird Übergangsbeurteilungswert genannt. Bei Überschreitung des Übergangsbeurteilungswertes entsteht die Erfordernis der Erstellung eines Luftreinhalteplans. Für den Jahresmittelwert von NO₂ bedeutet die Toleranzmarge beispielsweise eine Anhebung des Übergangsbeurteilungswertes gegenüber dem Grenzwert um 2 µg/m³ pro Jahr vor 2010.

Die Übergangsbeurteilungswerte der hier relevanten Luftschadstoffe betragen für das hier betrachtete Jahr 2002 für NO₂ 56 µg/m³ im Jahresmittel und 280 µg/m³ für die Kurzzeitbelastung, für Benzol 10 µg/m³ im Jahresmittel und für PM10 44.8 µg/m³ im Jahresmittel und 65 µg/m³ für die Kurzzeitbelastung.

Den Berechnungen werden das Straßennetz und die Verkehrszahlen des Jahres 2001 zugrundegelegt. Für das Jahr 2001 galten u.a. die Beurteilungswerte nach der 23. BImSchV. Um eine kontinuierliche Beurteilung durchführen zu können werden im Rahmen dieser Untersuchung für das Jahr 2001 die Beurteilungswerte des Jahres 2002 der 22. BImSchV angenommen.

3.2 Berechnungsverfahren

3.2.1 Emissions- und Immissionsbestimmung

Für die Berechnung der verkehrsbedingten Schadstoffemissionen und -immissionen wird das Berechnungsverfahren PROKAS verwendet (siehe Anhang A2). Unser Büro hat sich mit dem

Modell PROKAS an einem bundesweiten, von BWPLUS Forschungszentrum Karlsruhe veranstalteten „Vergleich von berechneten Immissionswerten innerhalb eines beidseitig bebauten Straßenquerschnitts“ erfolgreich beteiligt.

Auf der Grundlage der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Verkehrsmengen auf den zu betrachtenden Straßen werden für das Bezugsjahr die von den Kraftfahrzeugen emittierten Schadstoffmengen ermittelt. Die mittleren spezifischen Emissionen der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Busse etc.) werden mit Hilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 2.1 (UBA, 2004) ermittelt. Die PM₁₀-Emissionen des Straßenverkehrs aufgrund von Abrieb und Aufwirbelung werden auch im neuen HBEFA 2.1 nicht behandelt. Die PM₁₀-Emissionsbestimmung für Abrieb und Aufwirbelung erfolgt auf der Grundlage neuester Ergebnisse aktueller Forschungsarbeiten (Lohmeyer, 2004a und 2004b), 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. Die Vorgehensweise zur Emissionsbestimmung entspricht somit dem aktuellen Stand der Technik.

Mithilfe der Informationen über Verkehrsflussparameter, wie Verkehrsdichte, Fahrgeschwindigkeit, Staulänge usw., werden sog. Verkehrssituationen entspr. HBEFA sowie Stauanteile für die einzelnen Straßenabschnitte festgelegt, die als Attribute der Segmente digitalisiert werden. Nach Übernahme des digitalen Straßennetzes und Zuordnung sowohl der Verkehrsbelegungen als auch der Verkehrssituationen erfolgt auf Grundlage der Verkehrsmengen und der den zugeordneten Verkehrssituationen zugehörigen Emissionsfaktoren unter Berücksichtigung von Kaltstartzuschlägen, Stauanteilen und Längsneigungseinflüssen die Ermittlung der abschnittsbezogenen Emissionsdichten im Jahresmittel.

Die Emissionsdichten dienen als Grundlage für die Ermittlung der Immissionen. Die notwendigen Daten zur Meteorologie und Hintergrundbelastung werden durch Auswertung von Messdaten erstellt bzw. abgeleitet.

Nach Ermittlung der abschnittsbezogenen Emissionsdichten werden die Straßenabschnitte mit relevanter Randbebauung und durchschnittlicher Verkehrsstärke (DTV) von über 1 000 Kfz/24h identifiziert. An diesen Straßenabschnitten wird die Randbebauung typisiert aufgenommen. Eine Zuordnung von Bebauungstypen nach PROKAS_B erfolgt auf Grundlage von Videoaufnahmen des sogenannten „CityServers“ (Senator für Bau, Umwelt und Verkehr, 2004) und anhand von Katasterkarten sowie Luftbildern.

Die anschließende Berechnung der Immissionen unter Berücksichtigung der örtlichen Hintergrundbelastung und der meteorologischen Daten wird mit Hilfe von PROKAS_V und PROKAS_B (siehe Anhang A2) für das Analysejahr durchgeführt. Die Immissionen werden für die Straßenabschnitte mit zugeordneten Bebauungstypen, d.h. Straßenabschnitte mit relevanter Randbebauung, ermittelt. Bei der Immissionsberechnung werden auch die Emissionen des gesamten digitalisierten Straßennetzes berücksichtigt. Da der Straßenverkehr im Untersuchungsgebiet Bremen die prägende Emittentengruppe darstellt, können mit dieser Vorgehensweise maximale Belastungen in Straßenschluchten ermittelt werden.

Unter Einbeziehung der Auftretenshäufigkeit aller möglichen Fälle der meteorologischen Verhältnisse (lokale Wind- und Ausbreitungsklassenstatistik), der berechneten Emissionen des Verkehrs auf den Straßen innerhalb des Untersuchungsgebietes und des Wochengangs der Emissionen, d.h. der zeitlichen Varianz der Emissionen, werden die im Untersuchungsgebiet auftretenden Immissionen berechnet. Das verwendete Berechnungsverfahren PROKAS ist in der Lage, sämtliche berücksichtigte Straßenzüge gleichzeitig für jede Stunde der Woche mit ihrer jeweiligen Emission emittieren zu lassen.

Aus der Häufigkeitsverteilung der berechneten verkehrsbedingten Schadstoffkonzentrationen (Zusatzbelastung) werden die statistischen Immissionskenngrößen Jahresmittel- bzw. Kurzzeitwerte des untersuchten Luftschadstoffes ermittelt. Dieser Zusatzbelastung, verursacht vom Verkehr innerhalb des Untersuchungsgebietes, wird die o.a. städtische Hintergrundbelastung überlagert.

3.2.2 Überschreitungshäufigkeit der Stunden- und Tagesmittelwerte

Die 22. BImSchV definiert u.a. als Kurzzeitgrenzwert für NO₂ einen Stundenmittelwert von 200 µg/m³, der nur 18 mal im Jahr überschritten werden darf. Entsprechend einem einfachen praktikablen Ansatz basierend auf Auswertungen von Messdaten (Lohmeyer et al., 2000) kann abgeschätzt werden, dass dieser Grenzwert dann eingehalten ist, wenn der 98-Perzentilwert 115 µg/m³ bis 170 µg/m³ nicht überschreitet. Die genannte Spannbreite, abgeleitet aus der Analyse von Messdaten verschiedener Messstellen, ist groß; die Interpretationen der Messdaten deuten darauf hin, dass bei einer Unterschreitung des 98-Perzentilwertes von 130 µg/m³ (= Äquivalentwert) der genannte Grenzwert für die maximalen Stundenwerte eingehalten wird. Für den o.g. Übergangsbeurteilungswert von 280 µg/m³ für die Kurzzeitbelastung ergibt die analoge Betrachtung einen Äquivalentwert von 182 µg/m³ für den 98-Perzentilwert.

Zur Ermittlung der in der 22. BImSchV definierten Anzahl von Überschreitungen eines Tagesmittelwertes der PM10-Konzentrationen von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird ein ähnliches Verfahren eingesetzt. Im Rahmen eines Forschungsprojektes für die Bundesanstalt für Straßenwesen wurde aus 914 Messdatensätzen aus den Jahren 1999 bis 2003 eine gute Korrelation zwischen der Anzahl der Tage mit PM10-Tagesmittelwerten größer als $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und dem PM10-Jahresmittelwert gefunden (**Abb. 3.1**). Daraus wurde eine funktionale Abhängigkeit der PM10-Überschreitungshäufigkeit vom PM10-Jahresmittelwert abgeleitet (Lohmeyer, 2004a). Die Regressionskurve nach der Methode der kleinsten Quadrate („best fit“) und die mit einem Sicherheitszuschlag von einer Standardabweichung erhöhte Funktion („best fit + 1 sigma“) sind ebenfalls in der **Abb. 3.1** dargestellt.

Im Oktober 2004 stellte die Arbeitsgruppe „Umwelt und Verkehr“ der Umweltministerkonferenz (UMK) aus den ihr vorliegenden Messwerten der Jahre 2001 bis 2003 eine entsprechende Funktion für einen „best fit“ vor (UMK, 2004). Diese Funktion zeigt bis zu einem Jahresmittelwert von ca. $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ einen nahezu identischen Verlauf wie der o.g. „best fit“ nach Lohmeyer (2004a). Im statistischen Mittel wird somit bei beiden Datenauswertungen die Überschreitung des PM10-Kurzzeitgrenzwertes bei einem PM10-Jahresmittelwert von $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erwartet.

Im vorliegenden Gutachten 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 eine konservative Vorgehensweise gewählt. Dazu wird die in Lohmeyer (2004a) angegebene „best fit“-Funktion um einen Sicherheitszuschlag von einer Standardabweichung erhöht. Mehr als 35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Grenzwert) werden mit diesem Ansatz für PM10-Jahresmittelwerte ab $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ abgeleitet. Für den o.g. Übergangsbeurteilungswert von $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für den Tagesmittelwert ergibt die analoge Betrachtung einen Äquivalentwert von $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für den Jahresmittelwert.

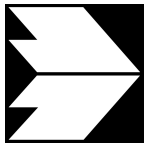
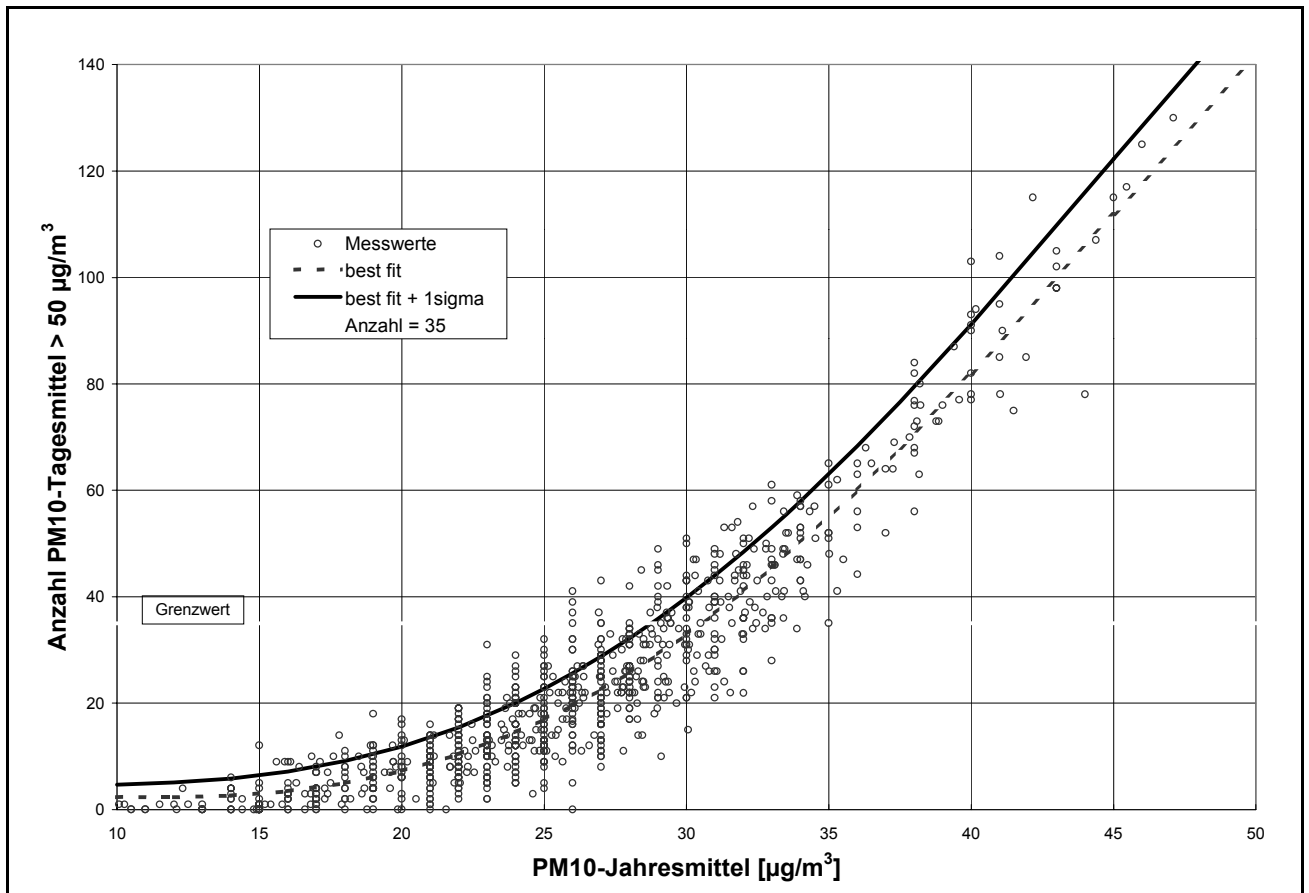


Abb. 3.1: Anzahl der Tage mit mehr als 50 µg PM10/m³ im Tagesmittel in Abhängigkeit vom PM10-Jahresmittelwert für Messstationen der Länder und des Umweltbundesamtes (1999-2003) sowie die daraus abgeleiteten Funktionen (Lohmeyer, 2004a)

4 EINGANGSDATEN

Für die Emissions- bzw. Immissionsberechnungen sind als Eingangsgrößen die Lage der Gebäude und Straßen im zu betrachtenden Untersuchungsgebiet und verkehrsspezifische Informationen von Bedeutung. Die Verkehrsdaten, die Lagepläne und die digitalen Daten des Bebauungskatasters wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Weitere Grundlagen der Immissionsberechnungen sind die basierend auf den Verkehrsdaten berechneten Schadstoffemissionen (Kap. 5), die meteorologischen Daten und die Schadstoffhintergrundbelastung.

Grundlage der vorliegenden Untersuchung sind u.a. die nachfolgenden Unterlagen:

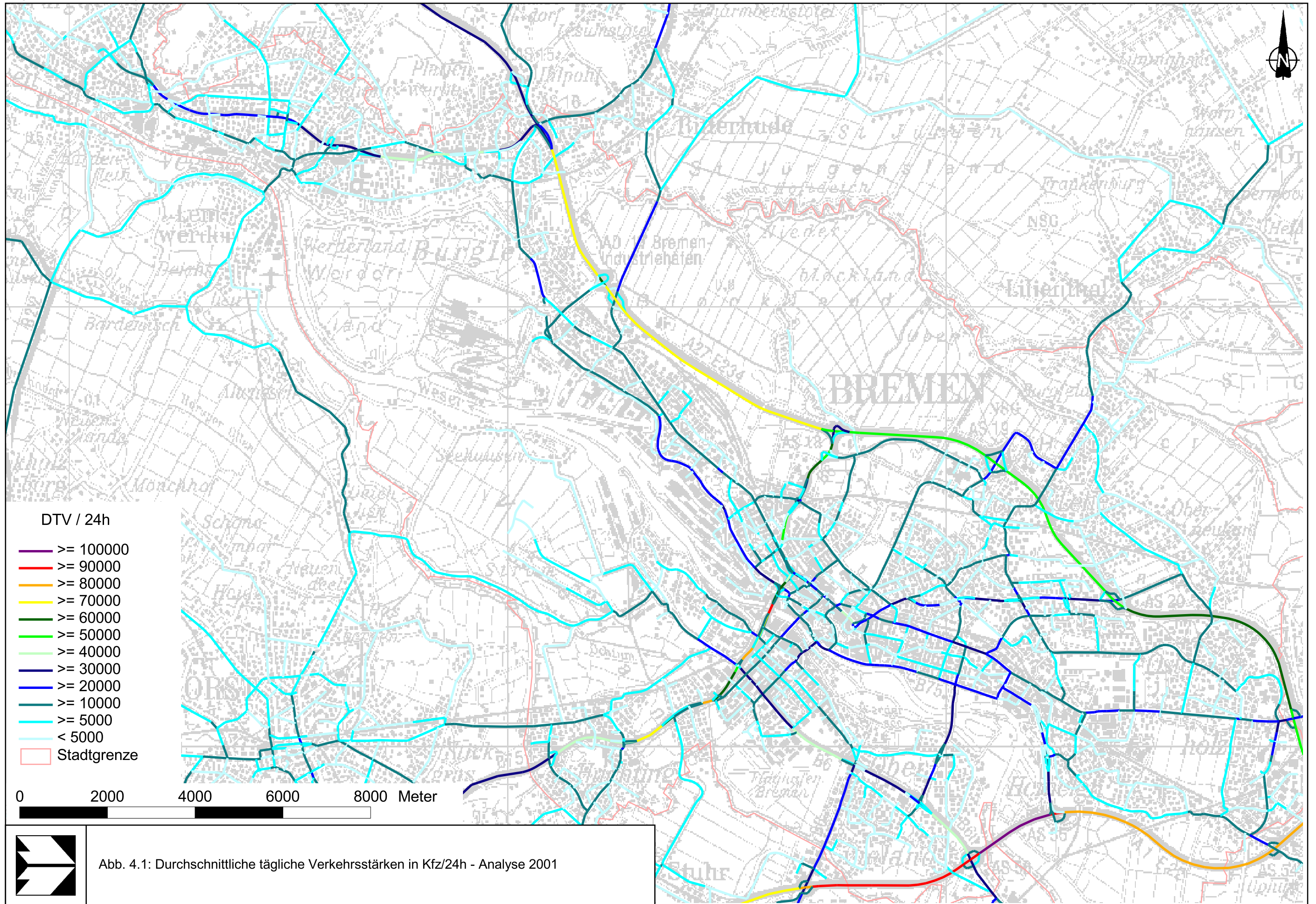
- digitale Raumkoordinaten und Bebauungsdaten, GeoInformation Bremen
- Verkehrsmengen für die Stadt Bremen im Jahr 2001 von der Ingenieurgruppe IVV, Aachen per Emails vom 30.03.2004, 28.05.2004, 04.08.2004, 01.03.2005 und Änderungen der Verkehrsdaten vom Senator für Bau, Umwelt und Verkehr, Abteilung Verkehr per Emails vom 25.05.2005, 19.07.2005 und 20.07.2005
- Berichte über die Messergebnisse des Bremer Luftüberwachungssystems BLUES, Hrsg.: Freie Hansestadt Bremen, Senator für Bau, Umwelt und Verkehr
- meteorologische Messdaten der BLUES-Station Bremen-Mitte
- meteorologische Messdaten der Messstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) am Flughafen Bremen
- Luftbilder und diverse Fotos vom Untersuchungsgebiet
- City-Server, Hrsg.: Senator für Bau, Umwelt

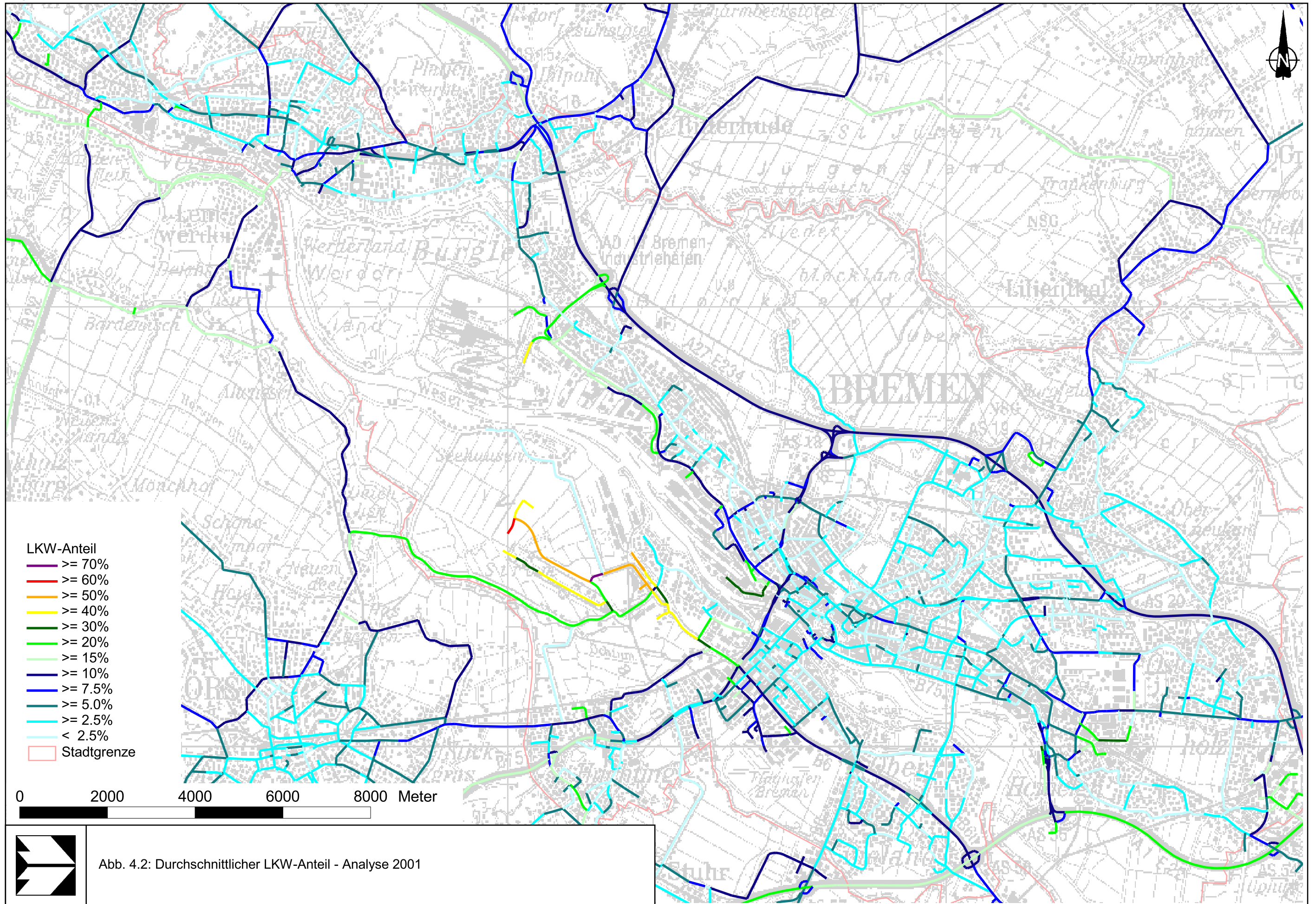
4.1 Verkehrsdaten

Die Verkehrsbelegungsdaten wurden für die zu berücksichtigenden Straßen in Form von Tagesverkehrsmengen vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Verkehrsbelegungsdaten für das Analysejahr auf den Straßenabschnitten im Untersuchungsgebiet bestehen aus Angaben der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (DTV in Kfz/24h) und des LKW-Anteils. Die für die Untersuchung angesetzten Verkehrsdaten im Untersuchungsgebiet sind in **Abb. 4.1** und **Abb. 4.3** dargestellt.

Zur Berechnung der zeitlichen Verteilung der Emissionen werden zusätzlich zu den Verkehrsstärken und LKW-Anteilen die Verkehrstagesganglinien an Werktagen, Samstagen und

Sonntagen benötigt, die insbesondere der Ermittlung der Kurzzeitbelastungen dienen. Diese Ganglinien wurden anhand von Straßenverkehrszählungen am Knoten Außer der Schleifmühle/Schwachhäuser Heerstraße/Bismarckstr/Dobbenweg vom 05.05. – 12.05.2003 ermittelt.





4.2 Hintergrundbelastung

Die Immissionskonzentration eines Schadstoffes setzt sich zusammen aus der großräumig vorhandenen Hintergrundbelastung und der verkehrsbedingten Zusatzbelastung. Die Hintergrundbelastung resultiert aus Schadstoffemissionen der Industrie, von Hausbrand und außerhalb des Untersuchungsgebietes liegendem Verkehr sowie aus dem überregionalen Ferntransport von Schadstoffen. Es ist die Schadstoffbelastung, die im Untersuchungsgebiet ohne die bei den Ausbreitungsrechnungen berücksichtigten Quellen vorläge. Zur Bestimmung der Gesamtbelastung muss die Hintergrundbelastung aus Messdaten abgeleitet werden.

Der Bremer Senat für Bau und Umwelt betreibt das Bremer Luftüberwachungssystem (BLUES) zur kontinuierlichen Immissionsüberwachung. In den Jahres- und Monatsberichten über die Immissionsmesswerte sind u.a. Angaben zu den statistischen Kenngrößen der gemessenen Luftschadstoffe zu finden (BLUES, 2000-2003). Die vorliegenden Daten für Bremer Stationen sind in der **Tab. 4.1** aufgeführt. Die kontinuierlich betriebenen BLUES-Messstationen Bremen-Mitte und Bremen-Ost liegen außerhalb und abseits von starkbelasteten Straßen. Beide Stationen werden als städtische Hintergrundstationen typisiert.

Komponente	Bremen-Mitte	Bremen-Ost	Bremen-West	Bremen-Nord	Bremen-Verkehr 1	Bremen-Verkehr 2	Breitenweg (Messwagen1)	Stader Landstr. (Messwagen 2)
NO ₂ Jahresmittel	27	22	33	26	63	55	34	31
NO ₂ 98-Perzentil	60	53	72	61	137	119	77	68
PM10 Jahresmittel	24	17	--	--	32	31	--	--

Tab. 4.1: Jahreskenngrößen der Luftschadstoff-Messwerte in [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] an BLUES-Stationen in der Umgebung des Untersuchungsgebietes (BLUES, 2001)

Die für die Immissionsprognosen angesetzten Hintergrundbelastungen im Untersuchungsgebiet (**Tab. 4.2**) wurden auf der Grundlage der o.a. Messdaten abgeleitet und mit der Bremer Umweltbehörde abgestimmt.

Schadstoff	Jahresmittelwert [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	98-Perzentilwert [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
NO ₂	21	50
PM10	20	--

Tab. 4.2: Schadstoffhintergrundbelastung für das Untersuchungsgebiet im Bezugsjahr 2001

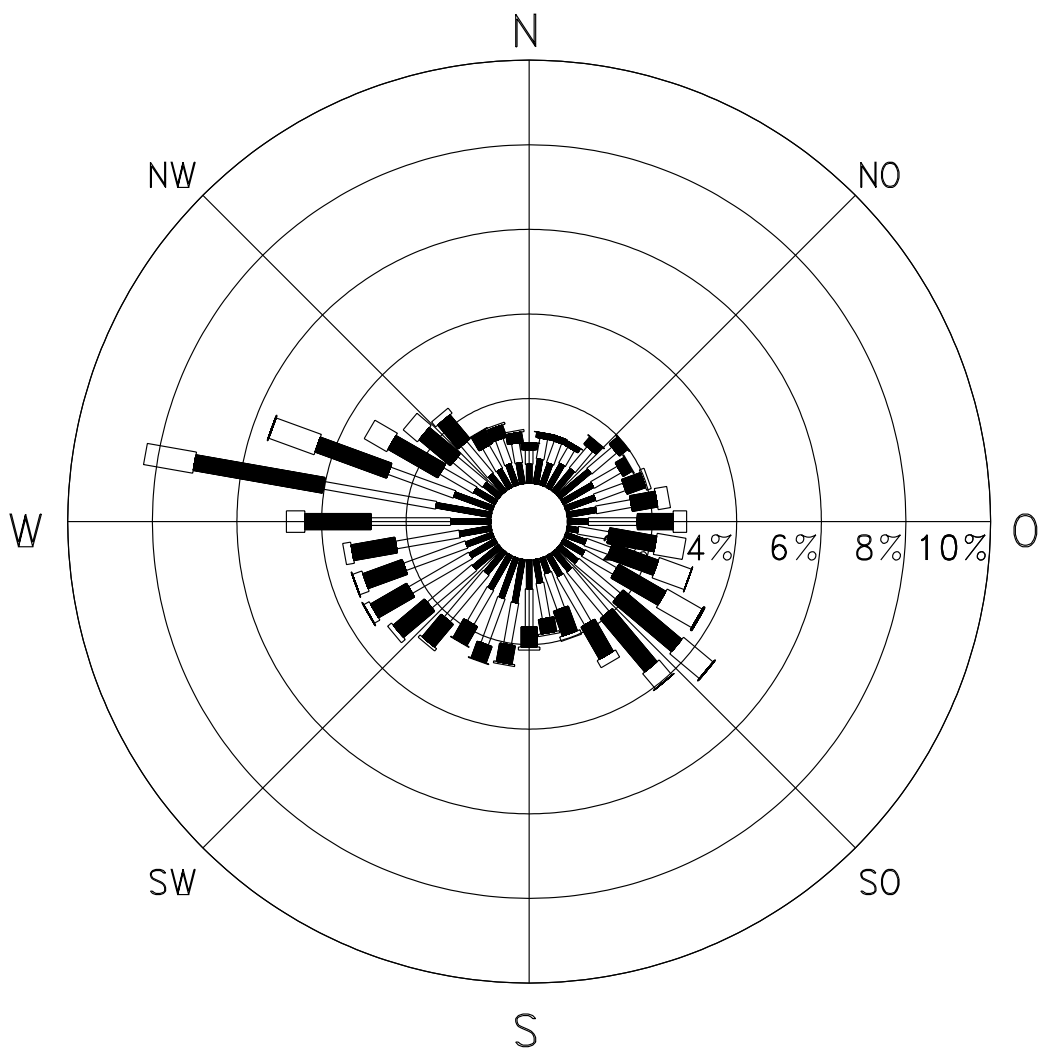
4.3 Meteorologische Daten

Für die Berechnung der Schadstoffimmissionen werden sogenannte Ausbreitungsklassenstatistiken benötigt. Das sind Angaben über die Häufigkeit verschiedener Ausbreitungsverhältnisse in den unteren Luftschichten, die durch Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Stabilität der Atmosphäre definiert sind.

Die meteorologischen Daten für die statistische Auswertung der Ausbreitungsrechnungen stammen von der BLUES-Messstation Bremen-Mitte aus dem Jahr 2001. Die Statistik ist in der **Abb. 4.3** dargestellt und zeigt einen hohen prozentualen Anteil von Windströmungen aus westlichen bis südwestlichen und südöstlichen Richtungen. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt 2.2 m/s und liegt im erwarteten Bereich für innerstädtische Gebiete. Diese Windstatistik wurde für die Immissionsberechnung im innerstädtischen Bereich für das Jahr 2001 angesetzt.

Für die Auswertung des äußeren Bereichs des Untersuchungsgebietes wurde die Windmessstation Bremen-Flughafen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) angesetzt. Die DWD-Station befindet sich auf dem Flughafengelände, der Windgeber ist in 10 m über Grund installiert und frei anströmbar. Die Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten für die Station Bremen-Flughafen für den Zeitraum 1981 bis 1990 sind in der **Abb. 4.4** dargestellt. Die häufigsten Windrichtungen liegen um Südwest bis West und um Südost. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt 4.3 m/s.

Bremen-Mitte



- 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

Station : Bremen-Mitte
 Höhe : 10 m
 Messzeit : 2001
 mitt. Wg : 2.2 m/s

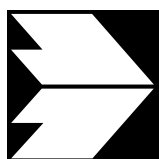
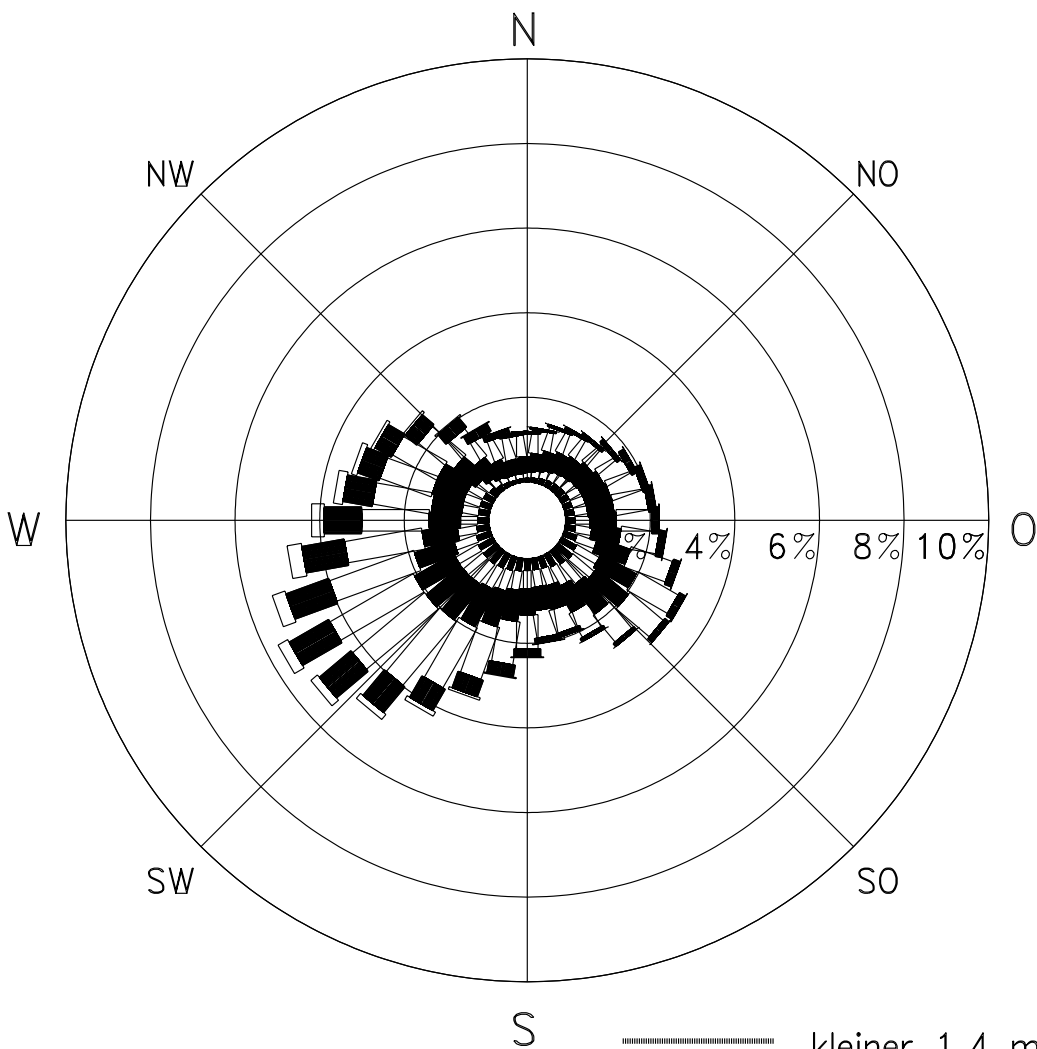

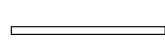






Abb. 4.3: Häufigkeitsverteilung von Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten an der BLUES-Messstation Bremen-Mitte für das Jahr 2001 (Quelle: Bremer Luftüberwachungssystem)

Bremen-Flughafen



Station : Bremen
 Höhe : 10 m
 Messzeit : 1981 – 1990
 mitt. Wg : 4.3 m/s

-  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

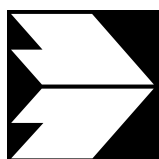


Abb. 4.4: Häufigkeitsverteilung von Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten an der Messstation Bremen-Flughafen (Quelle: DWD)

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. Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit werden gemäß den Messungen des Bremer Luftüberwachungssystems BLUES bei NO₂ und PM10 erreicht. 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 diese Luftschadstoffe hier nicht weiter betrachtet.

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 (INfz) 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 sich fortlaufend ändernden Fahrzeugflotte (Anteil Diesel etc.),

Verkehrssituation	Beschreibung
Autobahn	
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
Außerortsstraßen	
AO1	Außerortsstraße, guter Ausbaugrad, gerade
AO2	Außerortsstraße, guter Ausbaugrad, gleichmäßig kurvig
AO3	Außerortsstraße, guter Ausbaugrad, ungleichmäßig kurvig
Innerortsstraßen	
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 Verkehrssituationen 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.

- 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 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.

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. 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 (Reifen, Bremsen und Straßenbelag) und infolge der Wiederaufwirbelung (Resuspension) von Straßenstaub entsprechend der von Gehrig (2003) vorgeschlagenen und in Lohmeyer (2004a und 2004b) beschriebenen Vorgehensweise, 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 (Lohmeyer, 2004) vorgestellt und diskutiert wurde, berechnet. Es werden zur Berechnung der Emissionen für die Summe aus Reifen-,

Brems-, Straßen- und Kupplungsabrieb sowie Wiederaufwirbelung von eingetragenen Straßenstaub die in der **Tab. 5.2** aufgeführten Emissionsfaktoren verwendet.

Die Bildung von sogenannten 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 der **Abb. 5.1** zu entnehmen, klassifiziert wie im HBEFA (2004) für Längsneigungsklassen in 2 %-Stufen. Straßen mit unterschiedlich hohen Stauanteilen sind durch Unterstrich und s1 (stockender Verkehr) bzw. s2 (stauender Verkehr) gekennzeichnet.

Tab. 5.3 gibt einen Überblick über die zu diesen Verkehrssituationen gehörenden Emissionsfaktoren im betrachteten Bezugsjahr. Die Beiträge der nicht motorbedingten Partikelemissionen werden wie o.a. angesetzt und sind in **Tab. 5.3** nicht aufgenommen.

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
Autobahn					
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_Bau1	80			22	200
AB_Bau2	80			22	200
AB_StGo	---			22	200
Außerortsstraßen					
AO1	100	60	1	22	200
AO2	100	53	1	22	200
AO3	100	28	1	22	200
Innerortsstraßen					
IO_HVS>50	60	46	1	22	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
Kern	50	23	33	90	800
NS_D	50	32	5	90	800
NS_L	50	37	14	90	800
StGo	-	-	-	90	800
Tunnelstrecken					
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

Tab. 5.2: PM10-Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abriebe (Auf/Ab) differenziert nach Verkehrssituation für nichteingehauste Strecken und Tunnel. Hinweis: „HVS>50“ steht für HVS1>50, HVS2>50 und HVS3>50.

Straßenparameter		spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [mg/km]			
Verkehrssituation (Kürzel)	Längs- neigung	NO _x		Partikel (nur Abgas)	
		PKW	LKW	PKW	LKW
AB_120	+/-0%	530	7730	22.0	155
AB_100	+/-0%	462	7730	19.8	155
AB_80	+/-0%	378	7650	15.7	164
AB_60	+/-0%	297	7720	11.6	175
AowieAB	+/-0%	606	7020	16.0	153
AO1	+/-0%	361	6870	8.1	169
AO2	+/-0%	336	6930	9.6	171
AO3	+/-0%	359	7320	11.4	184
HVS1>50	+/-0%	395	6820	14.3	200
HVS1	+/-0%	395	6820	14.3	200
HVS1_2	+/-2%	410	7330	15.2	207
HVS1_4	+/-4%	440	8940	18.0	242
HVS2	+/-0%	401	8290	12.7	275
HVS3	+/-0%	414	9130	12.9	321
HVS3_4	+/-4%	480	10760	16.7	345
HVS3_6	+/-6%	505	12750	20.8	396
HVS4	+/-0%	426	11000	13.2	432
Kern	+/-0%	484	11200	16.7	515
LSA1	+/-0%	414	9130	12.9	321
LSA3	+/-0%	465	11170	15.5	498
LSA3_2	+/-2%	446	11580	16.2	497
NS_D	+/-0%	599	12260	20.5	571
NS_L	+/-0%	476	11000	15.4	432
AB_80_s1	+/-0%	388	8640	16.4	220
AO3_s1	+/-0%	390	7980	13.2	245
HVS1>50_s1	+/-0%	424	7510	15.9	259
HVS1_s1	+/-0%	424	7510	15.9	259
HVS2_s1	+/-0%	429	8880	14.4	329
HVS3_s1	+/-0%	441	9660	14.6	372
HVS4_s1	+/-0%	452	11400	14.8	476
Kern_s1	+/-0%	507	11590	18.1	553
LSA1_s1	+/-0%	441	9660	14.6	372
LSA3_s1	+/-0%	489	11560	17.0	537
AO3_s2	+/-0%	425	8730	15.2	315
HVS1>50_s2	+/-0%	456	8300	17.7	328
HVS1_s2	+/-0%	456	8300	17.7	328
HVS2_s2	+/-0%	461	9550	16.3	391
HVS3_s2	+/-0%	472	10270	16.5	430
HVS4_s2	+/-0%	482	11860	16.7	525
Kern_s2	+/-0%	532	12030	19.7	596
LSA1_s2	+/-0%	472	10270	16.5	430
LSA3_s2	+/-0%	516	12000	18.7	581
NS_L_s2	+/-0%	525	11860	18.6	525

Tab. 5.3: Spezifische Emissionsfaktoren in mg/km je Kfz für die betrachteten Straßen
(Bezugsjahr 2001)

5.4 Emissionen des untersuchten Straßennetzes

Die Emissionen der betrachteten Schadstoffe NO_x und PM_{10} werden für jeden der betrachteten Straßenabschnitte ermittelt. Dabei wirken sich sowohl die verschiedenen Verkehrsaufkommen und LKW-Anteile als auch die unterschiedlichen Verkehrssituationen aus. In **Abb. 5.2** und **Abb. 5.3** sind die räumlichen Verteilungen der Emissionen für die Schadstoffe NO_x und PM_{10} dargestellt.

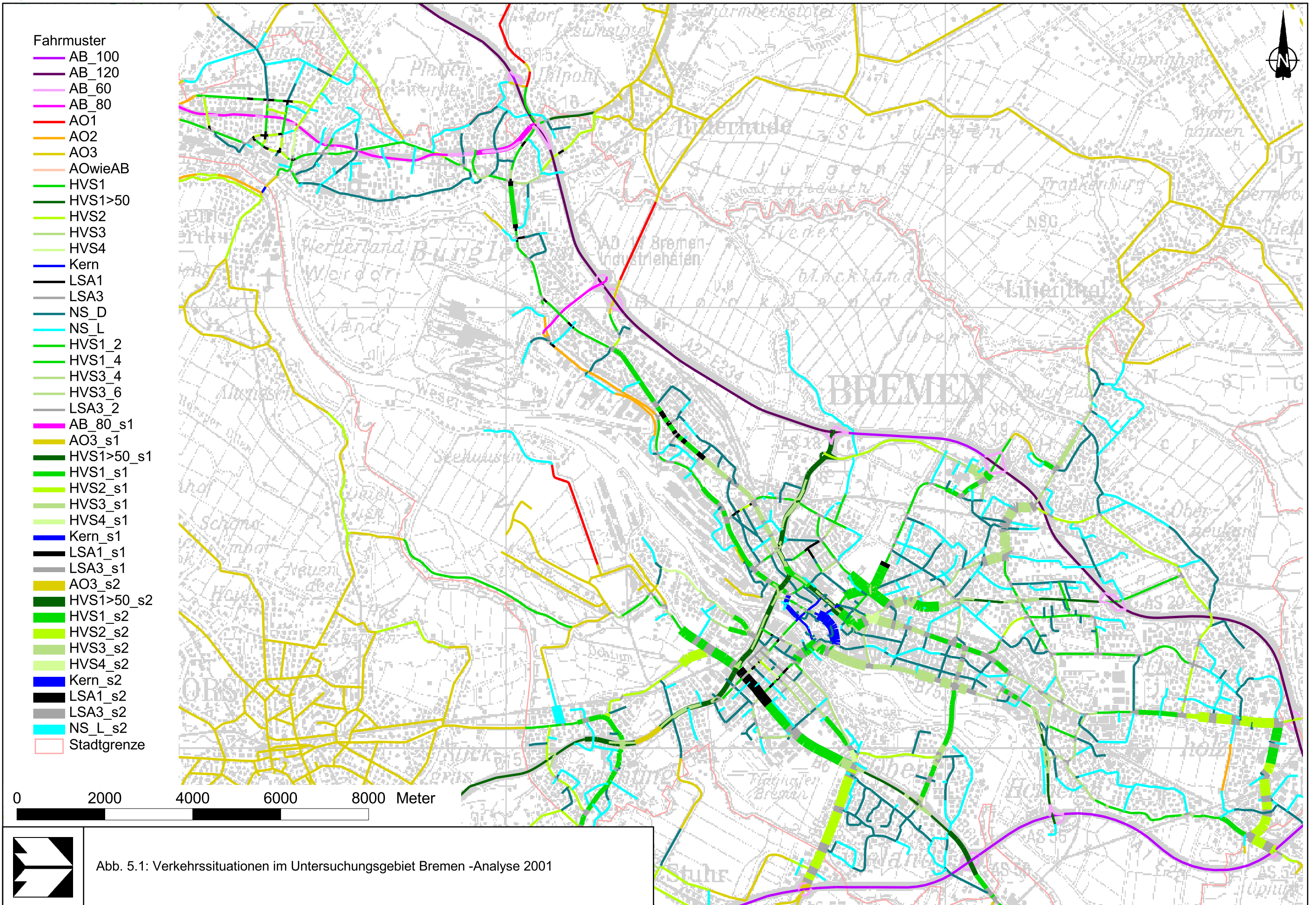


Abb. 5.1: Verkehrssituationen im Untersuchungsgebiet Bremen -Analyse 2001

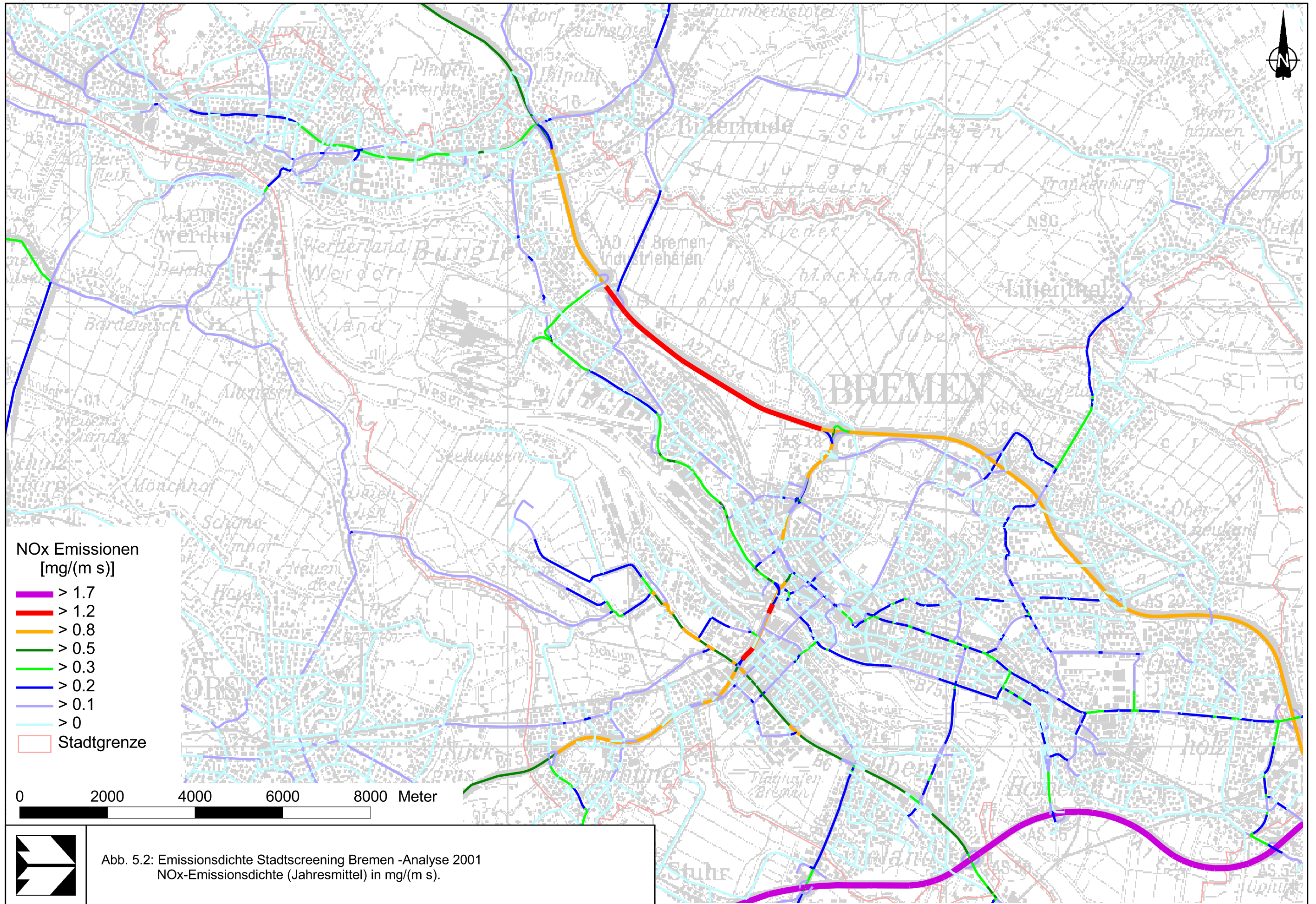
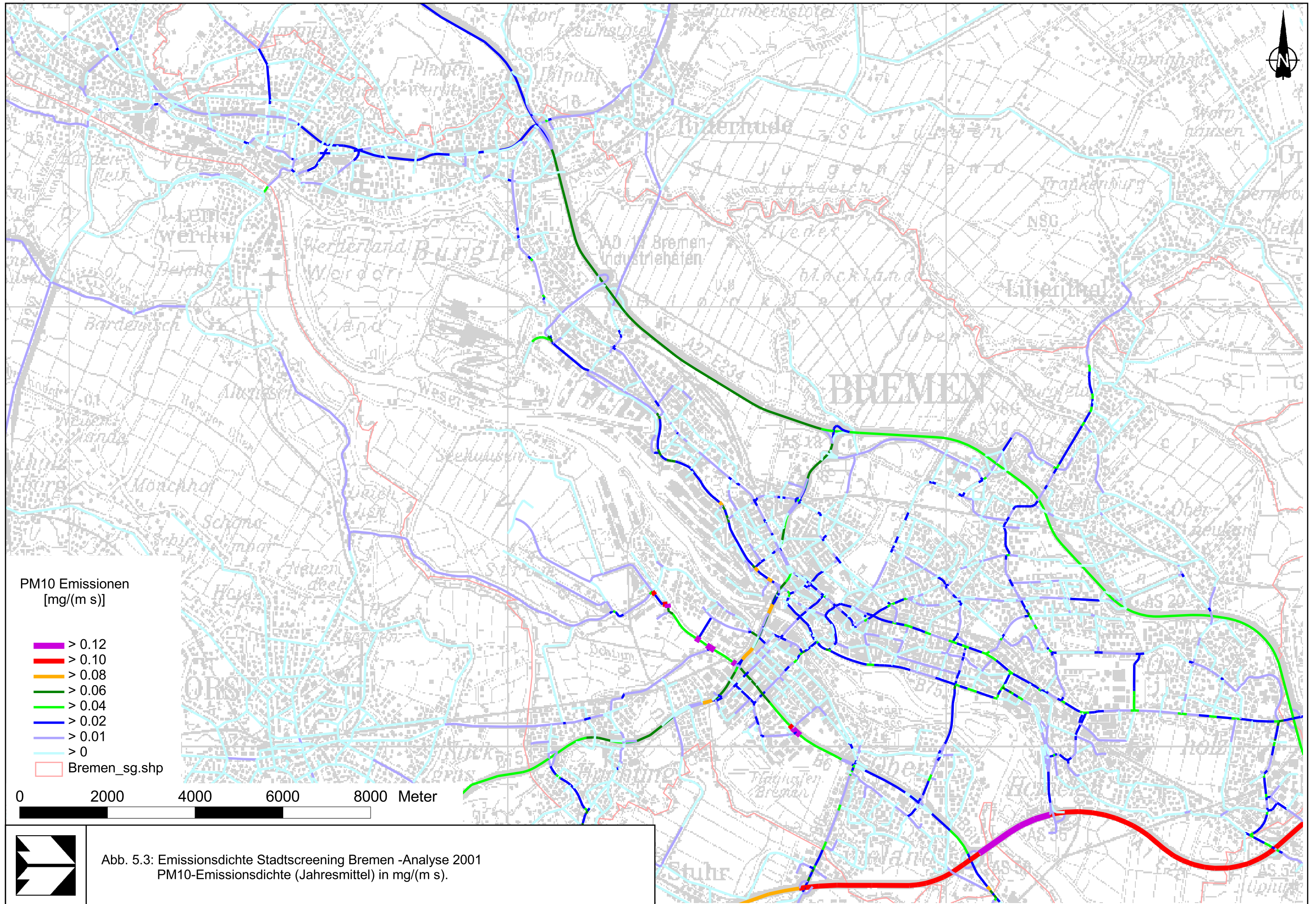


Abb. 5.2: Emissionsdichte Stadtscreening Bremen -Analyse 2001
NOx-Emissionsdichte (Jahresmittel) in mg/(m s).



6 ERGEBNISSE

Im Untersuchungsgebiet wurden für die betrachteten Untersuchungsfälle die Luftschadstoffimmissionen in Bodennähe bestimmt. In die Berechnungen gehen die Emissionen der Kraftfahrzeuge (Kap. 5) auf den berücksichtigten Straßen ein. Diese Emissionen verursachen die verkehrsbedingte Zusatzbelastung im Untersuchungsgebiet. Da sich die Grenzwerte immer auf die Gesamtbelastung beziehen, wird im Folgenden jeweils nur die Gesamtbelastung diskutiert, welche sich aus Zusatzbelastung und großräumig vorhandener Hintergrundbelastung (Kap. 4) zusammensetzt.

Die Ergebnisse der Immissionsberechnungen, bestehend aus der Überlagerung der Hintergrundbelastung und der verkehrsbedingten Zusatzbelastung innerhalb des Untersuchungsgebietes, wurden für die maßgebenden Schadstoffkomponenten NO_2 und PM_{10} grafisch aufbereitet und sind in nachfolgenden Abbildungen farblich aufgezeigt.

Die grafische Umsetzung der Immissionen erfolgt in Form von farbigen Symbolen, deren Farben bestimmten Konzentrationsintervallen zugeordnet sind. Die Zuordnung zwischen Farbe und Konzentrationsintervall ist jeweils in einer Legende angegeben. Bei der Skalierung der Farbstufen für die Immissionen wurde der kleinste Wert (hellgrün) entsprechend der Hintergrundbelastung festgelegt. Es sind jeweils die Gesamtbelastungen als Jahresmittelwert angegeben.

Die ermittelten NO_2 -Jahresmittel werden in der **Abb. 6.1** für das Bezugsjahr 2001 dargestellt. Entsprechend sind die PM_{10} -Immissionen (Jahresmittel) aus der **Abb. 6.2** abzulesen.

Für die Beurteilung ist entscheidend, ob die ermittelten Immissionen zu Überschreitungen der Grenzwerte an beurteilungsrelevanten Untersuchungspunkten führen.

6.1 Ergebnisse NO_2

Für das hier betrachtete Bezugsjahr betragen die Übergangsbeurteilungswerte $56 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ im Jahresmittel und $280 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ für die Kurzzeitbelastung. Ab dem Jahr 2010 gelten die Beurteilungswerte von $40 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ im Jahresmittel und $200 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ für die Kurzzeitbelastung. Alle Straßenabschnitte, in denen die berechnete Gesamtbelastung für NO_2 über bzw. gleich einem Jahresmittelwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beträgt, sind in **Tab. A3.1** im Anhang A3 der Höhe der Immission nach aufgelistet. **Tab. 6.1** zeigt einen Auszug dieser Liste für die 15 Straßenabschnitte mit den höchsten berechneten Jahresmittelwerten.

Nr.	Straßenname	Abschnitt	NO ₂ -Immissionen [µg/m ³]	
			Jahres- mittelwert	98-Perzentil
1	Eduard-Grunow-Straße	Bohnenstr. - Am Dobben	73	146
2	Bismarckstraße	Dobbenweg - Herderstr.	62	119
3	Bismarckstraße	Herderstr. - Fesenfeld	59	113
4	Dobbenweg	Am Dobben - Bismarckstr.	58	116
5	Neuenlander Straße	Industriestr. - Duckwitzstr.	57	119
6	Neuenlander Straße	Georg-Droste-Str. – Nollendorfer Str.	57	119
7	Neuenlander Straße	Delmestr. - Industriestr.	56	117
8	Eduard-Grunow-Straße	Auf den Häfen - Bohnenstr.	56	111
9	Neuenlander Straße	Friedrich-Ebert-Str. - Meyer Str.	55	116
10	Neuenlander Straße	Delmestr. - Friedrich-Ebert-Str.	55	115
11	Schwachhauser Heerstraße	Bismarckstr. - Am Barkhof	54	109
12	Am Wall	Bischofsnadel - Herdentor	52	103
13	Doventorstraße	Neuenstr. - Am Wall	52	108
14	Nordstraße	Columbusstr. - Elisabethstr.	51	99
15	Außer der Schleifmühle	Schleifmühlenweg - Dobbenweg	50	103

Tab. 6.1: Straßenabschnitte mit den 15 höchsten berechneten Immissionen im Jahresmittel für NO₂

Die **Tab 6.1** zeigt, dass an 8 einzelnen Straßenabschnitten der Übergangsbeurteilungswert von 56 µg NO₂ /m³ im Jahresmittel erreicht oder sogar überschritten wird. Diese einzelnen Straßenabschnitte lassen sich zu drei verschiedenen Straßenzügen zusammenfassen:

- Eduard-Grunow-Straße/Dobbenweg,
- Bismarckstraße und
- Neuenlander Straße.

Da die Toleranzmarge bis zum Erreichen des Beurteilungswertes von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2010 jährlich abnimmt, wurden auch die Straßenbereiche mit Werten unter $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ einem Ranking unterzogen. Die Straßenabschnitte mit Werten ab $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden erarbeitet und in **Tab. A3.1** aufgelistet. Herauszuheben sind die nachfolgend zusammengefassten Straßenzüge:

Außer der Schleifmühle/Bismarckstraße, Friedrich-Ebert-Straße, Hansestraße, Westerstraße/Osterstraße, Bürgermeister-Smidt-Straße/Langemarckstraße, Am Wall, Gastfeldstraße/Pappelstraße und weitere.

Mit einem maximal berechneten 98-Perzentilwert von unter $150 \mu\text{g NO}_2 /\text{m}^3$ ist keine Überschreitung des Kurzzeitbeurteilungswertes für das Jahr 2001 festgestellt worden.

6.2 Ergebnisse Feinstaub PM10

Für das hier betrachtete Bezugsjahr 2001 betragen die Übergangsbeurteilungswerte für PM10 $44.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel und $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Tagesmittelwert, der maximal an 35 Tagen im Jahr überschritten werden darf. Als Äquivalentwert für diesen Kurzzeitwert werden $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Jahresmittelwert angesetzt. Ab dem Jahr 2005 gelten die Beurteilungswerte von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel und $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Tagesmittelwert, der maximal an 35 Tagen im Jahr überschritten werden darf. Als Äquivalentwert für diesen Kurzzeitwert werden $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Jahresmittelwert angesetzt. Alle Straßenabschnitte, in denen die berechnete Gesamtbelastung für PM10 über bzw. gleich einem Jahresmittelwert von $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beträgt, sind in **Tab. A3.2** im Anhang A3 der Höhe der Immission nach aufgelistet.

Die **Tab 6.2** gibt einen Ausschnitt dieser Tabelle für die Straßenabschnitte mit den 15 höchsten berechneten Immissionen wieder und zeigt, dass an keinem der einzelnen Straßenabschnitte der Übergangsbeurteilungswert von $44.8 \mu\text{g PM10} /\text{m}^3$ im Jahresmittel überschritten wird. Hingegen wird der Äquivalentwert für den Übergangsbeurteilungswert für die Kurzzeitbelastung mit $36 \mu\text{g PM10} /\text{m}^3$ im Jahresmittel an zwei Straßen, nämlich an der

- Eduard-Grunow-Straße und an der
- Bismarckstraße

erreicht bzw. überschritten.

Nr.	Straßenname	Abschnitt	PM10-Immissionen [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
			Jahres- mittelwert	Anzahl Tagesmittel > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1	Eduard-Grunow-Straße	Bohnenstr. - Am Dobben	41	99
2	Bismarckstraße	Dobbenweg - Herderstr.	36	69
3	Am Wall	Bischofsnadel - Herdentor	34	60
4	Dobbenweg	Am Dobben - Bismarckstr.	34	57
5	Bismarckstraße	Herderstr. - Fesenfeld	33	55
6	Doventorstraße	Neuenstr. - Am Wall	33	55
7	Bürgermeister-Smidt-Str.	Breitenweg - Falkenstr.	32	50
8	Bismarckstraße	St.-Jürgen-Str. - Friedrich-Karl-Str.	32	49
9	Schwachhauser Heerstraße	Bismarckstr. - Am Barkhof	32	48
10	Westerstraße	Langemarck-Str. - Kleine Johannisstr.	31	46
11	Hansestraße	Bürgermeist.-Deichmann-Str. - Nordstr.	31	45
12	Gastfeldstraße	Friedrich-Ebert-Str. - Kantstr.	31	44
13	Neuenlander Straße	Industriestr. - Duckwitzstr.	31	44
14	Außer der Schleifmühle	Rembertistr. - Schleifmühlenweg	30	41
15	Am Wall	Abbentorstr. - Doventor	30	41

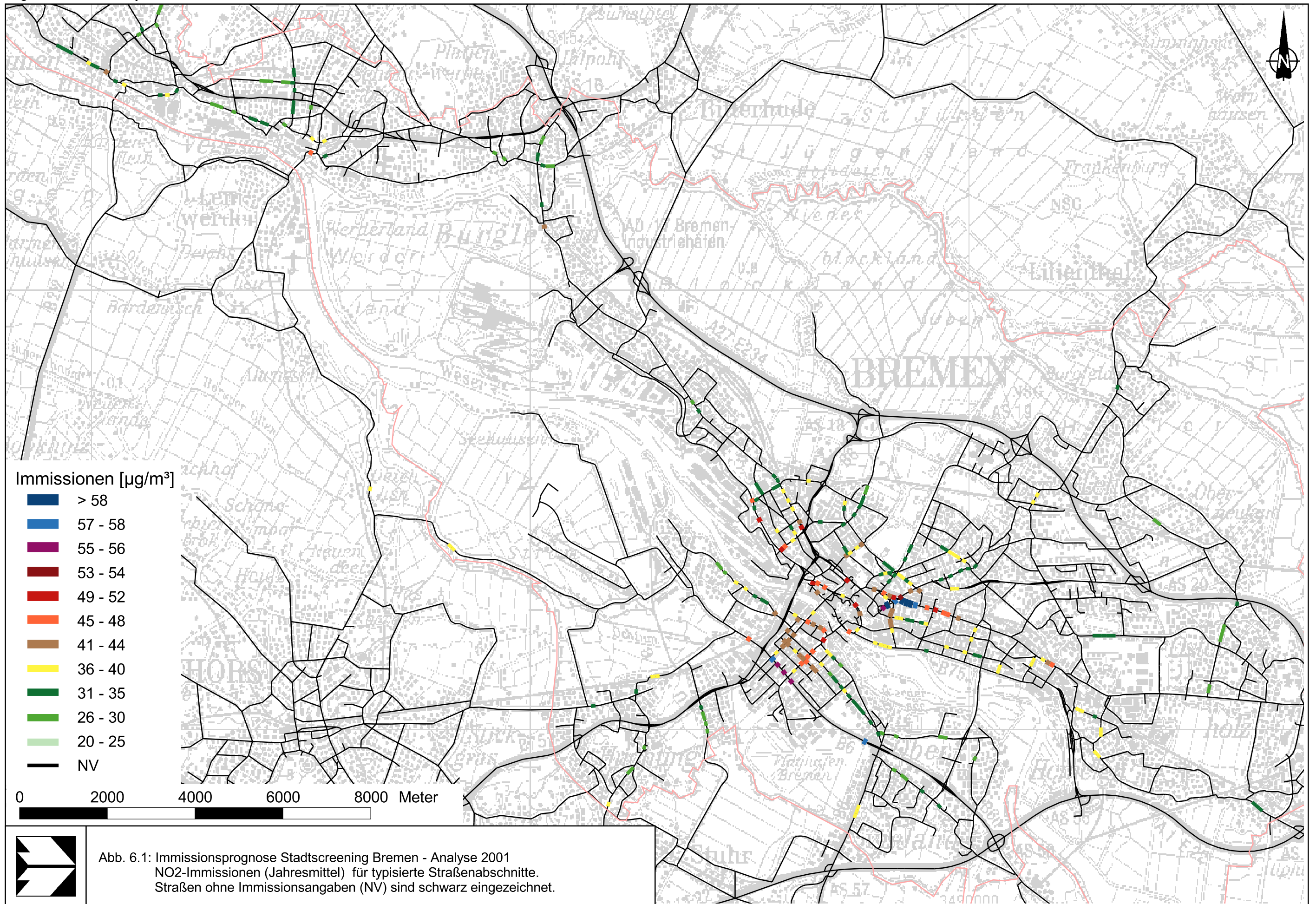
Tab. 6.2: Straßenabschnitte mit den 15 höchsten berechneten Immissionen im Jahresmittel für PM10

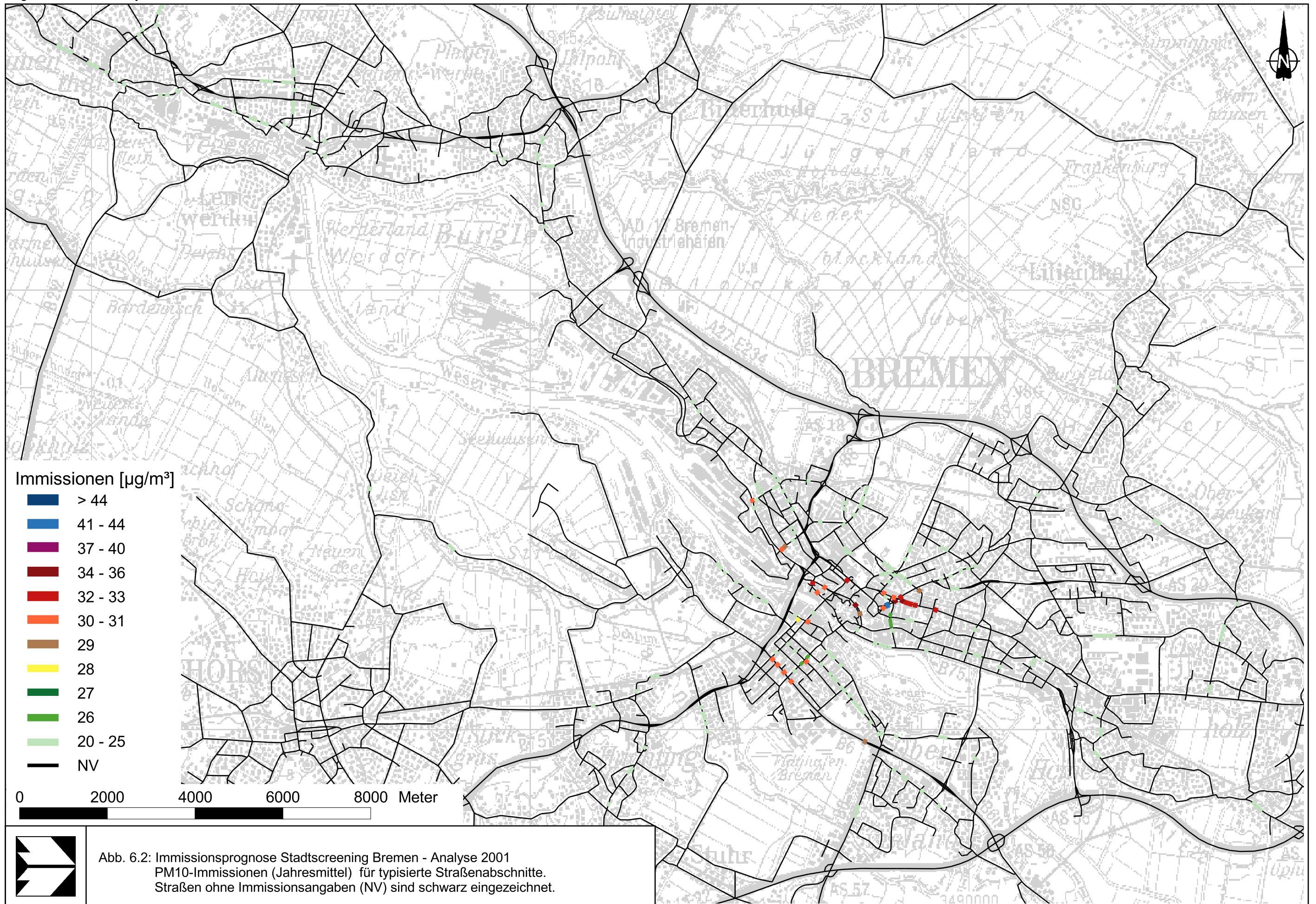
Da auch beim PM10 die Toleranzmarge bis zum Erreichen des Beurteilungswertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Tagesmittelwert, der maximal an 35 Tagen im Jahr überschritten werden darf, im Jahr 2005 jährlich abnimmt, werden auch die Straßenabschnitte mit Jahresmittelwerten ab $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ einem Ranking unterzogen. Wie aus **Tab A3.2** zu entnehmen ist, ist an 24 Straßenabschnitten ein Überschreiten des Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an mehr als 35 Tagen im Jahr zu erwarten. Herauszuheben sind folgende Straßenzüge, an denen ein

Überschreiten des Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an mehr als 35 Tagen im Jahr zu erwarten ist:

Eduard-Grunow-Straße/Dobbenweg/Schwachhauser Heerstraße, Außer der Schleifmühle/Bismarckstraße, Am Wall, Doventorstraße, Bürgermeister-Smidt-Straße, Westerstraße, Hansestraße, Neuenlander Straße und weitere.

Der im Jahre 2005 geltende Beurteilungswert für das Jahresmittel von $40 \mu\text{g PM}_{10} / \text{m}^3$ wird mit einer berechneten Immission von $41 \mu\text{g PM}_{10} / \text{m}^3$ in der Eduard-Grunow-Straße geringfügig überschritten.





7 LITERATUR

- 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.
- BLUES (2000): BLUES – Das Bremer Luftüberwachungssystem, Jahresbericht 2000, Hrsg.: Freie Hansestadt Bremen, Der Senator für Bau, Umwelt und Verkehr
- BLUES (2001): BLUES – Das Bremer Luftüberwachungssystem, Jahresbericht 2001, Hrsg.: Freie Hansestadt Bremen, Der Senator für Bau, Umwelt und Verkehr
- BLUES (2002): BLUES – Das Bremer Luftüberwachungssystem, Jahresbericht 2002, Hrsg.: Freie Hansestadt Bremen, Der Senator für Bau, Umwelt und Verkehr
- BLUES (2003): BLUES – Das Bremer Luftüberwachungssystem, Jahresbericht 2003, Hrsg.: Freie Hansestadt Bremen, Der Senator für Bau, Umwelt und Verkehr
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.
- EG-Richtlinie 2000/69/EG (2000): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. November 2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 13.12.2000, Nr. L 313/12 ff.
- EG-Richtlinie 2002/3/EG (2002): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt der Luft. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 09.03.2002, Nr. L 67/14.

- EG-Richtlinie 96/62/EG (1996): Richtlinie des Rates der Europäischen Union vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 27.11.1996, Nr. L 296/55.
- EG-Richtlinie 99/30/EG (1999): Richtlinie des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 29.06.1996, Nr. L 163/41.
- Filliger, P., Puybonnieux-Textier, 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, June 2001.
- Flassak, Th., Bächlin, W., Bösinger, R., Blazek, R., Schädler, G., Lohmeyer, A. (1996): Einfluss der Eingangsparameter 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 Institutes (PSI) zum Forschungsprojekt ASTRA 2000/415. Juli 2003. <http://www.empa.ch/plugin/template/empa/700/5750/---/l=1>.
- 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.
- 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.

- LfU (1993): Die Luft in Baden-Württemberg, Jahresbericht 1992. Landesanstalt für Umweltschutz, Karlsruhe.
- LfU Bayern (2003): Erkenntnisse des Projektes WIME – Wirksamkeit von verkehrsbezogenen Maßnahmen auf die Emissionen von Partikeln, Benzol und Stickstoffdioxid, Luftreinhaltepläne in Bayern (Vollzug §47 BImSchG). Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Juli 2003.
- Lohmeyer (2003): Quantifizierung der PM10-Emissionen durch Staubaufwirbelungen und Abrieb von Straßen auf Basis vorhandener Messdaten. Ingenieurbüro Lohmeyer, Karlsruhe unter Mitarbeit von UMEG Karlsruhe und IFEU Heidelberg. Projekt 1772, Februar 2003. Gutachten im Auftrag von: Ministerium für Umwelt und Verkehr, Stuttgart, <http://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, Radebeul. Projekt 70016-03-10, 30.04.2004. Berichtsentwurf im Auftrag von: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch-Gladbach (unveröffentlicht).
- Lohmeyer (2004b): Berechnung der Kfz-bedingten Feinstaubemissionen infolge Aufwirbelung und Abrieb für das Emissionskataster Sachsen. Ingenieurbüro Lohmeyer, Radebeul unter Mitarbeit der IFEU Heidelberg GmbH und der TU Dresden, Institut für Verkehrsökologie. Projekt 2546, 26.05.2004. Zwischenbericht im Auftrag von: Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden (unveröffentlicht).
- MLuS 02 (2002): Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen. Teil: Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln.
- Röckle, R., Richter, C.-J. (1995): Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen -. Abschlussbericht PEF 92/007/02, Forschungszentrum Karlsruhe.
- Senator für Bau, Umwelt und Verkehr (2003): GiD CityServer, Version 1.90, Tele-Info AG.

- 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>
- UBA (1995) (Hassel, D., Jost, P., Weber, F.J., Dursbeck, F.): Abgas-Emissionsfaktoren von Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland für das Bezugsjahr 1990. Abschlussbericht. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit - Luftreinhaltung. UBA-FB 95-049. UBA-Berichte 5/1995.
- 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 / Feb. 2004. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin. www.hbefa.net.
- UMK (2004): Partikelemissionen des Straßenverkehrs. Endbericht der UMK AG „Umwelt und Verkehr“. Oktober 2004.

A N H A N G A 1
BEURTEILUNGSWERTE FÜR LUFTSCHADSTOFFKONZENTRATIONEN AN
KFZ-STRASSEN

A1 BEURTEILUNGSWERTE FÜR LUFTSCHADSTOFFKONZENTRATIONEN AN KFZ-STRASSEN

A1.1 Grenzwerte

Durch den Betrieb von Kraftfahrzeugen entstehen eine Vielzahl von Schadstoffen, welche die menschliche Gesundheit gefährden können, z. B. Stickoxide (NO_x als Summe von NO und NO_2), Kohlenmonoxid (CO), Schwefeldioxid (SO_2), Benzol, Partikel, etc. Im vorliegenden Gutachten werden Konzentrationen bzw. Immissionen von Luftschadstoffen ermittelt. Deren Angabe allein vermittelt jedoch weder Informationen darüber, welche Schadstoffe die wichtigsten sind, noch einen Eindruck vom Ausmaß der Luftverunreinigung im Einflussbereich einer Straße. Erst ein Vergleich der Schadstoffkonzentrationen mit schadstoffspezifischen Beurteilungswerten, z. B. Grenz-, Prüf- oder Vorsorgewerten lässt Rückschlüsse auf die Luftqualität zu. Darauf wird im Folgenden eingegangen.

Grenzwerte sind rechtlich verbindliche Beurteilungswerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit, der Vegetation oder des Bodens, die einzuhalten sind und nicht überschritten werden dürfen. Die in Deutschland für den Einflussbereich von Straßen maßgebenden Grenzwerte sind in der 22. BImSchV (2002) benannt. Bezüglich verkehrsbedingter Luftschadstoffe sind derzeit NO_2 , Benzol und PM_{10} von Bedeutung, gelegentlich werden zusätzlich noch die Schadstoffe Blei und Kohlenmonoxid betrachtet. Ruß wird nicht betrachtet, weil es nach Erscheinen der 33. BImSchV (2004) und dem damit erfolgten Zurückziehen der 23. BImSchV (1996) dafür keinen gesetzlichen Grenzwert mehr gibt. Ruß ist Bestandteil von PM_{10} und wird damit indirekt erfasst. Die Grenzwerte der 22. BImSchV sind in **Tab. A1.1** angegeben.

Ergänzend zu diesen Grenzwerten nennt die 22. BImSchV Toleranzmargen; das sind in jährlichen Stufen abnehmende Werte, um die der jeweilige Grenzwert innerhalb festgesetzter Fristen überschritten werden darf, ohne in Deutschland die Erstellung von Luftreinhalteplänen zu bedingen. Diese Werte werden als Übergangsbeurteilungswerte bezeichnet, sofern sie aufgrund der zeitlichen Zusammenhänge in den Betrachtungen der Planungen Berücksichtigung finden.

Zusätzliche Luftschadstoffe zu den genannten werden meist nicht betrachtet, da deren Immissionen in Deutschland typischerweise weit unterhalb der geltenden Grenzwerte liegen.

Stoff	Mittelungszeit	Grenzwert	Geltungszeitpunkt
NO ₂	98-Prozent-Wert des Stundenmittelwertes	200 µg/m ³	bis 2009
NO ₂	Stundenmittelwert	200 µg/m ³ maximal 18 Überschreitungen / Jahr	ab 2010
NO ₂	Jahresmittelwert	40 µg/m ³	ab 2010
Partikel (PM10)	Tagesmittelwert	50 µg/m ³ maximal 35 Überschreitungen / Jahr	ab 2005
Partikel (PM10)	Jahresmittelwert	40 µg/m ³	ab 2005
Blei	Jahresmittelwert	0.5 µg/m ³	ab 2005
Benzol	Jahresmittelwert	5.0 µg/m ³	ab 2010
Kohlenmonoxid (CO)	8 h gleitender Wert	10 mg/m ³	ab 2005

Tab. A1.1: Immissionsgrenzwerte nach 22. BImSchV (2002) für ausgewählte (verkehrsrelevante) Schadstoffe

A1.2 Vorsorgewerte

Da der Vergleich von Luftschadstoffkonzentrationen mit Grenzwerten allein noch nicht ausreichend ist, um eine Luftschadstoffkonzentration zu charakterisieren, gibt es zusätzlich zu den Grenzwerten so genannte Vorsorgewerte zur langfristigen Verbesserung der Luftqualität. Kühling et al. (1994) erläutern, dass für Krebs erregende Schadstoffe (z.B. Benzol) keine wissenschaftlich vertretbaren Schwellendosen angegeben werden können, ab deren Unterschreiten eine Unbedenklichkeit anzunehmen ist. Daher sei eine stetige Verringerung der Immissionen kanzerogener Stoffe erforderlich (Minimierungsgebot). Im Abschlussbericht der Arbeitsgruppe „Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen“ des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI, 1992) werden unterhalb der Grenzwerte der 22. BImSchV liegende Beurteilungsmaßstäbe zur Begrenzung des Krebsrisikos durch Benzol gegeben. Dies sind Jahresmittelwerte für Benzol, die bei lebenslanger Einatmung beim Menschen ein definiertes Krebsrisiko darstellen. Für Benzol wird für Rasterflächen von 1 km x 1 km unter Zugrundelegung eines mittleren Krebsrisikos 2.5 µg/m³ genannt.

Bei der Beurteilung punktbezogener Benzolimmissionen an Belastungsschwerpunkten wie Straßenrändern ist zu berücksichtigen, dass diese höher liegen als die zugehörigen Flächenmittelwerte. Deshalb schlägt das Umweltbundesamt für die punktscharfe Beurteilung eine Verdopplung der gebietsbezogenen Durchschnittswerte auf 5.0 µg/m³ vor (UBA, 1997).

Das UBA begründet diese Vorgehensweise mit gemessenen räumlichen Verteilungen von Schadstoffimmissionen.

A1.3 Zukünftige Tendenzen bei der Bewertung von Schadstoffimmissionen

Die Europäische Union ist derzeit dabei, die Beurteilungsmaßstäbe von Luftschadstoffimmissionen in einer zweiten Generation von Richtlinien neu zu definieren. Dazu gehört die (Rahmen-) Richtlinie über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität (96/62/EG vom 27.09.1996) mit ihren Tochterrichtlinien. Während die Rahmenrichtlinie selbst keine Detailregelungen für einzelne Luftverunreinigungen, wie Grenzwerte oder Mess- und Überwachungsverfahren enthält, werden diese in Tochterrichtlinien festgelegt.

Die Erste dieser Tochterrichtlinien, die EG-Richtlinie 99/30/EG für die Schadstoffe SO₂, NO_x, Partikel und Blei, wurde am 28.06.1999 im Amtsblatt der EG veröffentlicht. Die zweite Tochterrichtlinie, die EG-Richtlinie 2000/69/EG für die Schadstoffe Benzol und Kohlenmonoxid, wurde am 13.12.2000 veröffentlicht, die dritte für den Ozongehalt in der Luft (2002/3/EG) am 12.02.2002. Die Inhalte dieser drei Tochterrichtlinien sind weitgehend mit der Novellierung der 22. BImSchV vom 11.09.2002 in nationales Recht überführt. Weitere Tochterrichtlinien sind in Planung.

Eine Abweichung zwischen den EG-Richtlinien und der 22. BImSchV zeigt sich beispielsweise bei PM₁₀. Die in der EG-Richtlinie 99/30/EG für das Jahr 2010 genannten PM₁₀-Werte der 2. Stufe mit einem Jahresmittelwert von 20 µg/m³ und einem Tagesmittelwert von 50 µg/m³ bei 7 Überschreitungen pro Jahr sind nicht in die 22. BImSchV übernommen. Laut EG-Richtlinie sind diese Werte der 2. Stufe als Richtgrenzwerte aufzufassen, die nach Artikel 10 der EG-Richtlinie im Rahmen der Revision hinsichtlich Verbindlichkeit zu überprüfen sind.

A N H A N G A 2
NUMERISCHE VERFAHREN ZUR IMMISSIONSERMITTLUNG
UND FEHLERDISKUSSION

A2 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 angewandt. Zusätzlich wird das offizielle Rechenprogramm AUSTAL2000 der TA Luft (Umsetzung der Vorgaben des Anhang 3 der TA Luft 2002) eingesetzt.

Die Parametrisierung der Umwandlung des von Kraftfahrzeugen hauptsächlich emittierten NO in NO₂ erfolgt nach Romberg et al. (1996).

A2.1 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.

A2.2 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. Hier 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 fahrzeuginduzierten 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

A2.3 MISKAM

Die Zusatzbelastung im bebauten Gebiet infolge des Straßenverkehrs innerhalb eines definierten Rechengebietes wird mit dem Modell MISKAM (Eichhorn, 1989 und 1998) ermittelt. Es werden jeweils für 36 verschiedene Windrichtungsklassen und 9 verschiedene Windgeschwindigkeitsklassen 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.

* Typ 0 wird angesetzt, wenn mindestens eines der beiden Kriterien (Straßenschluchtbreite $\geq 5 \times$ Gebäudehöhe bzw. Lückenanteil ≥ 61 %) erfüllt ist.

A2.4 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 Gesamtmissionsbelastung geringer sind.

A N H A N G A 3
ERGEBNISTABELLEN SCREENING BREMEN

A3 ERGEBNISTABELLEN SCREENING BREMEN

Nr.	Straßenname	Abschnitt	NO ₂ -Immissionen [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
			Jahresmittelwert	98-Perzentil
1	Eduard-Grunow-Straße	Bohnenstr. - Am Dobben	73	146
2	Bismarckstraße	Dobbenweg - Herderstr.	62	119
3	Bismarckstraße	Herderstr. - Fesenfeld	59	113
4	Dobbenweg	Am Dobben - Bismarckstr.	58	116
5	Neuenlander Straße	Industriestr. - Duckwitzstr.	57	119
6	Neuenlander Straße	Georg-Droste-Str. - Nollendorfer Str.	57	119
7	Neuenlander Straße	Delmestr. - Industriestr.	56	117
8	Eduard-Grunow-Straße	Auf den Häfen - Bohnenstr.	56	111
9	Neuenlander Straße	Friedrich-Ebert-Str. - Meyer Str.	55	116
10	Neuenlander Straße	Delmestr. - Friedrich-Ebert-Str.	55	115
11	Schwachhauser Heerstraße	Bismarckstr. - Am Barkhof	54	109
12	Am Wall	Bischofsnadel - Herdentor	52	103
13	Doventorstraße	Neuenstr. - Am Wall	52	108
14	Nordstraße	Columbusstr. - Elisabethstr.	51	99
15	Außer der Schleifmühle	Schleifmühlenweg - Dobbenweg	50	103
16	Friedrich-Ebert-Straße	Osterstr. - Neustadtwall	50	102
17	Hansestraße	Bürgermeister-Deichmann-Str. - Nordstr.	50	105
18	Utbremer Straße	Wittenberger Str. - Hansestr.	49	108
19	Bürgermeister-Smidt-Str.	Breitenweg - Falkenstr.	49	100
20	Bismarckstraße	St.-Jürgen-Str. - Friedrich-Karl-Str.	49	98
21	Bismarckstraße	Straßburger Str. - Graf-Moltke-Str.	48	97
22	Westerstraße	Langemarck-Str. - Kleine Johannisstr.	48	97
23	Friedrich-Ebert-Straße	Neustadtscontrescarpe - Lahnstr.	48	99
24	Außer der Schleifmühle	Rembertistr. - Schleifmühlenweg	47	96
25	Senator-Apelt-Straße	Senator-Paulmann-Str.	47	100
26	Tiefer	Altenwall - Stavendamm	47	99
27	Gastfeldstraße	Friedrich-Ebert-Str. - Kantstr.	47	96
28	Nordstraße	Bremerhavener Str. - Waller Ring	47	94

29	Friedrich-Ebert-Straße	Pappelstr. - Erlenstr.	47	98
30	Bismarckstraße	Straßburger Str. - Verdunstr.	46	93
31	Friedrich-Ebert-Straße	Lahnstr. - Pappelstr.	46	97
32	Am Wall	Abbentorstr. - Doventor	46	93
33	Zur Vegesacker Fähre	Friedrich-Schild-Str. - Alte Hafenstr.	46	95
34	Hastedter Heerstraße	Am Rosenberg - Föhrenstr.	45	96
35	Osterstraße	Rolandstr. - Brautstr.	45	92
36	Hansestraße	Steffensweg - Bürgermeister-Deichmann-Str.	45	98
37	Langemarckstraße	Pappelstr. - Erlenstr.	44	97
38	Hohentorstraße	Westerstr. - Neustadtswall	44	97
39	Am Wall	Bischofsnadel - Hurrelberg	44	93
40	Faulenstraße	Töpferbohmstr. - Ölmühlenstr.	44	96
41	Hastedter Heerstraße	Am Rosenberg - Föhrenstr.	44	96
42	Graf-Moltke-Straße	Schwachhauser Heerstr. - Lothringer Str.	44	90
43	An der Weide	Löningstr. - Rembertistr.	44	93
44	Langemarckstraße	Lahnstr. - Pappelstr.	44	95
45	Pappelstraße	Elbstr. - Langemarckstr.	43	92
46	Pappelstraße	Friedrich-Ebert-Str. - Wiesbadener Str.	43	88
47	Westerstraße	Kl. Johannisstr. - Süderstr.	42	88
48	Woltmershauser Straße	Simon-Bolivier-Str. -Dangaster Str.	42	96
49	Rönnebecker Straße	Kreinsloger - Galgenberg	42	88
50	Hohentorsheerstraße	Lahnstr. - Neustadtscontrescarpe	42	97
51	Langemarckstraße	Neustadtscontrescarpe - Lahnstr.	42	94
52	Gastfeldstraße	Hermannstr. - Meyerstr.	42	86
53	Findorffstraße	Eickedorfer Str. - Buddestr.	42	87
54	Pappelstraße	Langemarckstr. - Rheinstr.	42	91
55	Am Dobben	Humboldtstr. - Feldstr.	41	89
56	Westerstraße	Süderstr. - Brautstr.	41	85
57	Am Dobben	Humboldt-Str. - Kreftingstr.	41	85
58	Am Dobben	Kreftingstr. - Ostertorsteinweg	41	85
59	Schwachhauser Heerstraße	Richard-Wagner-Str. - Hollerallee	41	85
60	Burger Heerstraße	Buschmannsweg - Lesumbroker Landstr.	41	87

61	Pappelstraße	Wiesbadener Str. - Illerstr.	41	86
62	Gastfeldstraße	Meyerstr. - Sedanstr.	41	85
63	Findorffstraße	Admiralstr. - Plantage	41	85
64	Utbremer Straße	Grenzstr. - Wittenberger Str.	41	91
65	Findorffstraße	Buddestr. - Sommer	40	85
66	Kirchhuchtinger Landstr.	An den Heidstücken - Dovemoorstr.	40	88

Tab. A3.1: Straßenabschnitte mit berechneten Immissionen, die im Jahresmittel über oder gleich $40 \mu\text{g NO}_2 / \text{m}^3$ liegen.

Nr.	Straßenname	Abschnitt	PM10-Immissionen [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
			Jahresmittelwert	Anzahl Tagesmittel > 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1	Eduard-Grunow-Straße	Bohnenstr. - Am Dobben	41	99
2	Bismarckstraße	Dobbenweg - Herderstr.	36	69
3	Am Wall	Bischofsnadel - Herdentor	34	60
4	Dobbenweg	Am Dobben - Bismarckstr.	34	57
5	Bismarckstraße	Herderstr. - Fesenfeld	33	55
6	Doventorstraße	Neuenstr. - Am Wall	33	55
7	Bürgermeister-Smidt-Str.	Breitenweg - Falkenstr.	32	50
8	Bismarckstraße	St.-Jürgen-Str. - Friedrich-Karl-Str.	32	49
9	Schwachhauser Heerstraße	Bismarckstr. - Am Barkhof	32	48
10	Westerstraße	Langemarck-Str. - Kleine Johannisstr.	31	46
11	Hansestraße	Bürgermeister-Deichmann-Str. - Nordstr.	31	45
12	Gastfeldstraße	Friedrich-Ebert-Str. - Kantstr.	31	44
13	Neuenlander Straße	Industriestr. - Duckwitzstr.	31	44
14	Außer der Schleifmühle	Rembertistr. - Schleifmühlenweg	30	41
15	Am Wall	Abbentorstr. - Doventor	30	41
16	Neuenlander Straße	Delmestr. - Industriestr.	30	40
17	Neuenlander Straße	Friedrich-Ebert-Str. - Meyer Str.	30	40
18	Neuenlander Straße	Delmestr. - Friedrich-Ebert-Str.	30	40
19	Nordstraße	Bremerhavener Str. - Waller Ring	30	40
20	Faulenstraße	Töpferbohmstr. - Ölmühlenstr.	30	40
21	Eduard-Grunow-Straße	Auf den Häfen - Bohnenstr.	30	39
22	Außer der Schleifmühle	Schleifmühlenweg - Dobbenweg	30	38
23	Am Wall	Bischofsnadel - Hurrelberg	29	36
24	Neuenlander Straße	Georg-Droste-Str. - Nollendorfer Str.	29	36

Tab. A3.2: Straßenabschnitte mit berechneten Immissionen, die im Jahresmittel über oder gleich 29 μg PM10 / m^3 liegen.