

1557

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN
ARBEITSGRUPPE VERKEHRSFÜHRUNG UND VERKEHRSSICHERHEIT

Merkblatt über **Luftverunreinigungen an Straßen**

Teil: Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung

MLuS-92

Ausgabe 1992

Arbeitsgruppe: Verkehrsführung und Verkehrssicherheit

Arbeitsausschuß: Immissionsschutz an Straßen

Arbeitskreis: Luftverunreinigungen an Straßen

Leiter:

Baudirektor Dipl.-Ing. Ullrich, Bonn

Mitarbeiter:

Wissenschaftlicher Rat Dr.-Ing. Ahrens, Berlin

Dr.-Ing. Benz, Karlsruhe

Oberregierungsrat Dipl.-Phys. Esser, Bergisch Gladbach

Prof. Dr.-Ing. Glück, München

Dr.-Ing. Haepf, Stuttgart

Ltd. Reg.-Baudirektor Dipl.-Ing. Hein, Kiel

Dr.-Ing. Jöst, Köln

Dr.-Ing. Lohmeyer, Karlsruhe

Oberregierungsrätin Dipl.-Met. Nitsche, Offenbach/Main

Regierungsdirektor Dr. rer. nat. Rabl, München

Dipl.-Phys. Romberg, Bochum

Prof. Dr.-Ing. Rümmler, Köln

Dr.-Ing. Waldeyer, Köln

Vorbemerkung

Das vorliegende Merkblatt wurde vom Arbeitskreis „Luftverunreinigungen an Straßen“ (Leiter: Baudir. Dipl.-Ing. Ullrich) des Arbeitsausschusses „Immissionsschutz an Straßen“ aufgestellt. Es ersetzt die Ausgabe 1982.

Inhaltsübersicht

1. Zielsetzung und Anwendungsbereich	5
2. Begriffe und Definitionen	6
3. Verfahren zur Abschätzung von Immissionen	7
3.1 Grundlagen des Verfahrens	7
3.1.1 Relevante Immissionen und Immissionssituationen	7
3.1.2 Erforderliche Daten	8
3.2 Abschätzungsfunktion für Jahresmittelwerte und 98-Perzentile	8
3.2.1 Bodennahe Bezugskonzentration am Fahrbahnrand	8
3.2.2 Ausbreitungsfunktion der Schadstoffe	8
3.2.3 Abschätzung der Benzolkonzentration	8
3.2.4 Verkehrsspezifische Daten	9
3.2.5 Emissionsfaktoren	9
3.2.6 Meteorologische Daten	9
3.2.7 Verfahren zur Ermittlung der Stickstoffdioxid (NO ₂)-Konzentration	10
4. Gesamtbelastung durch Schadstoffe und ihre Beurteilung	11
4.1 Vorbelastung	11
4.2 Straßenverkehrsbedingte Belastung (Zusatzbelastung)	11
4.3 Gesamtbelastung	11
4.4 Beurteilung	14
4.4.1 Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft	14
4.4.2 VDI-Richtlinie 2310	14
4.4.3 Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft	15
4.4.4 Vergleich der Bezugsgrößen	15
5. Möglichkeiten zur Minderung der Immissionen	16
5.1 Art der Beeinflussung	16
5.2 Reduzierung der Quellstärke	16
5.3 Beeinflussung der Schadstoffausbreitung	16
5.3.1 Lage der Straße	16
5.3.2 Anpflanzungen von Bäumen und Sträuchern entlang der Straße	17
5.3.3 Einfluß von Lärmschutzwänden	19
6. Wirkungen von Schadstoffen auf den Menschen	20
6.1 Kohlenmonoxid (CO)	20
6.2 Stickoxide (NO _x)	20
6.3 Schwefeldioxid (SO ₂)	21
6.4 Blei (Pb)	21
6.5 Kohlenwasserstoffe (HC)	21
6.5.1 Benzol (C ₆ H ₆)	21
6.5.2 Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)	21
6.5.3 Rußpartikeln (PM)	21
6.5.4 Formaldehyd	22
6.6 Ozon	22
7. Bestimmung verschiedener Schadstoffimmissionen an einer Autobahn (Beispiel)	22
7.1 Bestimmung des CO-Jahresmittelwertes mit Hilfe der Gleichungen (1) bis (10) für das Bezugsjahr 1985	22
7.2 Bestimmung des CO-Jahresmittelwertes mit Hilfe der Gleichungen (1) bis (10) für das Prognosejahr 2000	23
7.3 Bestimmung des HC-Jahresmittelwertes mit Hilfe der Gleichungen (1) bis (10) für das Bezugsjahr 1985	23

7.4	Bestimmung des C_6H_6 -Jahresmittelwertes	23
7.4.1	Bestimmung mit Hilfe der Gleichungen (1) bis (11) für das Bezugsjahr 1985	23
7.4.2	Bestimmung mit Hilfe des Nomogrammes (Bild 20)	23
7.5	Bestimmung des NO_2 -Jahresmittelwertes	25
7.5.1	Bestimmung der Gesamtbelastung für das Bezugsjahr 1985	25
7.5.2	Bestimmung der Zusatzbelastung mit Hilfe des Nomogrammes (Bild 21)	25
7.6	Bestimmung der Gesamtbelastung des NO_2 -98-Perzentils für das Bezugsjahr 1985	25
Anhang A:	Formeln zur Umrechnung von Massenkonzentrationen in Volumenkonzentrationen (Parts per Million)	27
Anhang B:	Windkarte des Deutschen Wetterdienstes	29
Anhang C:	Abschätzung der Emissionsminderung an einer Straße mit geschlossener Randbebauung (Bau einer Umgehungsstraße)	31
Anhang D:	Nomogramme zur Bestimmung der Schadstoffbelastungen	39

1. Zielsetzung und Anwendungsbereich

Bei Verbrennungsprozessen in Kraftfahrzeugmotoren entsteht Abgas, das zu Luftverunreinigungen führt. Folgende gas- und partikel-förmige Substanzen sind hieran im wesentlichen beteiligt:

Kohlenmonoxid (CO),
Kohlenwasserstoffe (HC),
Benzol (C₆H₆),
Stickoxide (NO_x),
Schwefeldioxid (SO₂),
Blei (Pb),
Rußpartikeln (PM).

Entstehung, Ausbreitung und Wirkung der Luftverunreinigungen durch Kraftfahrzeugverkehr sind von zahlreichen Faktoren abhängig:

- Die Emissionsstärke wird durch die Fahrzeugtechnik, Verkehrsstärke, Verkehrszusammensetzung und den Verkehrsablauf bestimmt. Mit steigendem Anteil schadstoffarmer Pkws und Kombis sind in den nächsten Jahren trotz steigender Fahrleistungen deutliche Emissionsminderungen zu erwarten. Die Gesamtemissionen von allen Nutzfahrzeugen werden unter der Voraussetzung des prognostizierten Anstiegs der Fahrleistung jedoch weiter zunehmen, so daß lokal kritische Immissionskonzentrationen auftreten können.
- Die örtlich-zeitliche Ausprägung von Immissionen wird u. a. durch meteorologische Bedingungen, physikalisch-chemische Umwandlungsprozesse, Topographie, Lage der Straße und Bebauung wesentlich mitbestimmt.
- Die Wirkungen der einzelnen Schadstoffe auf Menschen, Tiere und Pflanzen sind sehr unterschiedlich und hängen von der Dauer der Exposition ab. Bisher liegen nur unzureichende Kenntnisse über die gleichzeitige Wirkung mehrerer Schadstoffkomponenten vor.

Gegenstand dieses Merkblattes ist die Abschätzung der Auswirkungen verkehrsplanerischer Veränderungen auf die Immissionsbelastungen an kritischen Straßenabschnitten. Das in diesem Merkblatt angegebene Ausbreitungsmodell ist für zwei- und mehrstreifige Straßen entwickelt worden, die keine oder nur aufgelockerte Randbebauung aufweisen und geländegleich liegen¹⁾²⁾. Es überschätzt die Immissionsbelastungen neben den Straßen, die in Damm- oder Troglage geführt werden.

Die dem Ausbreitungsmodell zugrundeliegenden Emissionsfaktoren wurden für Straßen in den alten Bundesländern ermittelt. Zwischenzeitlich durchgeführte Erhebungen von Emissionsfaktoren³⁾⁴⁾ in den neuen Bundesländern zeigen, daß das Ausbreitungsmodell auch an Straßen in diesen Ländern anwendbar ist, wenn folgende Korrekturen vorgenommen werden:

- beim Pkw sind die HC-Emissionen mit dem Faktor 4 und
- beim Lkw die CO-Emissionen mit dem Faktor 1,4 zu multiplizieren.

Die Schadstoffe Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid, Blei, Schwefeldioxid und Rußpartikeln werden nach dem Ausbreitungsmodell an den Straßen in den neuen Bundesländern überschätzt.

Das Merkblatt ist unter folgenden Bedingungen anwendbar:

- Verkehrsstärken über 5000 Kfz/24 h,
- Geschwindigkeiten über 50 km/h,
- Trogtiefen und Dammhöhen unter 15 m,
- Längsneigung unter 6 %,
- maximaler Abstand vom Fahrbahnrand 200 m,
- Lücken innerhalb der Randbebauung ≥ 50 %,

- Abstände zwischen den Gebäuden und dem Fahrbahnrand ≥ 2 Gebäudehöhen,
- Gebäudebreite ≤ 2 Gebäudehöhen.

Bei abweichenden Voraussetzungen, zum Beispiel in engen und tief eingeschnittenen Tälern bzw. Kesseln sowie im Bereich von Tunnelportalen, ist die Anwendung des Modells problematisch. In diesen Fällen ist es zweckmäßig eine der speziellen Situation angepaßte gutachterliche Untersuchung durchführen zu lassen.

Bei Verkehrsbelastungen unter 5000 Kfz/24 h mit üblichen Lkw-Anteilen und normalen Wetterlagen sind auch im straßennahen Bereich keine kritischen Kfz-bedingten Schadstoffbelastungen zu erwarten.

Das Merkblatt erhebt keinen Anspruch auf eine exakte Berechnung, sondern es ermöglicht die Abschätzung der Jahresmittelwerte und 98-Perzentile. Es läßt keine Aussagen über maximale Kurzzeitbelastungen zu. Aus diesem Grunde und auch wegen der unterschiedlichen Berechnungs- und Meßvorschriften ist ein Vergleich der berechneten Konzentrationen mit Immissionswerten einschlägiger Vorschriften und Regelwerke (EG-Richtlinien, VDI 2310, TA Luft) nicht unproblematisch. Dennoch können die in diesen Vorschriften und Regelwerken enthaltenen Immissionswerte als „Orientierungswerte“ im Rahmen der planerischen Abwägung zur Beurteilung der Luftqualität herangezogen werden.

Die Beurteilung von Schadstoffimmissionen an Straßen mit geschlossener Randbebauung ist nicht Gegenstand dieses Merkblattes. In diesen Fällen muß auf vorliegende Meßergebnisse oder auf entsprechende Modellansätze in der Fachliteratur beispielhaft verwiesen werden⁵⁾⁶⁾⁷⁾.

Das Merkblatt enthält in seinem Anhang C Hinweise, welche Zusammenhänge und Randbedingungen zu beachten sind, wenn die Emissionssituationen bei Straßenveränderungen in Ortsteilen und durch den Bau von Umgehungsstraßen zu beurteilen sind.

Neben dem Verfahren zur Abschätzung der Immissionen und Hinweisen zur Beurteilungsproblematik werden im Merkblatt Möglichkeiten zur Immissionsminderung aufgezeigt und Ausführungen über die Wirkung von Luftschadstoffen auf den Menschen gemacht.

Maßnahmen zur Emissionsminderung bei Fahrzeugen sind nicht Gegenstand dieses Merkblattes.

- 1) TÜV-Rheinland: Schadstoffausbreitung und Immissionsbelastung im Einwirkungsbereich von Autobahnen, Prognosemodell, Gutachten zur A 31 im Auftrag des Landes Nordrhein-Westfalen – Landschaftsverband Rheinland – als Auftragsverwaltung des Bundes, Bonn 1979
- 2) TÜV-Rheinland: Aktualisierung eines Modells zur Abschätzung von Schadstoffimmissionen an Straßen und Szenario über die Entwicklung der Kfz-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland.
- 3) Pkw-Emissionsfaktoren für das Emissionskataster der Stadt Leipzig des Bezugsjahres 1990, Berichts-Nr. 15101, vom Oktober 1991, im Auftrag des Instituts für Energetik GmbH, Leipzig
- 4) Lkw-Emissionsfaktoren für das Emissionskataster der Stadt Leipzig des Bezugsjahres 1990, Berichts-Nr. 18111, vom November 1991, im Auftrag des Instituts für Energetik GmbH, Leipzig
- 5) Umweltbundesamt (Hrsg.): „Abgasimmissionsbelastungen durch den Kfz-Verkehr“, Texte Nr. 9/88, Berlin 1988 und die dort angegebene Literatur.
- 6) Bundesminister für Forschung und Technologie/TÜV-Rheinland: Abgasimmissionsbelastungen durch den Kraftfahrzeugverkehr in Ballungsgebieten und im Nahbereich verkehrsreicher Straßen, Kolloquiumsbericht, Köln 1978
- 7) Bundesminister für Forschung und Technologie/TÜV-Rheinland: Abgasbelastungen durch den Kraftfahrzeugverkehr im Nahbereich verkehrsreicher Straßen, Kolloquiumsbericht, Köln 1982

2. Begriffe und Definitionen

Abgas

Gesamte Stoffmenge, die vom Verbrennungsraum des Motors über den Auspuff in die Atmosphäre abgegeben wird.

Bezugsjahr

Das Jahr, für welches die Emissionsfaktoren eines Fahrzeugkollektivs erhoben wurden.

Belästigung

Beeinträchtigung des körperlichen und seelischen Wohlbefindens des Menschen durch Luftverunreinigungen.

Beurteilung

Vergleich und Bewertung der auftretenden Luftverunreinigungen mit bestehenden Grenzwerten, Leitwerten oder Orientierungswerten.

Durchschnittliche Tägliche Verkehrsstärke (DTV)

Auf alle Tage des Jahres bezogener Mittelwert der einen Straßenquerschnitt täglich passierenden Fahrzeuge in Kfz/24 h.

Fahrmodus

Zeitliche Folge unterschiedlicher Geschwindigkeiten (Geschwindigkeitsganglinie) und Betriebszustände von Kraftfahrzeugen wie Leerlauf im Stand, Beschleunigung, Fahrt bei konstanter Geschwindigkeit und Bremsverzögerung. Diese Zustände haben in den verschiedenen Fahrmodi ein unterschiedliches zeitliches Gewicht. Ihnen sind repräsentative mittlere Fahrgeschwindigkeiten zugeordnet (siehe auch Tabelle C 9 und Bild C 2).

Fahrzeugkollektiv

Das Fahrzeugkollektiv besteht aus einer Stichprobe einer Anzahl im Verkehr befindlicher Fahrzeuge, deren zufälliger Wartungszustand in die Emissionsfaktoren eingeht.

Fahrbahnrand

Der Rand des zusammenhängend befestigten, zum Befahren mit Kraftfahrzeugen bestimmten Teils der Straße. Dieser Rand ist die Bezugslinie für das Abstandsmaß s.

Feinstaub

Staubfraktion mit Partikeldurchmesser zwischen 0,001^{*)} mm und 0,01 mm. Die Ablagerungsgeschwindigkeiten sind kleiner als 1 mm/s. Sedimentation braucht nicht berücksichtigt zu werden.

Gesamtbelastung

Immissionsbelastung, die sich aus der Vorbelastung und der Zusatzbelastung durch die Straße ergibt.

Grobstaub

Staubanteil mit Partikeldurchmesser von über 0,01 mm. Die Ablagerungsgeschwindigkeit ist 5 cm/s und größer.

Immission

Luftverunreinigende Stoffe, die von der offenen Atmosphäre in einen Einwirkungsbereich (Immissionsort) übertreten.

Immissionsdosis

In einem Zeitintervall insgesamt einwirkende Schadstoffmasse.

Immissionswerte IW1 und IW2

Immissionswerte für Langzeiteinwirkungen (IW1) und Kurzeinwirkungen (IW2) nach der TA Luft⁸⁾.

Jahresmittelwert

Arithmetisches Mittel aller 1/2 Stunden-, Stunden-, Tagesmittel- oder Monatsmittelwerte einer beobachteten Schadstoffkomponente über ein Jahr.

Kanzerogene Stoffe

Schadstoffe, die erfahrungsgemäß bei Menschen bösartige Geschwülste verursachen können oder die sich in Tierversuchen eindeutig als krebserzeugend erwiesen haben. Für krebserzeugende Stoffe kann zur Zeit noch keine Wirkungsschwelle angegeben werden.

Konzentration

– Maßeinheiten:

1 mg (Milligramm) = 10⁻³ g

1 µg (Mikrogramm) = 10⁻⁶ g

1 ng (Nanogramm) = 10⁻⁹ g

– Massenkonzentration (mg/m³):

Masse der luftverunreinigenden Stoffe, bezogen auf das Lufteinheitsvolumen.

– Volumenkonzentration:

Volumen der luftverunreinigenden Stoffe, bezogen auf das Lufteinheitsvolumen.

– ppm (10⁻⁶):

parts per million. 1 ppm ist ein Millionstel der gewählten Massen- oder Volumeneinheit.

– ppb (10⁻⁹):

parts per billion. 1 ppb ist ein Milliardstel der gewählten Massen- oder Volumeneinheit.

Die Umrechnung von mg/m³ in ppm erfolgt nach Anhang A.

Anmerkung:

Die Konzentration der Staubpartikel wird abweichend von der üblichen Definition als Anzahl der Staubpartikel, bezogen auf das Luftvolumen (1/m³), angegeben.

Leitwerte

Immissionswerte als 50- und 98-Perzentile, die nach den EG-Richtlinien über Luftqualitätsnormen festgelegt sind, z.B.: 85/203/EWG.

8) Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz – Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft – vom 27.2.1986 (GMBI Nr. 37, Seite 93, ber. Seite 202)

*) Staub mit Partikeldurchmesser < 0,001 mm wird als Feinstaub bezeichnet.

Lkw-Anteil (p)

Anteil der Kraftfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 2,8 t in Prozent der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke.

MIK-Werte

Maximale Immissions-Konzentrationen (MIK) sind immissionsbegrenzende Werte für gas- oder partikelförmige Substanzen als Mittelwerte über 1/2 Stunde, 24 Stunden und ein Jahr gemäß VDI-Richtlinie 2310 „Maximale Immissions-Werte“.

Mittlere Fahrzeuggeschwindigkeit (v)

Arithmetisches Mittel der Fahrzeuggeschwindigkeiten über alle Kraftfahrzeugarten, bezogen auf einen bestimmten Straßenquerschnitt und einen vorgegebenen Beobachtungszeitraum.

Mittlere Windgeschwindigkeit (u)

Arithmetischer Mittelwert der Beiträge der Windgeschwindigkeiten über einen Beobachtungszeitraum.

Mutagene Stoffe

Stoffe, die eine Veränderung von Erbgutanlagen bewirken können.

Perzentil

Diese Kenngröße ist der zur Summenhäufigkeit in % gehörende Meßwert, der sich ergibt, wenn alle Meßwerte nach der Größe ihres Zahlenwertes geordnet sind.

50-Perzentil

50%-Wert der Summenhäufigkeit (Medianwert).

98-Perzentil

98%-Wert der Summenhäufigkeit. Beurteilung der Spitzenbelastung.

Schadstoffausbreitung

Prozesse, die den Weg von Luftschadstoffen von der Quelle zum Immissionsort bestimmen.

Schadstoffe

Als Schadstoffe werden alle in der Umwelt vorkommenden Luftverunreinigungen bezeichnet, die auf Menschen, auf andere Lebewesen, auf Ökosysteme oder auf Sachgüter schädlich wirken können.

Schadstoffemission

Schadstoffe, die in die offene Atmosphäre austreten. Der Ort des Übertritts ist die Emissionsquelle (Auspuff). Für Kraftfahrzeuge wird die Schadstoffemission durch Emissionsfaktoren in Abhängigkeit vom Betriebszustand beschrieben (vgl. auch „Fahrmodus“).

Bei der Bestimmung von Emissionen wird NO_x als NO_2 gerechnet. Die Partikelemissionen (PM) werden aus der Gesamtmasse der festen und flüssigen Abgasbestandteile bestimmt.

Schädliche Umwelteinwirkungen

Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Nachbarschaft herbeizuführen.

Schwebestaub

In der Atmosphäre schwebende Staubteilchen, die sich gasähnlich verhalten.

Untersuchungsgebiete

Gebiete, in denen nach § 44 Bundes-Immissionsschutzgesetz Luftverunreinigungen auftreten oder zu erwarten sind, die wegen

- der Häufigkeit und Dauer ihres Auftretens,
- ihrer hohen Konzentrationen oder
- der Gefahr des Zusammenwirkens verschiedener Luftverunreinigungen

schädliche Umwelteinwirkungen hervorrufen können.

Vorbelastung

Vorhandene Immissionsbelastung ohne den Beitrag der zu beurteilenden Straße.

Zusatzbelastung

Immissionsbelastung, die ausschließlich durch die zu beurteilende Straße hervorgerufen wird.

3. Verfahren zur Abschätzung von Immissionen

3.1 Grundlagen des Verfahrens

3.1.1 Relevante Immissionen und Immissionssituationen

Das im folgenden beschriebene Verfahren ist auf die gewöhnlich zur Verfügung stehenden Daten zugeschnitten und ermöglicht die Abschätzung der Immissionen für folgende Schadstoffe:

- Kohlenmonoxid (CO),
- Kohlenwasserstoffe (HC),
- Benzol (C_6H_6),

- Stickstoffmonoxid (NO),
- Stickstoffdioxid (NO_2),
- Blei (Pb) – im Schwebestaub,
- Schwefeldioxid (SO_2),
- Rußpartikeln (PM).

Berechnet werden die zur Beurteilung der Immissionssituationen relevanten Jahresmittelwerte und die 98-Perzentile mit Hilfe eines aus Regressionsfunktionen bestehenden Satzes von Gleichungen, die auf einem empirisch statistischen Ausbreitungsmodell beruhen.

3.1.2 Erforderliche Daten

Für die Anwendung des Modells sind folgende verkehrsspezifische und meteorologischen Daten erforderlich:

- Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke DTV (Kfz/24 h),
- Lkw-Anteil (%),
- mittlere Pkw-Geschwindigkeit (km/h),
- mittlere Lkw-Geschwindigkeit (km/h),
- Jahresmittelwert der Windgeschwindigkeit 10 m über Grund (m/s),
- Prozentsatz von Stundenmittelwerten der Windgeschwindigkeit unter 3 m/s innerhalb eines Jahres.

Folgende Einschränkungen sind zu beachten:

- Geschwindigkeit $v > 50$ km/h,
- maximal Lkw-Geschwindigkeit $v_{Lkw} = 80$ km/h,
- Lkw-Anteil $p \leq 50\%$,
- Längsneigung der Straße $n \leq 6\%$.

3.2 Abschätzungsfunktionen für Jahresmittelwerte und 98-Perzentile

Mit Hilfe der Gleichungen (1) bis (8) werden Jahresmittelwerte und 98-Perzentile der bodennahen Konzentration (Zusatzbelastung) für die zu bestimmenden Schadstoffe in Abhängigkeit vom Abstand s vom Fahrbahnrand berechnet. Dabei werden je nach der Häufigkeitsverteilung der Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit zwei Fälle unterschieden:

- Anteil der Stundenmittelwerte unter 3 m/s $< 50\%$, Fall I,
- Anteil der Stundenmittelwerte unter 3 m/s $\geq 50\%$, Fall II.

Diese Unterscheidung wird bei der Ermittlung des Stickstoffdioxids nicht vorgenommen.

Die Gleichung für die bodennahe Konzentration $K_i(s)$ für einen beliebigen Immissionsort in 1,5 m Höhe und im Abstand s vom Fahrbahnrand lautet:

$$K_i(s) = K_i^* \cdot g(s) \cdot f_{vi} \cdot f_u \quad (1)$$

Es bedeuten:

- K_i^* .. bodennahe Bezugskonzentration am Fahrbahnrand,
- $g(s)$.. Ausbreitungsfunktion der Schadstoffe,
- f_{vi} .. Funktion zur Berücksichtigung verkehrsspezifischer Daten,
- f_u .. Funktion zur Berücksichtigung der Windgeschwindigkeit.

Die Gleichung für die bodennahe Konzentration gilt nicht für Stickstoffdioxid.

3.2.1 Bodennahe Bezugskonzentration am Fahrbahnrand

Bei den Immissionen sind im wesentlichen zwei Gruppen zu unterscheiden:

- Schadstoffe, die bereits direkt im motorischen Abgas enthalten sind, und
- Schadstoffe, die überwiegend durch chemische Umwandlung in der Atmosphäre entstehen.

Die in Tabelle 1 aufgelisteten Stoffe gehören zur ersten Gruppe, Stickstoffdioxid zur zweiten. Stickstoffdioxid wird im Abschnitt 3.2.7 Verfahren zur NO_2 -Ermittlung gesondert behandelt.

Die bodennahe Bezugskonzentration K_i^* ist die Belastung durch einen Stoff i , die sich am Fahrbahnrand bei einer Verkehrsstärke von 46000 Kfz/24 h, einem Lkw-Anteil von 13,5%, einer Fahrgeschwindigkeit für Pkw von 128 km/h, für Lkw von 80 km/h und einer mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit von 3,6 m/s (Fall I)

Tabelle 1: Bodennahe Bezugskonzentration K_i^* in mg/m^3 am Fahrbahnrand zur Berechnung der Abklingfunktion, Bezugsjahr 1985, Fall I und Fall II

Luftschadstoff	Fall I		Fall II	
	Mittelwert	98-Perzentil	Mittelwert	98-Perzentil
	mg/m^3	mg/m^3	mg/m^3	mg/m^3
1	2	3	4	5
1 Kohlenmonoxid	0,58	1,80	2,49	9,66
2 Kohlenwasserstoffe	0,06	0,18	0,23	0,77
3 Stickstoffmonoxid	0,28	0,87	0,71	2,15
4 Blei	0,00063	0,0019	0,0018	0,0048
5 Schwefeldioxid	0,011	0,034	0,049	0,184
6 Rußpartikeln	0,0014	0,0043	0,0059	0,0224

bzw. 1,7 m/s (Fall II) ergibt. Die Jahresmittelwerte und die 98-Perzentile dieser Konzentration werden den Spalten 2 bis 5 der Tabelle 1 entnommen. Dabei werden, wie bereits erwähnt, nach der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten zwei Fälle unterschieden.

3.2.2 Ausbreitungsfunktion der Schadstoffe

Die Schadstoffkonzentration verringert sich mit zunehmendem Abstand vom Fahrbahnrand. Für den Jahresmittelwert und das 98-Perzentil der Schadstoffkonzentration ergibt sich folgende Funktion (siehe Bild 1):

$$g(s) = 1 - 0,166 \ln(1 + s) \quad (2)$$

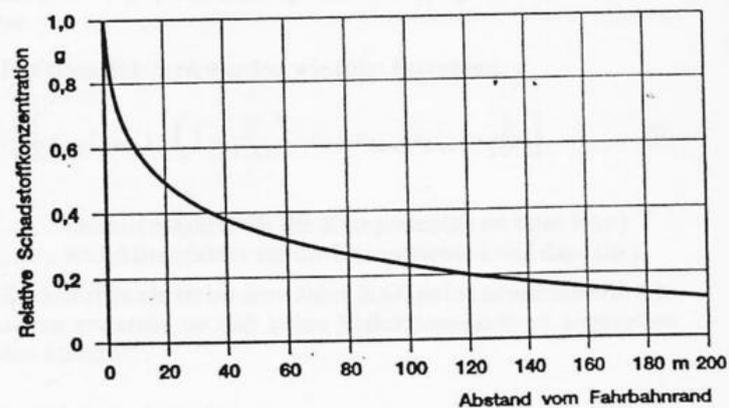


Bild 1: Relative Ausbreitungsfunktion für die Jahresmittelwerte und 98-Perzentile als Funktion des Abstandes s vom Fahrbahnrand für die Schadstoffe CO, HC, NO, Pb, SO_2 und PM

3.2.3 Abschätzung der Benzolkonzentration

Für die Benzolemissionen von Fahrzeugen – insbesondere von Nutzfahrzeugen mit Dieselmotor – liegen bisher vergleichsweise nur wenige Messungen vor. Daher wird die Benzolemission aus dem Benzol-HC-Verhältnis der Pkw mit Dieselmotor berechnet und von Pkw mit Dieselmotor auf Nutzfahrzeuge mit Dieselmotor übertragen.

Da die Immissionen den Emissionen proportional sind, kann mit Hilfe des Verhältnisses von Benzol- zu HC-Emissionen aus den HC-Immissionen die Benzolemission abgeschätzt werden. Es gilt folgende Beziehung:

$$K_{C_6H_6}(s) = K_{HC}(s) \left[f_{BPkw} \cdot \left(1 - \frac{p}{100} \right) + f_{BLkw} \cdot \frac{p}{100} \right] \quad (3)$$

$$\text{mit: } f_{BPkw} = 0,0616 - 1,94 \cdot 10^{-4} \cdot v_{Pkw} + 1,641 \cdot 10^{-6} \cdot v_{Pkw}^2 \quad (4)$$

und: $f_{BLkw} = 0,046$

Es bedeuten:

$K_{C_6H_6}(s)$.. die bodennahe Benzolkonzentration als Funktion des Abstandes s vom Fahrbahnrand (mg/m^3),

$K_{HC}(s)$... die bodennahe HC-Konzentration als Funktion des Abstandes s vom Fahrbahnrand (mg/m^3)

f_{BPkw} das Benzol zu HC-Verhältnis für Pkw

f_{BLkw} das Benzol zu HC-Verhältnis für Lkw

v_{Pkw} die mittlere Pkw-Geschwindigkeit (km/h)

p der Lkw-Anteil (%)

3.2.4 Verkehrsspezifische Daten

Die Berücksichtigung der Verkehrsstärke, des Lkw-Anteils und der mittleren Geschwindigkeit erfolgt mit folgenden Gleichungen.

$$f_{vi} = q_i \cdot f_d \quad (5)$$

dabei sind:

$$f_d = \frac{DTV}{46.000} \quad (6)$$

$$q_i = \frac{1}{e} \left[e_{Pkw}(v_{Pkw}) \cdot \left(1 - \frac{p}{100} \right) + e_{Lkw}(v_{Lkw}) \cdot \frac{p}{100} \right] \quad (7)$$

$$e_{Pkw}(v_{Pkw}) = \left[a_0 \cdot \exp \left(a_1 \cdot \frac{v_{Pkw}}{100} \right) \right] \frac{1}{v_{Pkw}} \quad (7a)$$

$$e_{Lkw}(v_{Lkw}) = (a_2 + a_3 \cdot v_{Lkw} + a_4 \cdot v_{Lkw}^2) \frac{1}{v_{Lkw}} \quad (7b)$$

Es bedeuten:

a_1 Konstanten siehe Tabelle 2

DTV Durchschnittliche Tägliche Verkehrsstärke (Kfz/24 h)

e' mittlere spezifische Bezugsemissionen (g/km) (nach Tabelle 2)

$e_{Pkw}(v_{Pkw})$.. spez. Emissionsfaktoren für Pkw (g/km)

$e_{Lkw}(v_{Lkw})$.. spez. Emissionsfaktoren für Lkw (g/km)

p Lkw-Anteil (%)

v_{Pkw} Pkw-Geschwindigkeit (km/h)

v_{Lkw} Lkw-Geschwindigkeit (km/h)

$$\text{mit } e'(v) = e_{Pkw}(v_{Pkw}) \cdot \left(1 - \frac{p}{100} \right) + e_{Lkw}(v_{Lkw}) \cdot \frac{p}{100} \quad (8)$$

$$v_{Pkw}^* = 128 \text{ km/h}$$

$$v_{Lkw}^* = 80 \text{ km/h}$$

$$p^* = 13,5 \%$$

3.2.5 Emissionsfaktoren

Das Abgas-Emissionsverhalten von Kraftfahrzeugen wird durch technische Weiterentwicklungen und die Abgasgesetzgebung spürbar beeinflusst. Um dieser Tatsache Rechnung zu tragen, werden nachfolgend die Konstanten zur Bestimmung der Emissionsfaktoren (siehe Gleichung 7a und 7b) für das Bezugsjahr 1985 in Tabelle 2 und die Reduktionsfaktoren für die Jahre 1990, 1995 und 2000 in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 2: Konstanten (a_i) zur Bestimmung der Emissionsfaktoren bei Autobahnen, Bezugsjahr 1985 (Gl. 7a und 7b)

Luftschadstoff	Pkw		Lkw			e' g/km
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	
	g/h	h/km	g/h	g/km	gh/km ²	
1	2	3	4	5	6	7
1 Kohlenmonoxid	150,500	2,047	252,876	1,303	-0,0266	14,287
2 Kohlenwasserstoffe	38,046	1,100	210,508	-0,982	0,0086	1,360
3 Stickoxide	24,940	2,409	67,824	15,961	0,0286	6,248
4 Blei	0,107	2,000	0	0	0	0,009
5 Schwefeldioxid	2,124	1,117	10,582	1,775	-0,0041	0,270
6 Rußpartikeln	0	0	6,194	0,173	0	0,033

Tabelle 3: Reduktionsfaktoren r_{ij} zur Prognose von Pkw-Emissionsfaktoren bei Autobahnen

Jahr	Kohlenmonoxid	Kohlenwasserstoffe	Stickstoffmonoxid	Blei	Schwefeldioxid	Rußpartikeln
	1	2	3	4	5	6
1 1985	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2 1990	0,56	0,71	0,82	0,56	1,00	1,00
3 1995	0,34	0,53	0,70	0,21	1,00	1,00
4 2000	0,24	0,43	0,62	0	1,00	1,00

In Tabelle 3 sind die Reduktionsfaktoren für die Jahre 1990, 1995 und 2000 zusammengestellt, mit deren Hilfe die zeitliche Entwicklung der Pkw-Emissionsfaktoren abgeschätzt werden kann. Die Randbedingungen für derartige Entwicklungen sind der Literatur zu entnehmen⁹⁾. Für Nutzfahrzeuge sind derartige Daten nicht verfügbar.

Die Emissionsfaktoren werden wie folgt berechnet:

$$q_{ij}^* = \frac{1}{e} \left[e_{Pkw}(v_{Pkw}) \cdot \left(1 - \frac{p}{100} \right) \cdot r_{ij} + e_{Lkw}(v_{Lkw}) \cdot \frac{p}{100} \right] \quad (9)$$

mit

q_{ij}^* Emissionsfaktor für die Komponente i und das Jahr j

r_{ij} Reduktionsfaktor für die Komponente i und das Jahr j

Bei Stickstoffdioxid ist bis zum Jahre 2000 keine nennenswerte Abnahme zu erwarten, so daß keine Reduktionsfaktoren angegeben werden können¹⁰⁾.

3.2.6 Meteorologische Daten

Für die Windgeschwindigkeit werden in Abhängigkeit von der Häufigkeitsverteilung ihrer Stundenmittelwerte zwei Fälle unterschieden. Als Unterscheidungskriterium wird der Prozentsatz der Jahresstunden herangezogen, für den ein Stundenmittelwert der Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund von weniger als 3 m/s zu erwarten ist.

9) TÜV Rheinland: 3. Fortschreibung des Emissionskatasters für den Kfz-Verkehr im Belastungsgebiet Rheinschiene Süd im Auftrage der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Köln, November 1989

10) Esser, J.: Entwicklung der Stickoxidbelastung an einem Autobahnquerschnitt in den Jahren 1987 bis 1991, Straße und Autobahn, 43(1992), 3, S. 169-170

Fall I:

Anteil der Stundenmittelwerte unter 3 m/s < 50%

$$f_u = \frac{3,6}{u} \quad (10)$$

Fall II:

Anteil der Stundenmittelwerte unter 3 m/s \geq 50%

$$f_u = \frac{1,7}{u} \quad (11)$$

Es bedeutet:

u = Jahresmittelwert der Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund am Immissionsort.

Anmerkung:

Bei der Entscheidung, welcher Fall anzuwenden ist, kann die Windkarte des Deutschen Wetterdienstes (Anhang B) als erster Anhalt dienen. Da das Auflösungsvermögen dieser Karte im allgemeinen nicht ausreicht, sichere Aussagen für den einzelnen Immissionsort zu machen, empfiehlt es sich, bei Bedarf das zuständige Wetteramt einzuschalten.

3.2.7 Verfahren zur Ermittlung der Stickstoffdioxid (NO₂)-Konzentration

Das Abgas der Fahrzeugmotoren enthält zu 97% bis 98% Stickstoffmonoxid und nur zu 2% bis 3% Stickstoffdioxid.

Während des Ausbreitungsvorganges der Kfz-Abgase wandelt sich Stickstoffmonoxid zum Teil in Stickstoffdioxid um. Daher läßt sich die für die inerten Schadstoffe geltende Abklingfunktion nicht auf das Stickstoffdioxid anwenden. Die Umwandlung von Stickstoffmonoxid in Stickstoffdioxid bei gleichzeitiger Schadstoffverdünnung ist komplexer Natur. Mit ausreichender Genauigkeit kann nach den folgenden Formeln (12), (13) und (14) die Immission ermittelt werden.

Bei Stickstoffdioxid wird keine Unterscheidung nach der Häufigkeitsverteilung der Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit (Fall I und Fall II) vorgenommen.

$$g_{NO_2}(s) = 1 - 0,088 \ln(1 + s) \quad (12)$$

Bild 2 zeigt den Verlauf dieser Funktion in Abhängigkeit von dem Abstand zum Straßenrand.

Die NO₂-Emissionskonzentration läßt sich nicht über Emissionsfaktoren und in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke ermitteln, weil Stickstoffdioxid nicht direkt vom Fahrzeug emittiert wird.

Daher wurde für den Jahresmittelwert und das 98-Perzentil aus den Feldmessungen folgende Korrekturfunktion für die Verkehrsstärke (siehe Bild 3) abgeleitet:

$$M_{NO_2}(DTV) = 4,47 \cdot 10^{-3} \cdot DTV^{0,514} \cdot \exp(-4,14 \cdot 10^{-6} \cdot DTV) \quad (13)$$

Aufgrund der sehr starken Streuung der Einzelwerte lassen sich die Einflüsse von Lkw-Anteil und Fahrgeschwindigkeit im Geltungs-

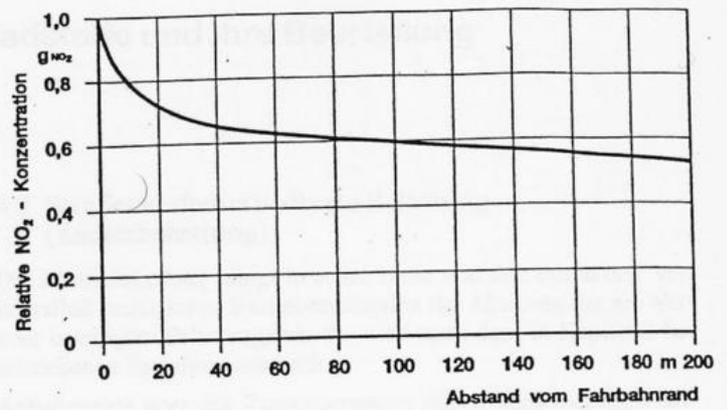


Bild 2: Relative Ausbreitungsfunktion g_{NO_2} für die Jahresmittelwerte und 98-Perzentile von NO₂ als Funktion des Abstandes vom Fahrbahnrand

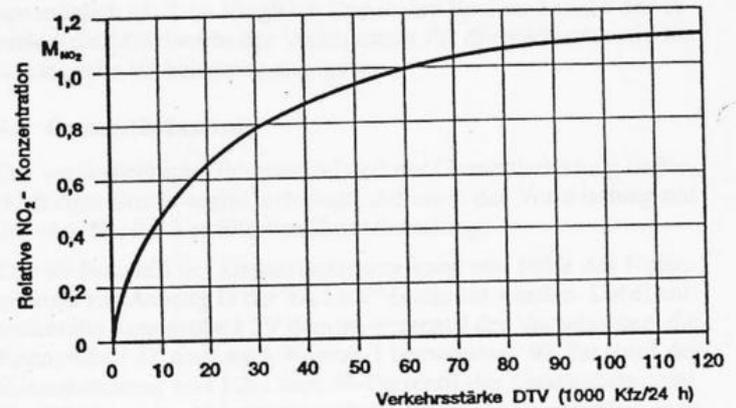


Bild 3: Relative NO₂-Konzentration M_{NO_2} in Abhängigkeit vom DTV mit Bezugswert DTV = 60 000 Kfz/24 h

bereich dieses Merkblattes (200 m Abstand vom Fahrbahnrand) nicht quantifizieren.

Gleichwohl wird nochmals darauf hingewiesen, daß die NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs gemäß Abschnitt 3.2.4 und Abschnitt 3.2.5 auch von den Lkw-Anteilen und von den spezifischen Fahrgeschwindigkeiten abhängen.

Die absolute NO₂-Konzentration läßt sich unter Einbeziehung der Bezugskonzentration am Straßenrand wie folgt berechnen:

$$K_{NO_2}(s, DTV) = K_{NO_2}^* \cdot g_{NO_2}(s) \cdot M_{NO_2}(DTV) \quad (14)$$

Die Bezugskonzentration $K_{NO_2}^*$ ist:

$K_{NO_2}^* = 0,052 \text{ mg/m}^3$ für den Jahresmittelwert

$K_{NO_2}^* = 0,110 \text{ mg/m}^3$ für das 98-Perzentil

Nach Abschnitt 3.2.5 können für Stickstoffdioxid gegenüber dem Bezugsjahr 1985 keine Reduktionsfaktoren angegeben werden.

4. Gesamtbelastung durch Schadstoffe und ihre Beurteilung

Die Gesamtbelastung durch Schadstoffe an einem Immissionsort in Straßennähe setzt sich aus der Vorbelastung und der straßenverkehrsbedingten Belastung (Zusatzbelastung) zusammen. Die Messungen einzelner Schadstoffkonzentrationen – abhängig vom Abstand zum Fahrbahnrand – lassen daher im allgemeinen nicht erkennen, in welchem Maße die Zusatzbelastung der zu beurteilenden Straße an der Gesamtbelastung beteiligt ist.

4.1 Vorbelastung

An einem Immissionsort entsteht die Vorbelastung durch Überlagerung von Immissionen aus verschiedenen Schadstoffquellen. Diese können den folgenden drei Emittentengruppen zugeordnet werden:

- Kraftwerke, Industrie,
- Verkehr,
- Hausbrand/Kleingewerbe.

Einen groben Überblick darüber, in welchem Umfang diese einzelnen Gruppen an der Gesamtbelastung im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland und in einzelnen Belastungsgebieten beteiligt sind, liefern die Tabellen 4 und 5 und die Bilder 4 und 5. Die Angaben für die einzelnen Belastungs- bzw. Untersuchungsgebiete entstammen den neuesten veröffentlichten Luftreinhalteplänen der Bundesländer.

Genauere Informationen über die Vorbelastung eines Gebietes können von den regionalen oder kommunalen Umweltbehörden erhalten werden. Die Daten liegen entweder aus punktuell kontinuierlich oder stichprobenartig auf Flächenrastern durchgeführten Immissionsmessungen vor. Sollten keine Daten verfügbar sein, können Anhaltswerte aus der Tabelle 6 entnommen werden.

4.2 Straßenverkehrsbedingte Belastung (Zusatzbelastung)

Die Zusatzbelastung hängt in erster Linie von den durch den Verkehrsfluß bestimmten Betriebszuständen der Motoren der am Verkehr beteiligten Fahrzeuge ab. Sie wird nach dem in Kapitel 3 beschriebenen Verfahren ermittelt.

Anhaltswerte über die Zusatzbelastung durch verschiedene Luftschadstoffe, die in der unmittelbaren Umgebung von Straßen gemessen worden sind, enthalten die Spalten 3 und 4 der Tabelle 6.

Die Untersuchungsgebiete wurden so ausgewählt, daß eine qualitative Beurteilung der durch den Straßenverkehr bedingten Immissionen möglich ist. Zum Vergleich sind in den Spalten 5 und 6 der Tabelle 6 die Mittelwerte der Vorbelastung für die städtische und die bundesweite Vorbelastung angegeben.

4.3 Gesamtbelastung

Der voraussichtliche Jahresmittelwert der Gesamtbelastung im Bereich einer Straße ergibt sich durch Addition der Vorbelastung mit der nach Kapitel 3 ermittelten Zusatzbelastung.

Das 98-Perzentil der Gesamtbelastung kann mit Hilfe des Nomogramms aus Anhang D der TA Luft⁸⁾ bestimmt werden. Dabei entspricht die Kenngröße I 2V dem 98-Perzentil der Vorbelastung, die Kenngröße I 2Z dem nach Kapitel 3 berechneten 98-Perzentil der Zusatzbelastung und I 2G dem 98-Perzentil der Gesamtbelastung. Zur Erhöhung der Ablesegenauigkeit können die Kenngrößen auch mit einem Faktor multipliziert werden, wenn die ermittelte Kenngröße I 2G durch den gleichen Faktor dividiert wird.

Beträgt das 98-Perzentil der Zusatzbelastung weniger als ein Zehntel des 98-Perzentils der Vorbelastung, so können beide zum 98-Perzentil der Gesamtbelastung addiert werden.

Tabelle 4: Vergleich der Emissionsanteile an den Jahresemissionen in der Bundesrepublik Deutschland (Referenzjahr 1989)

	Luftschadstoff	Emittentengruppe				Gesamtemission 1000 t
		Kraftwerke, Fernheizwerke, Industrie	Verkehr	Haushalte und Kleinverbraucher	Lösungsmittel- verwendung	
		%	%	%	%	
1	2	3	4	5	6	
1	Kohlenmonoxid	17,8	73,7	8,5	–	8250
2	Stickoxide (berechnet als NO ₂)	28,2	67,9	3,9	–	2700
3	Schwefeldioxid	79,0	7,4	13,6	–	1000
4	Kohlendioxid ³⁾	57,5	23,2	19,3	–	690000
5	Staub ²⁾ incl. Rußpartikeln	64,0	25,2	10,8	–	290
6	Flüchtige organische Verbindungen	5,5	47,3	2,5	44,7 ¹⁾	2700 ¹⁾

1) vorläufige Angaben

2) ohne Transport, Umschlag und Lagerung von Schüttgütern

3) aus klimarelevantem Energieverbrauch

Quelle: Umweltbundesamt

Tabelle 5: Vergleich der Emissionsanteile an der Luftbelastung in verschiedenen Belastungsgebieten

Belastungsgebiete	Kraftwerke/Industrie						Verkehr						Hausbrand/Kleingewerbe											
	Kohlenmonoxid		Stickoxide ¹⁾		Schwefeldioxid		organ. Gase u. Dämpfe ²⁾		Kohlenmonoxid		Stickoxide ¹⁾		Schwefeldioxid		organ. Gase u. Dämpfe ²⁾		Kohlenmonoxid		Stickoxide ¹⁾		Schwefeldioxid		organ. Gase u. Dämpfe ²⁾	
	%	t/a km ²	%	t/a km ²	%	t/a km ²	%	t/a km ²	%	t/a km ²	%	t/a km ²	%	t/a km ²	%	t/a km ²	%	t/a km ²	%	t/a km ²	%	t/a km ²	%	t/a km ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Rheinschiene-Süd 649 km ²	17	46,7	73	80,3	93	172,3	67	47,5	57	162,5	23	24,6	1	1,3	23	16,0	26	74,2	4	4,7	6	10,7	10	6,9
Ruhrgebiet-West 711 km ²	78	905,6	81	107,3	95	210,2	51	19,8	11	125,7	16	21,1	<1	1,3	37	14,5	11	138,9	3	3,4	5	10,7	12	4,7
Ruhrgebiet-Ost 674 km ²	53	293,3	72	70,4	91	152,5	19	4,4	19	106,3	24	24,1	1	1,1	58	13,6	28	150,3	4	3,9	8	13,5	23	5,3
Ruhrgebiet-Mitte 720 km ²	45	158,2	87	211,2	97	362,8	44	22,8	34	118,5	12	29,0	<1	1,3	34	17,5	21	75,6	1	3,9	3	10,4	22	11,4
Ludwigshafen/ Frankenthal 116 km ²	63	254,4	77	151,6	96	166,1	68	50,9	30	123,7	21	40,4	1	2,4	27	19,9	7	28,9	2	4,1	3	5,1	5	3,5
Rhein-Main 122 km ²	1	2,0	50	26,6	67	48,3	76	77,4	58	185,0	35	18,6	3	1,9	16	16,9	41	129,5	15	7,6	30	22,0	8	8,2
Mainz 93,5 km ²	1	3,0	77	97,1	91	139,8	57	26,2	84	152,2	18	22,9	<1	1,3	32	15,0	15	27,0	5	6,1	9	13,2	11	5,1
Unterrhein 470 km ²	7	17,2	63	73,3	90	130,7	42	24,6	69	173,8	32	36,8	1	1,8	37	21,4	24	59,1	5	5,4	9	12,4	21	12,0
Kassel 152 km ²	1	2,7	52	21,9	72	36,3	55	21,1	61	165,3	37	15,8	2	1,1	40	15,6	38	104,2	11	4,5	26	13,1	5	1,8
Rheinschiene Mitte 356 km ²	28	77,0	61	75,4	92	77,2	12	5,1	56	154,4	35	42,8	1	1,3	60	24,4	16	46,1	4	5,0	7	5,6	28	11,4
Hamburg 747 km ²	20	32,4	28	14,9	80	34,7	33	12,3	74	120,6	61	32,5	10	4,3	52	19,2	6	9,0	11	5,8	10	4,5	15	5,4
Stuttgart 207 km ²	7	17,7	29	23,4	80	32,7	26	13,8	85	214,7	66	53,8	8	3,1	59	30,9	8	20,0	5	4,3	12	5,1	15	7,7
Karlsruhe 173 km ²	10	15,8	67	84,8	96	200,0	50	28,4	78	120,9	30	38,3	1	2,2	31	17,9	12	18,1	3	3,0	3	5,8	19	10,9
Mannheim 145 km ²	36	93,5	85	235,2	98	306,4	64	38,7	57	149,1	14	38,3	1	2,1	35	21,2	7	19,7	1	2,1	1	3,6	1	0,9
Würzburg 63 km ²	<1	1,3	24	11,9	82	37,8	24	8,5	82	216,1	69	34,9	14	2,0	69	24,9	18	46,3	7	3,5	4	6,5	7	2,6
Augsburg 228 km ²	11	15,2	30	8,4	71	16,3	16	3,8	65	84,1	58	16,1	4	0,9	52	12,1	24	30,9	12	3,2	25	5,8	32	7,3
Burghausen 64,5 km ²	18	13,8	92	60,3	93	47,2	90	66,2	53	40,6	7	4,5	1	0,3	6	4,6	29	22,5	1	1,1	6	3,1	4	3,2
Regensburg 55 km ²	31	102,0	30	16,6	43	8,6	81	127,4	57	184,7	62	33,6	10	2,0	14	22,0	12	37,4	8	4,5	47	9,3	5	8,4
Aschaffenburg 736 km ²	4	2,1	57	16,4	95	23,4	25	2,3	68	40,5	36	10,2	2	0,6	55	5,1	28	16,6	7	2,1	3	0,8	20	1,8
Erlangen, Fürth Nürnberg 431 km ²	2	2,9	63	34,0	78	48,2	28	5,7	72	123,4	29	15,4	1	0,9	59	12,0	26	44,2	8	4,3	21	12,9	13	2,7
Dillingen, Saar- louis, Völklingen, Saarbrücken, Neun- kirchen 235 km ²	82	1212,6	87	128,4	93	300,8	36	12,8	10	153,7	9	13,6	<1	1,5	39	14,2	8	117,8	4	5,6	6	20,1	25	9,0
Berlin 480 km ²	<1	3,2	60	63,5	79	29,9	14	15,6	82	287,2	35	37,3	4	1,7	51	59,6	17	59,4	5	5,7	17	6,4	35	40,8

1) angegeben als NO₂

2) Kohlenwasserstoffe und sonstige organische Verbindungen

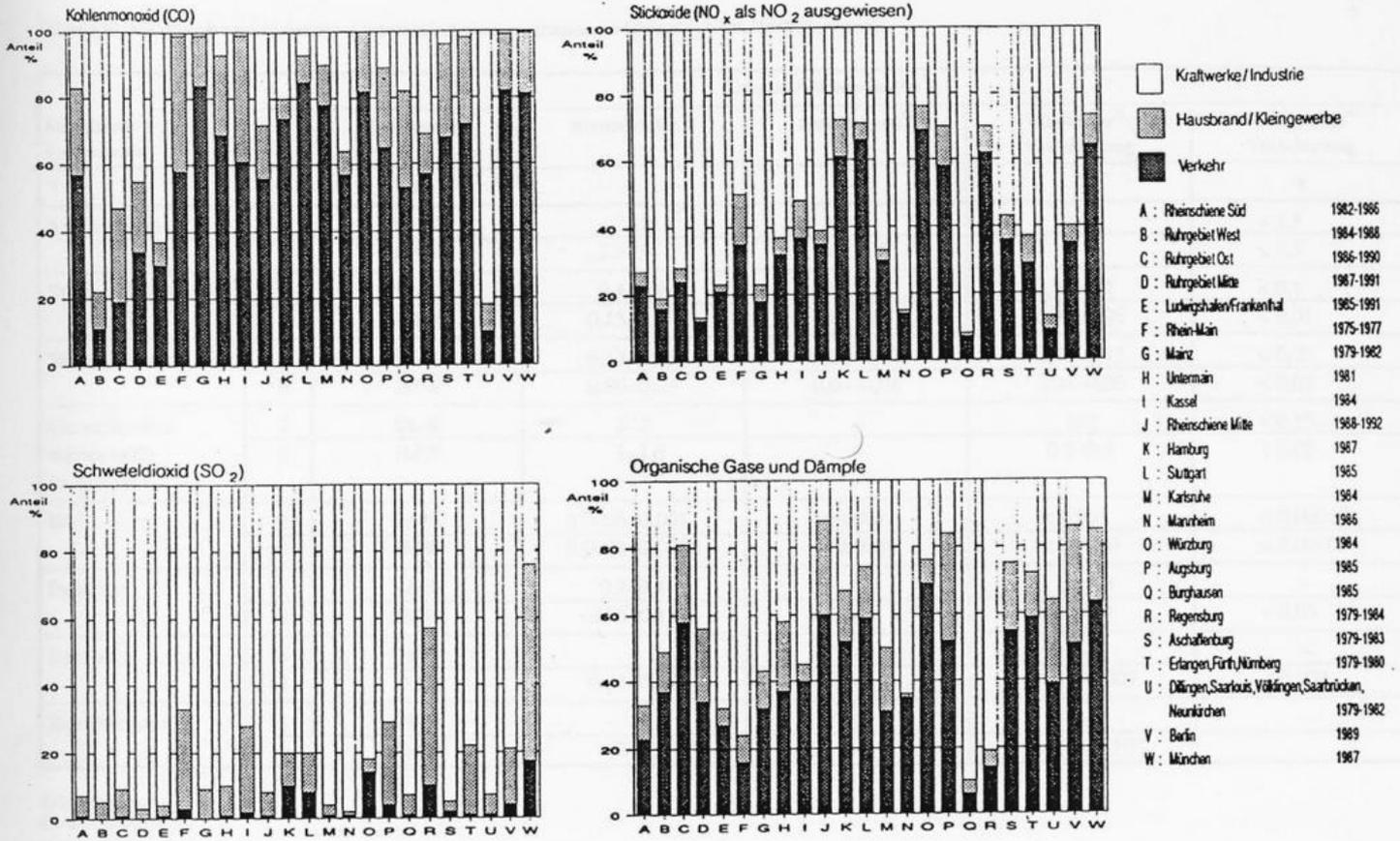


Bild 4: Vergleich der Emissionsanteile in verschiedenen Belastungsgebieten

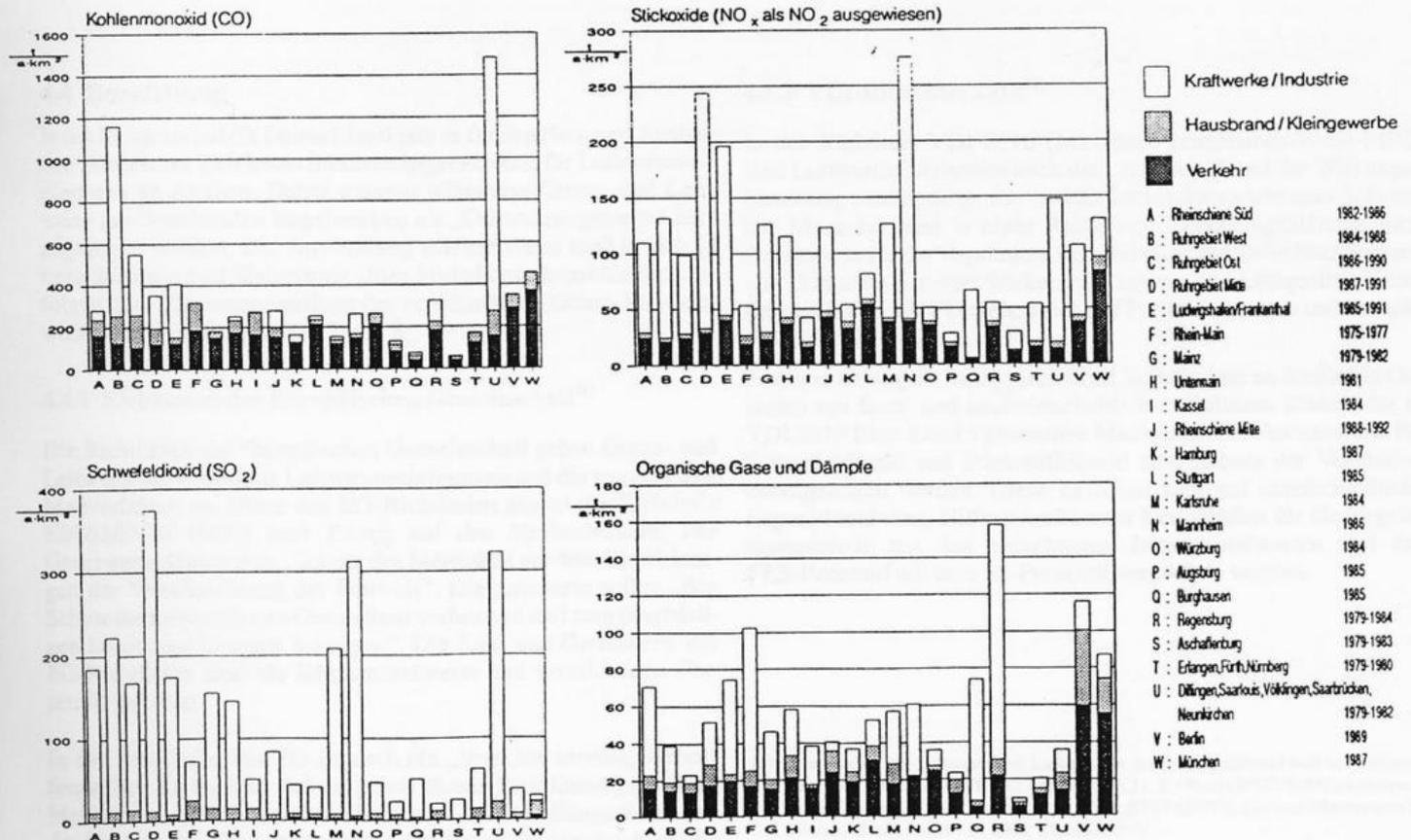


Bild 5: Vergleich der flächenbezogenen Emissionen der einzelnen Quellgruppen in verschiedenen Belastungsgebieten

Tabelle 6: Vergleich verschiedener Immissionskonzentrationen (Zusatz- bzw. Vorbelastung)

Schadstoffkomponente	Konzentrationen [mg/m ³]					
	Bezugswert	Stadtstraßen ¹⁾	Autobahnen ²⁾	städtische ³⁾ Vorbelastung	bundesweite ⁴⁾ Vorbelastung	
1	2	3	4	5	6	
Kohlenmonoxid	1	98-%	7-15	2,5-4	3-7	< 1,5
	2	JMW	2,5-5	1,2-1,8	1-2	< 0,5
Stickstoffmonoxid	3	98-%	0,4-0,8	0,5-1,0	0,08-0,2	< 0,1
	4	JMW	0,15-0,3	0,2-0,4	0,03-0,06	< 0,01
Stickstoffdioxid	5	98-%	0,13-0,25	0,08-0,12	0,08-0,12	< 0,07
	6	JMW	0,06-0,08	0,04-0,06	0,04-0,06	< 0,02
Gesamtkohlenwasserstoffe (o. Methan)	7	98-%	3-6	-	1-2	< 0,15
	8	JMW	1-1,5	-	0,2-0,4	< 0,05
Blei	9	98-%	0,0006-0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,00015
	10	JMW	0,0002-0,0004	< 0,0005	< 0,0003	< 0,00005
Partikeln	11	98-%	0,2-0,4	-	0,15-0,3	-
	12	JMW	0,08-0,15	-	0,06-0,1	< 0,05
Benzol	13	98-%	-	-	-	-
	14	JMW	0,01-0,035	-	0,003-0,007	< 0,002
Benz(a)pyren	15	98-%	-	-	-	-
	16	JMW	(2-6)·10 ⁻⁶	-	(1-3)·10 ⁻⁶	-

Erläuterungen:

98-% = 98-Perzentil

JMW = Jahresmittelwert

1) DTV: 15000-30000 Kfz/24h; 5% LKW-Anteil, vier Fahrstreifen, Immissionsort 1,5 m vom Fahrbahnrand und 1,4-3 m hoch

2) DTV: 40000-60000 Kfz/24h; 15% LKW-Anteil, vier Fahrstreifen, Immissionsort 10 m vom Fahrbahnrand und 1,5 m hoch

3) Großstadt im Ballungsgebiet

4) bei austauschreicher Atmosphärenschichtung über das gesamte Bundesgebiet gemittelt

4.4 Beurteilung

In der Bundesrepublik Deutschland gibt es für den Neu- und Ausbau von Straßen zur Zeit keine Immissionsgrenzwerte für Luftverunreinigungen an Straßen. Daher müssen hilfswise Grenz- und Leitwerte aus bestehenden Regelwerken als „Orientierungswerte“ herangezogen werden. Die Anwendung solcher Werte muß jedoch je nach Sachlage und Zielsetzung eines Vorhabens unterschiedlich erfolgen. Eine Zusammenstellung der verschiedenen Grenz- und Leitwerte enthalten die Tabellen 7 und 8.

4.4.1 Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft¹¹⁾

Die Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft geben Grenz- und Leitwerte für bestimmte Luftverunreinigungen und die zugehörigen Meßverfahren an. Unter den EG-Richtlinien nimmt die Richtlinie 85/203/EWG (NO₂) auch Bezug auf den Straßenverkehr. Die Grenzwerte dienen dem „Schutz des Menschen vor den Auswirkungen der Verschmutzung der Umwelt“. Die Leitwerte sollen „den Schutz der menschlichen Gesundheit verbessern und zum langfristigen Schutz der Umwelt beitragen“. Die Leit- und Grenzwerte der EG-Richtlinien sind als Jahresmittelwerte und verschiedene Perzentile definiert.

In den Richtlinien der EG ist auch ein „Verschlechterungsverbot“ formuliert. Es fordert, daß aufgrund dieser Richtlinien getroffene Maßnahmen in Gebieten außerhalb städtischer Ballungsräume, wo der festgestellte Grad der Luftverschmutzung im Vergleich zu den Grenzwerten niedrig ist, nicht zu einer merklichen Verschlechterung der Luftqualität führen dürfen.

4.4.2 VDI-Richtlinie 2310¹²⁾

In der Richtlinie VDI 2310 (Maximale Immissions-Werte-MIK) sind Luftqualitätskriterien nach dem neuesten Stand der Wirkungsforschung niedergelegt. Sie enthält Immissionswerte zum Schutze des Menschen und in einer Reihe von Ergänzungsblättern auch Grenzwerte für die Vegetation, für landwirtschaftliche Nutztiere sowie Erläuterungen von Wirkungsbefunden. Die Luftqualitätskriterien nach VDI 2310 beziehen sich auf Punktmessungen und berücksichtigen die Dosis.

Zur Beurteilung der lufthygienischen Verhältnisse an Straßen in Gebieten mit forst- und landwirtschaftlichen Kulturen können die in VDI 2310 Blatt 2 und 5 genannten Maximalen Immissionswerte für Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid zum Schutz der Vegetation herangezogen werden. Diese beziehen sich auf unterschiedliche Expositionszeiten. Hilfswise können Kenngrößen für die Vegetationsperiode mit den berechneten Jahresmittelwerten und das 97,5-Perzentil mit dem 98-Perzentil verglichen werden.

11) Grenzwerte und Leitwerte der Luftqualität zu Schwefeldioxid und Schwebstaub vom 15. 7. 1980, 80/779/EWG, geändert am 21. 7. 1989 (89/427/EWG); Grenzwert für den Bleigehalt der Luft vom 3. 12. 1982, 82/884/EWG; Luftqualitätsnormen für Stickstoffdioxid vom 7. 3. 1985, 85/203/EWG.

12) VDI-Handbuch „Reinhaltung der Luft“, Band 1, Richtlinie 2310 „Maximale Immissions-Werte-MIK“, VDI-Verlag, Düsseldorf

Tabelle 7: Verkehrsspezifische Grenz- und Leitwerte zum Schutz des Menschen (alle Werte in mg/m³)

Luftschadstoff	EG-Richtlinien					VDI-2310			TA Luft	
	Grenzwerte		Leitwerte			Jahres-MIK	24 h-MIK	1/2 h-MIK	IW 1	IW 2
	Jahresmittel	98-Perzentil	Median	Jahresmittel	98-Perzentil	Jahresmittel	Tagesmittel	Halbstunden	Jahresmittel	98-Perzentil
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 Kohlenmonoxid	-	-	-	-	-	10	10	50	10	30
2 Stickstoffmonoxid	-	-	-	-	-	-	0,5	1,0	-	-
3 Stickstoffdioxid	-	0,2	0,05	-	0,135	-	0,1	0,2	0,08	0,2
4 Schwefeldioxid	0,140	0,4 ^{*)}	-	0,04-0,06	-	0,1	0,3	1,0	0,14	0,4
5 Blei	0,002	-	-	-	-	0,002	0,004	-	0,0020	-

*) 95-Perzentil

Anmerkung: IW 1 nach TA Luft, Jahresmittel der EG und Jahres-MIK nach VDI-2310 sind, sofern dort definiert, entweder gleich oder etwa gleich groß. 98-Perzentil, 24 h-MIK und 1/2 h-MIK sind dagegen nicht vergleichbar. An den Zahlenwerten für das 98-Perzentil und dem 1/2 h-MIK eines Jahres läßt sich ablesen, daß letzterer die Immissionsspitzen schärfer begrenzt als das 98-Perzentil, dessen Zahlenwert noch in zwei Prozent der Jahreshalbstunden überschritten werden kann.

4.4.3 Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft⁸⁾

In der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft sind u. a. Immissionswerte und Vorschriften zur Messung und Beurteilung von Immissionen enthalten. Diese Vorschrift gilt für die Beurteilung von „genehmigungsbedürftige Anlagen“ nach § 4 Bundes-Immissionsschutzgesetz¹³⁾ i. V. mit der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV). Die Immissionswerte der TA Luft sind flächenbezogen und statistisch als Mittelwerte (Langzeitwerte) und 98-Perzentile (Kurzzeitwerte) von Halbstundenwerten über einen Beurteilungszeitraum von einem Jahr definiert. Sie beziehen sich in der Regel auf Beurteilungsflächen von 1 km². Deshalb bestehen für die Anwendbarkeit der TA Luft für die Bewertung der nach diesem Merkblatt zumeist punktbezogen ermittelten Immissionskenngrößen Einschränkungen. Die Beurteilung von Verkehrsimmissionen kommt jedoch dann zum Tragen, wenn solche z. B. als Vorbelastungen im Sinne der TA Luft maßgeblich zur Gesamtbelastung eines Beurteilungsgebietes beitragen.

4.4.4 Vergleich der Bezugsgrößen

Die einzelnen Immissionswerte der Tabellen 7 und 8 stehen untereinander in folgenden Beziehungen: IW 1, Jahres-MIK sowie EG-Jahresdurchschnittsgrenzwerte sind als Jahresmittel von Halbstunden-, Stunden- oder Tagesmittelwerten zu betrachten und als solche entweder gleich oder annähernd gleich. Da die statistische Verteilung von Immissionsmeßwerten nicht symmetrisch ist, sind Mittelwert und Median (50-Perzentil) verschieden.

Tabelle 8: Verkehrsspezifische Grenz- und Leitwerte zum Schutz der Vegetation nach VDI-2310 Blatt 2 Entwurf und Blatt 5 (alle Werte in mg/m³)

Luftschadstoff	Empfindlichkeit	Mittelwert über die Vegetationsperiode	97,5-Perzentil	1/2 h-Wert
1	2	3	4	5
1 Schwefeldioxid	sehr empfindlich	0,05	0,25	-
2 Schwefeldioxid	empfindlich	0,08	0,40	-
Stickstoffdioxid		0,35	-	6,00
3 Schwefeldioxid	weniger empfindlich	0,12	0,60	-

Je nach Komponente und Meßstelle liegt der Mittelwert mehr oder weniger über dem 50-Perzentil der Halbstundenmittelwerte, d. h., der Mittelwert wird meist in deutlich mehr als 50 % der Zeit unterschritten. Das 98-Perzentil (IW 2) kann in 2 % der Zeit überschritten werden. Wenn z. B. das gemessene oder errechnete 98-Perzentil gleich dem 1/2-h-MIK ist, so bedeutet dies, daß dieser Wert in mehr als 350 Halbstunden eines Jahres überschritten werden kann.

13) Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz-BImSchG), Neufassung vom 14. Mai 1990 (BGBl. I S. 880), zuletzt geändert am 10. 12. 1990 (BGBl. I S. 2634)

5. Möglichkeiten zur Minderung der Immissionen

5.1 Art der Beeinflussung

Die vom Verkehr auf einer Straße ausgehenden Luftverunreinigungen lassen sich auf zwei Arten beeinflussen:

- Reduzierung der Quellstärke
- Beeinflussung der Schadstoffausbreitung.

Die Quellstärke hängt von der Verkehrsstärke, dem Lkw-Anteil, der Fahrgeschwindigkeit und den spezifischen Emissionsfaktoren für die einzelnen Schadstoffkomponenten ab. Sie kann, von Maßnahmen an den Fahrzeugen abgesehen, durch die Veränderung des Verkehrsflusses sowie Geschwindigkeitsbeschränkungen, Verkehrsverbote, Verkehrsbeschränkungen für bestimmte Verkehrsarten und durch Verkehrsverlagerungen beeinflusst werden. Diese straßenverkehrsrechtlichen Maßnahmen dürften in erster Linie im innerstädtischen Bereich von Bedeutung sein.

Die Beeinflussung der Schadstoffausbreitung kann durch die Lage der Straße (Hoch-, Gleich-, Tieflage), durch gezielte Anpflanzung von Bäumen und Sträuchern entlang der Straße und durch Lärmschutzwälle und -wände erfolgen. Diese Maßnahmen, die nicht beim Stickstoffdioxid wirksam sind, dürften in erster Linie Anwendung im Außerortsbereich finden.

5.2 Reduzierung der Quellstärke

Die Emissionsminderung, die durch die Veränderung des Verkehrsflusses (Einrichtung von „Grünen Wellen“, Sonderprogrammen oder verkehrsabhängigen Steuerungen von Lichtzeichenanlagen) und bei Geschwindigkeitsbeschränkungen erzielt werden kann, geht aus den Bildern C 1 hervor.

5.3 Beeinflussung der Schadstoffausbreitung

5.3.1 Lage der Straße

Über den Einfluß der Lage einer Straße (Damm-, Gleich-, Tieflage) auf das Ausbreitungsverhalten der Schadstoffkomponenten und damit über die Immissionskonzentrationen liegen empirische Untersuchungen bisher nur in begrenztem Umfang vor.

Untersuchungen¹⁴⁾ zum Ausbreitungsverhalten von Stickstoffmonoxid neben Autobahnen ergaben bei unterschiedlichen Straßenlagen keine signifikanten Unterschiede, wenn bei Mitwindrichtung über alle Windgeschwindigkeitsbereiche gemittelt wurde. Bei niedrigen Windgeschwindigkeiten (< 3 m/s) war die Schadstoffkonzentration allerdings im Nahbereich von Autobahnen (< 60 m) bei der Damm-, Gleich- und Tieflage unterschiedlich hoch. Es ergaben sich deutliche Vorteile der Dammlage gegenüber der Tief- und Gleichlage, wobei letztere sich im Mittel als ungünstigste Lösung ergeben hat (siehe Bild 6).

14) Esser, J.: Schadstoffkonzentrationen im Nahbereich von Autobahnen in Abhängigkeit von Verkehr und Meteorologie, Umwelt (1982) 3, S. 158-164

15) Jost, P., Rümmler, R.: Anwendung von vereinfachten Ausbreitungsmodellen in der Planungsphase von Fernstraßenneubauvorhaben in Abgasbelastungen durch den Kraftfahrzeugverkehr im Nahbereich verkehrsreicher Straßen, Bundesminister für Forschung und Technologie/TÜV-Rheinland: Abgasbelastungen durch den Kraftfahrzeugverkehr im Nahbereich verkehrsreicher Straßen, Kolloquiumsbericht 1982, Köln

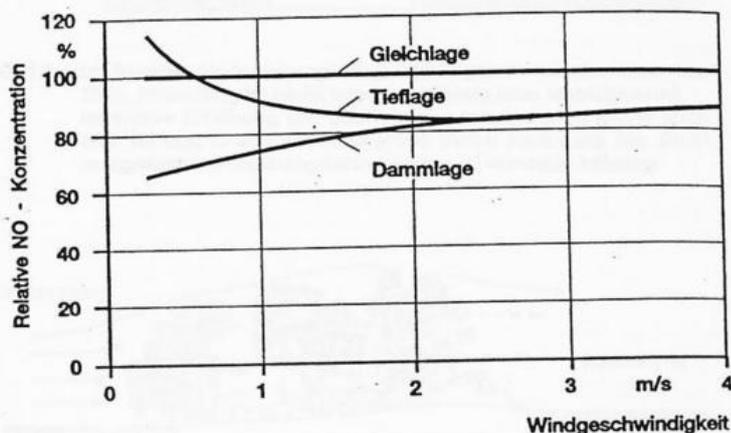


Bild 6: Beispiel für die relative NO-Konzentration für unterschiedliche Straßenlagen in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (Mitwindsituation).

Zu ähnlichen Ergebnissen haben auch Windkanaluntersuchungen¹⁵⁾ geführt, bei denen die relative Schadstoffabnahme an einer Autobahn in Gleichlage mit der an einer Autobahn in Dammlage verglichen wurde.

Bei den Versuchen herrschten folgende Bedingungen: Die Anströmgeschwindigkeit betrug 2 m/s, der Anströmwinkel 90° und der Modellmaßstab 1:200 (Dammhöhe 10 m, Kronenbreite 30 m, Breite des Dammfußes 50 m). Die Konzentrationen wurden mit der Konzentration der in Gleichlage geführten Autobahn normiert. Bei den Untersuchungen war die relative Schadstoffbelastung bis zu einem Abstand von etwa 30 m vom Fahrbahnrand bei der Autobahn in Gleichlage etwa doppelt so hoch wie bei der Autobahn in Dammlage (siehe Bild 7). Da die Untersuchungen bei idealisierten Ausbreitungsbedingungen durchgeführt wurden, sind die in den Bildern 7 und 1 dargestellten Ergebnisse allerdings nur in der Tendenz miteinander vergleichbar.

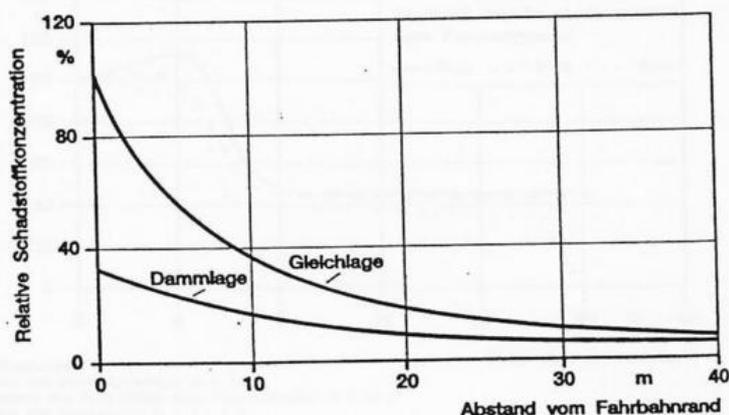


Bild 7: Beispiel für die relative Schadstoffkonzentration an einer Autobahn in Gleich- und Dammlage (Windkanaluntersuchungen mit idealisierten Ausbreitungsbedingungen; Ergebnis ist nur in der Tendenz mit Bild 1 vergleichbar).

5.3.2 Anpflanzungen von Bäumen und Sträuchern entlang der Straße

Anpflanzungen von Bäumen und Sträuchern entlang der Straße können die Immissionssituation im Nahbereich verbessern¹⁶⁾. Allerdings führt nicht jede Form der Anpflanzung zur Schadstoffminderung. Wesentlich ist neben der Tiefe einer Anpflanzung ihre Siebwirksamkeit. Überträgt man die Ergebnisse von Windkanaluntersuchungen¹⁷⁾ in die Praxis, so kann es zu einem Zielkonflikt kommen, wenn eine Anpflanzung staub- und gasförmige Luftverunreinigungen gleichermaßen reduzieren soll. Danach können Pflanzungen je nach ihrer Form Gase und Stäube u. U. entgegengesetzt beeinflussen.

Die Reduzierung der Windgeschwindigkeit durch Anpflanzungen trägt dazu bei, daß sich die Menge der niedergeschlagenen Stäube nahe der Straße erhöht. Die beste Wirkung wird im allgemeinen durch eine Gehölzpflanzung mittlerer Winddurchlässigkeit erreicht.

Um gleichzeitig positive Auswirkungen auf die Immissionskonzentrationen von Stäuben und Gasen – im Sommer wie im Winter – zu erzielen, empfiehlt es sich, breite Anpflanzungen (>10 m) anzulegen.

Die Bilder 8a–8c zeigen Aufbau und Anordnung von Gehölzpflanzungen an Straßen zur Eindämmung verkehrsbedingter Luftverunreinigungen.

Untersuchungen zur Wirkung verschiedener Gebüschanordnungen wurden im Windkanal¹⁸⁾ durchgeführt. In Bild 9 ist der Einfluß verschiedener Gehölztiefen dargestellt. Bei geringer Tiefenausdehnung kann es zu Konzentrationserhöhungen am Immissionsort kommen. Bei Tiefenausdehnungen von etwa 10 m und mehr treten erhebliche Konzentrationsminderungen auf. Den Einfluß der Winddurchlässigkeit von Gehölz auf die Schadstoffausbreitung verdeutlicht beispielhaft Bild 10. Die Darstellung zeigt, daß bei gerade nicht mehr durchsichtigem Gehölz im Nahbereich Konzentrationserhöhungen bis 50% auftreten können.

Zum Einfluß von Laubgehölzstreifen beidseits der Trasse auf die Ausbreitung gasförmiger Schadstoffe liegen Feldmessungen¹⁹⁾ an einem ebenerdigen Autobahnabschnitt vor. Auf der Meßseite hatte der Laubwaldstreifen eine Tiefe von etwa 50 m, so daß die zweite 12 m entfernte Meßstelle innerhalb des Waldstreifens lag (siehe Bild 11). Für diesen Fall ergab sich in Bodennähe eine deutlich mit zunehmendem Abstand stärkere Abnahme der NO-Konzentration gegenüber freier Ausbreitung.

Weiterhin wurden vergleichende Messungen an einer ca. 1,2 km langen, geraden Autobahnstrecke durchgeführt. Für einen Teilabschnitt war freie Ausbreitung vorhanden, der andere Teilabschnitt war mit einem schmalen Gehölzstreifen bewachsen.

Wie in Bild 12 dargestellt, erhöht sich die NO-Konzentration um 20 bis 45% vor und hinter einem 2 bis 3 m hohen und ca. 1,5 m breiten Gehölzstreifen.

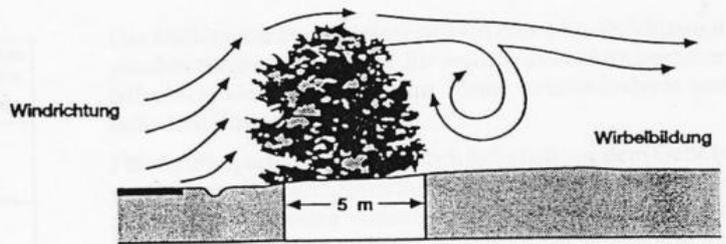


Bild 8a: Im Sommer Reduzierung der gasförmigen Immissionen um ca. 20%, (Pflanzung ist nicht winddurchlässig bzw. siebwirksam). Im Winter Erhöhung der gasförmigen Immissionen (siehe auch Bild 10) und Grobstaubablagerung durch Änderung des Strömungsfeldes (Pflanzung siebwirksam, da winddurchlässig).

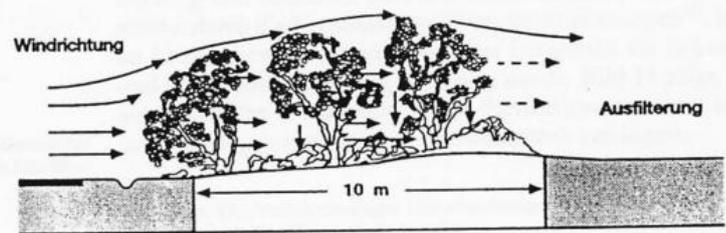


Bild 8b: Reduzierung der Immissionen um etwa 60% möglich. Im Sommer sehr gute, im Winter reduzierte Staubfilterung.

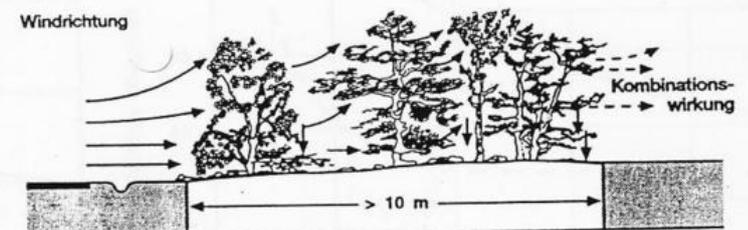
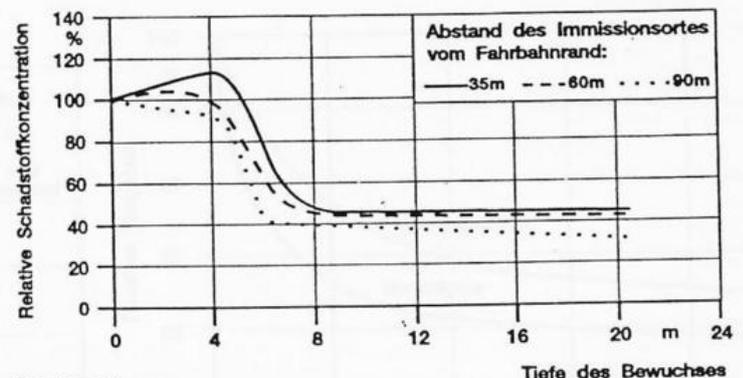


Bild 8c: Gehölzpflanzung aus Laub- und Nadelgehölzen aufgebaut. Reduzierungen der Immissionen generell um etwa 60% möglich. Im Sommer wie im Winter sehr gute Staubfilterung durch Deposition. Keine Erhöhung gasförmiger Immissionen im Winter wegen der zusätzlichen Pflanzung von Nadelgehölzen.



Erläuterungen:
 Höhe des Immissionsortes: $H = 2$ m
 Abstand des Bewuchses vom Fahrbahnrand: $s = 10$ m
 Höhe des Bewuchses: $h = 4 - 6$ m
 Winddurchlässigkeit ($t = 4$ m): $w = 70 - 80$ % (unbelaubt)
 Tiefe des Bewuchses $t = 0$ & freie Schadstoffausbreitung

Bild 9: Beispiel für den Einfluß der Tiefe des Bewuchses auf die Schadstoffkonzentration bei drei verschiedenen Abständen vom Fahrbahnrand¹⁸⁾

16) Rümmler, R.: Grüne Staubfilter, aus Laubgehölzen aufgebaut, TASPO-Magazin Nr. 4, S. 24–27, 1984, Braunschweig

17) Brilon, W.; Niemann, H.-J.; Romberg, E.: Windkanaluntersuchungen zur Ausbreitung von Abgasen an Autobahnen, Straßenverkehrstechnik 31 (1987), 4, S. 122–133

18) Romberg, E.: Windkanalstudien über den Einfluß von Verkehr, Immissionsschutzhecken und Immissionsschutzbauwerken auf die Abgasausbreitung an Straßen. Straßen und Verkehr 2000, International Road and Traffic Conference 6.–9. Sept. 1988, Proc. Vol 5, Seiten 53–58

19) Esser, J.: Zum Einfluß von Gehölz und Lärmschutzwänden am Straßenrand auf die Abgasausbreitung, Straßenverkehrstechnik 29 (1985), 3, S. 90–94

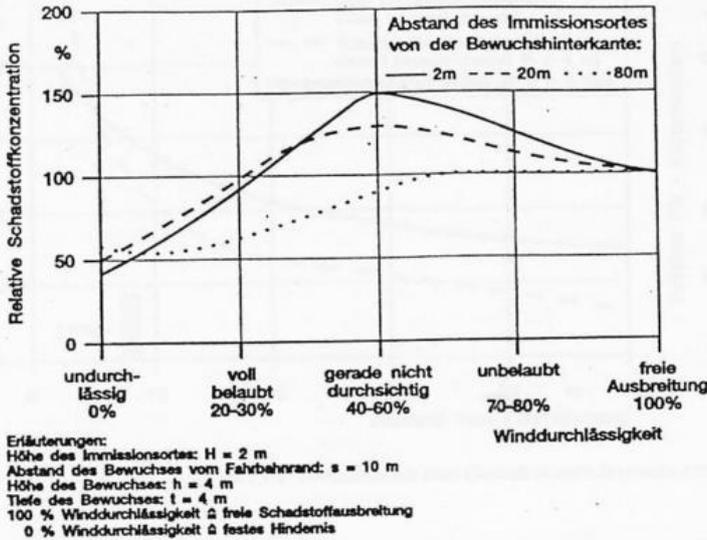


Bild 10: Beispiel für den Einfluß der Winddurchlässigkeit von Bewuchs auf die Schadstoffkonzentration bei drei verschiedenen Abständen vom Fahrbahnrand¹⁸⁾

Die Meßergebnisse beziehen sich auf eine Mitwindsituation (Windgeschwindigkeit $> 1,5\text{ m/s}$). Sie wurden sowohl im Sommer bei voll belaubtem Gehölz als auch im Winter in unbelaubtem und ausgelichtetem Zustand gewonnen.

Für die Bleipartikeln ergaben sich lediglich vor dem Gehölzstreifen signifikante Belastungserhöhungen. Dagegen konnten im zu schützenden Bereich keine statistisch gesicherten Konzentrationsunterschiede festgestellt werden. Das scheint im Widerspruch zu Feldmessungen²⁰⁾ zu stehen, bei denen in Moosproben eine deutliche Bleireduzierung schon bei niedrigem Straßenrandbewuchs gegenüber freier Ausbreitung gefunden wurde (siehe Bild 13). Dieser Effekt kann dadurch erklärt werden, daß es sich in Bild 14 um Analysewerte der im Staubbiederschlag enthaltenen, relativ großen und schweren Partikeln handelt, während sich bleihaltiger Schwebstaub gasähnlich verhält. Das führt zum Teil zu der geringen Filterwirkung von schmalen Gehölzstreifen. Unterstützt wird diese Annahme durch die Ergebnisse von Vergleichsmessungen¹⁹⁾, bei denen an identischen Immissionsorten der Bleigehalt im Schwebstaub und im Staubbiederschlag bestimmt wurde. Bild 14 zeigt, daß sich auch unter freier Ausbreitung die Partikelkonzentration im Staubbiederschlag gegenüber dem Schwebestaub verringert.

20) Keller, Th.: Verkehrsbedingte Luftverunreinigungen und Vegetation, Garten und Landschaft, 84 (1974), 10, S. 547-550

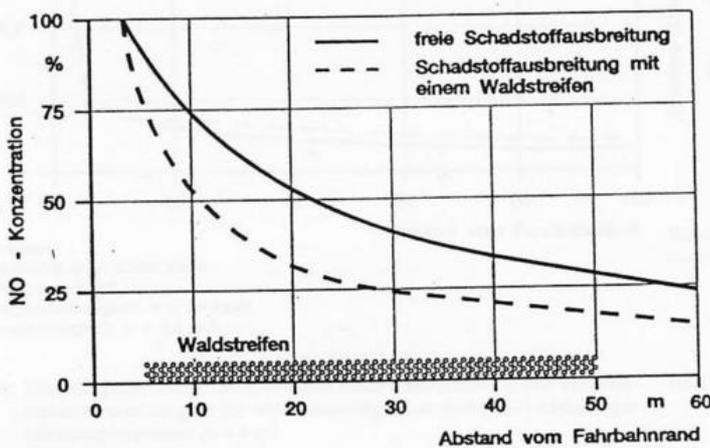


Bild 11: Beispiel für den Einfluß eines Waldstreifens auf die NO-Konzentration

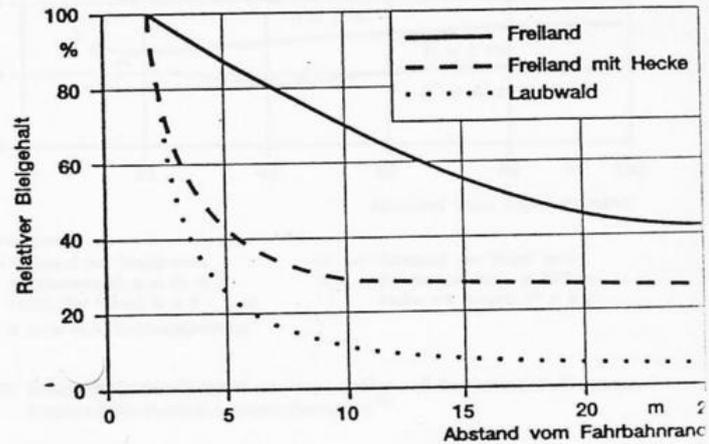


Bild 13: Beispiel für den Einfluß von Hecken und Laubwald auf den relativen Bleigehalt von Moosproben (100% = Bleigehalt am Fahrbahnrand)

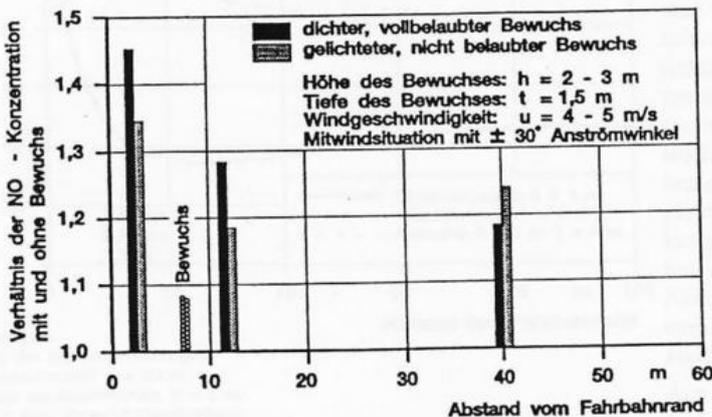


Bild 12: Beispiel für den Einfluß der Bewuchsart auf die NO-Konzentration

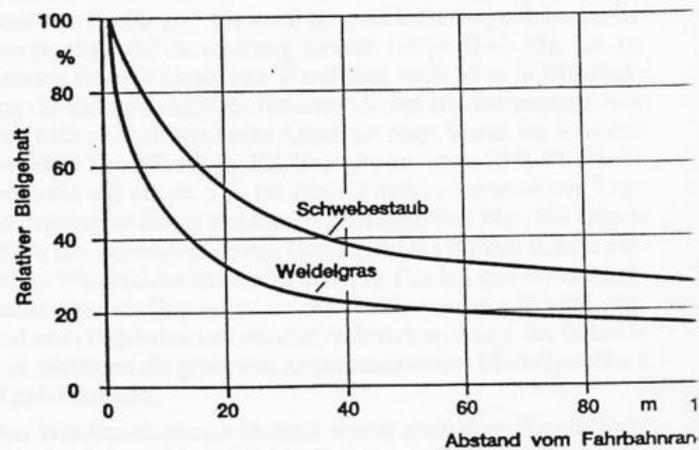


Bild 14: Beispiel für die Abnahme des relativen Bleigehaltes mit wachsendem Abstand vom Fahrbahnrand (100% = Bleigehalt am Fahrbahnrand)

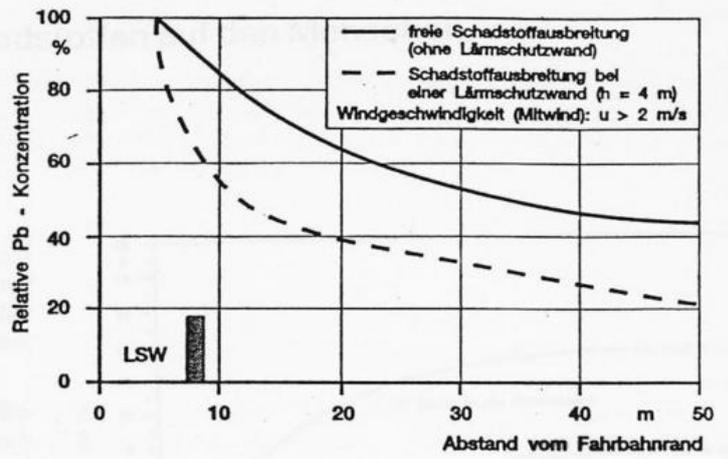
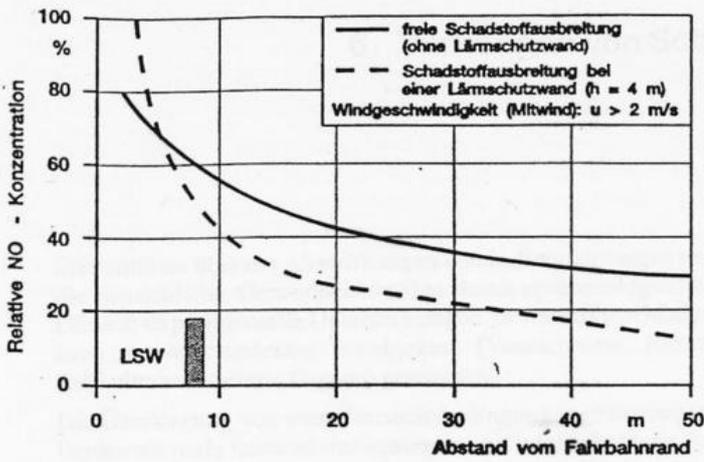
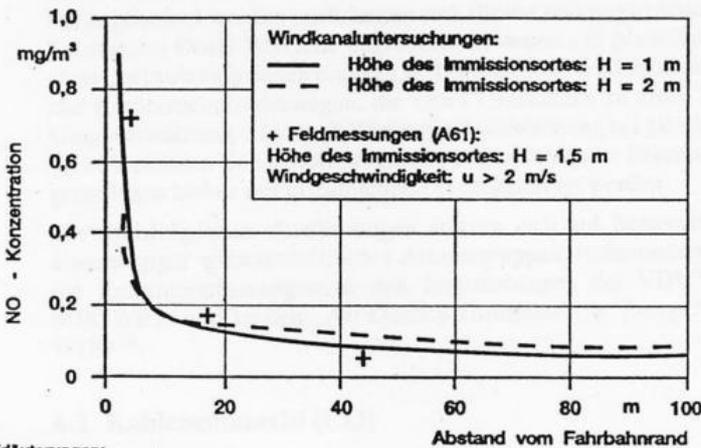
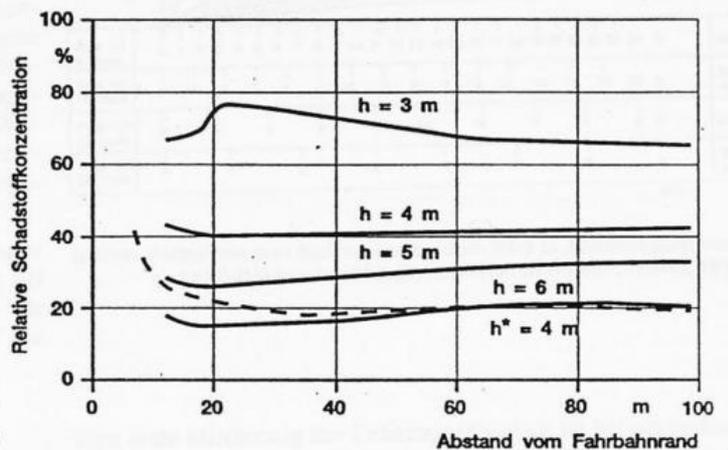


Bild 15: Beispiele für den Einfluß einer Lärmschutzwand auf die NO - und Pb-Konzentration



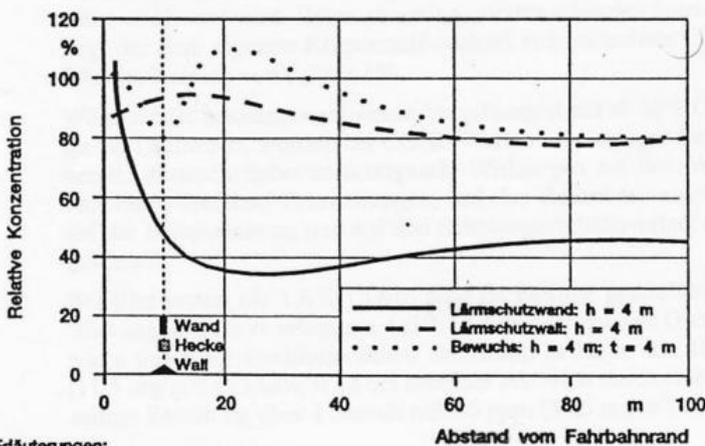
Erläuterungen:
 Verkehrsstärke: $M = 3.000$ Kfz/h
 Lkw-Anteil: $p = 20$ %
 Verkehrsgeschwindigkeit: $v = 90$ km/h
 Windgeschwindigkeit: $u = 3,5$ m/s

Bild 16: Vergleich der NO-Konzentration einer Feldmessung mit Windkanaluntersuchungen für eine 4streifige Autobahn mit einseitiger Lärmschutzwand ($h = 4$ m)



Erläuterungen:
 — Abstand der Wand vom Fahrbahnrand: $s = 10$ m
 — Abstand der Wand vom Fahrbahnrand: $s = 3,75$ m
 Höhe der Wand: $h = 3 - 6$ m
 Höhe der Wand: $h^* = 4$ m
 100 % $\hat{=}$ freie Schadstoffausbreitung

Bild 18: Beispiel für den Einfluß der Wandhöhe auf die Schadstoffkonzentration (Windkanaluntersuchungen)¹⁸⁾



Erläuterungen:
 Abstand der Schutzrichtungen vom Fahrbahnrand: $s = 10$ m
 Höhe des Immissionsortes: $H = 2$ m
 100 % $\hat{=}$ freie Schadstoffausbreitung

Bild 17: Beispiel für den Einfluß von Lärmschutzwänden, -wällen und Bewuchs auf die Schadstoffausbreitung (Windkanaluntersuchungen)

5.3.3 Einfluß von Lärmschutzwänden

Feldmessungen¹⁹⁾ an einem Autobahnabschnitt mit einseitiger, 500 m langer und 4 m hoher Lärmschutzwand haben ergeben, daß die Wand sowohl für gas- als auch für partikelförmige Schadstoffe eine ausgeprägte Schutzwirkung besitzt (siehe Bild 15). Im zu schützenden Bereich hinter der Wand sind nach 50 m in Mitwindrichtung die mittleren Stickstoffmonoxid- und Bleikonzentrationen nur noch halb so hoch wie beim Abschnitt ohne Wand. Im Straßenraum ergeben sich allerdings Erhöhungen um etwa 25 % für Stickstoffmonoxid und um ca. 5 % für Blei. Windkanaluntersuchungen¹⁷⁾ haben die Ergebnisse dieser Felduntersuchungen bestätigt. Sie zeigen gleichfalls die gegenüber einem Gehölzstreifen höhere Schutzwirkung einer Wand (siehe Bilder 16 und 17). Die bei den Windkanaluntersuchungen im Gegensatz zu den Feldmessungen in größerem Abstand vom Fahrbahnrand ermittelte Schutzwirkung des Gehölzstreifens dürfte auf die größeren Abmessungen des Modellgehölzes zurückzuführen sein.

Aus den Windkanaluntersuchungen wurde auch eine Wandhöhenfunktion abgeleitet (siehe Bild 18). Dabei wurden die Abstände der Wand vom Straßenrand a_w und die Wandhöhe h_w variiert. Die Ergebnisse zeigen, daß erst ab einer Wandhöhe von etwa 3 m eine nennenswerte Schutzwirkung einsetzt.

6. Wirkungen von Schadstoffen auf den Menschen

Erkenntnisse über die Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf die menschliche Gesundheit werden durch epidemiologische und klinisch-experimentelle Untersuchungen, in verstärktem Maße aber auch an verschiedenen Testobjekten (Versuchstiere, Bakterien, Zellkulturen, isolierte Organe) gewonnen.

Die Übertragung von unter Versuchsbedingungen gewonnenen Befunden als reale Immissionssituationen mit ungleichartigen Schadstoffprofilen bleibt im Sinne der angestrebten Gefährdungsvorhersage noch problematisch, ist jedoch mit dem Ziel eines vorbeugenden Gesundheitsschutzes erforderlich.

Mit Ausnahme der Schadstoffe, denen ein krebserzeugendes Potential zugeordnet werden muß, lassen sich für die wirkungsrelevanten Substanzen Dosis-Bereiche abgrenzen, in denen mit gesundheitlichen Beeinträchtigungen nicht zu rechnen ist. Dabei können mögliche Kombinationswirkungen, die unter Umständen zu einer Wirkungsverstärkung oder auch Wirkungsabschwächung bei gleichzeitig auftretenden Schadstoffen führen, wegen fehlender Erkenntnisgrundlagen bisher nur unzureichend berücksichtigt werden.

Die nachfolgenden Ausführungen stützen sich auf Bewertungen einschlägiger wissenschaftlicher Arbeitsgruppen, insbesondere auf die Zusammenfassungen in den Begründungen des VDI²¹⁾ für MIK-Werte und in den „Air Quality Guidelines for Europe“ der WHO²²⁾.

6.1 Kohlenmonoxid (CO)

Kohlenmonoxid (CO) ist ein farb-, geschmack- und geruchloses Gas. Nach Einatmung CO-haltiger Luft kommt es im Blut wegen der hohen Affinität von CO zum Blutfarbstoff Hämoglobin zeit-, konzentrations- und aktivitätsabhängig zur Bildung von Carboxyhämoglobin (COHb), das für den Sauerstofftransport völlig ausscheidet. Der Anteil des so gebundenen CO wird in % COHb angegeben. Die Bindung ist reversibel, bei unverändert andauernder Exposition stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein. Darüber hinaus verändert COHb die Dissoziationsverhältnisse, wodurch auch die Sauerstoffabgabe des normal beladenen Hämoglobins an die Gewebe erschwert wird. Beim gesunden, nichttrauchenden Menschen liegt der dem eigenen Körperstoffwechsel zuzurechnende COHb-Wert im Bereich von 0,5 bis 1 %.

Während die bekannten schweren Vergiftungen erst ab 50 % COHb im Blut auftreten, wurden bei COHb-Werten von weniger als 10 % bereits gesundheitsbeeinträchtigende Wirkungen auf den Verlauf von Herz-Kreislauf-Erkrankungen, auf das Zentralnervensystem, auf die Blutgerinnung und auf den Schwangerschaftsverlauf nachgewiesen.

Bei Blutwerten bis 1,6 % COHb sind nachteilige gesundheitliche Wirkungen nicht zu erkennen. 1,6 % COHb steht etwa im Gleichgewicht mit einer kontinuierlichen Belastung in Höhe von 10 ppm (11,5 mg/m³) CO bzw. wird bei erhöhter Aktivität durch eine kurzzeitige Belastung über 1 Stunde mit 30 ppm (34,5 mg/m³) erreicht.

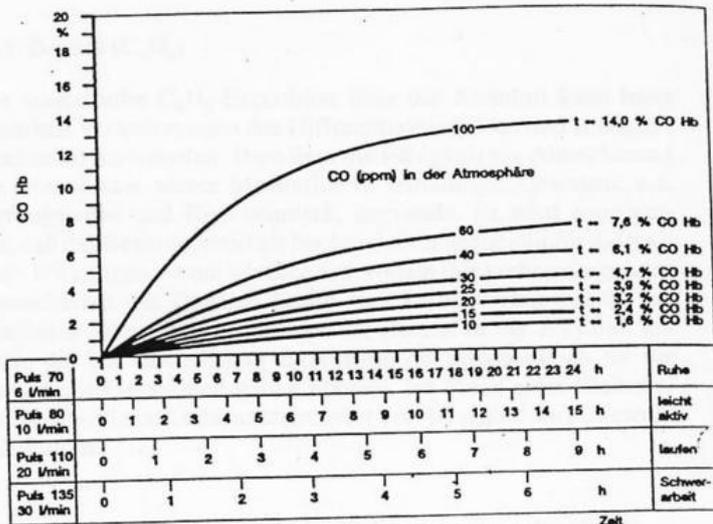


Bild 19: Aufnahme von Kohlenmonoxid im Blut in Abhängigkeit von Zeit und Aktivität (nach WHO, Environmental Health Criteria, 1979)

Eine erste Minderung der Leistungsfähigkeit ist bei gesunden Personen und hoher körperlicher Aktivität ab 4,5 % COHb zu erwarten. Personen mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen reagierten dagegen bereits im Bereich von 3 % COHb mit pektanginösen Beschwerden. Entsprechend dem Ergebnis der Sachverständigenanhörung der Bundesregierung (1978) ist ein umweltbedingter Anstieg des COHb-Spiegels auf Werte über 2,4 % durch entsprechende rechtliche Regelungen zu vermeiden²³⁾.

Wegen der Vielzahl der zu berücksichtigenden Parameter (siehe Bild 19) ist eine Voraussage des COHb-Wertes auf der alleinigen Grundlage der Einwirkungskonzentration nicht möglich. 3 % COHb werden z. B. bei leichter Arbeit und einer Luftbelastung mit 20 bis 25 ppm (23 bis 29 mg/m³) über 12 Stunden erreicht, während bei nur einstündiger Einwirkung eine CO-Konzentration von 80 bis 90 ppm (92 bis 104 mg/m³) zum gleichen Endpunkt führen würde. Als Leitwerte zur Beurteilung von CO-Immissionen werden genannt:

- 100 mg/m³ für 15 Minuten
- 60 mg/m³ für 30 Minuten
- 30 mg/m³ für 1 Stunde
- 10 mg/m³ für 8–24 Stunden

6.2 Stickoxide (NO_x)

Unter den Stickoxiden (NO_x) ist Stickstoffdioxid (NO₂) unmittelbar von hygienischer Bedeutung, während die Umweltrelevanz des Stickstoffmonoxids (NO) und weiterer Oxide in der Vorstufenfunktion für die Bildung von NO₂ und Ozon zu sehen ist (siehe Abschnitt 6.6).

Stickstoffdioxid ist ein Reizgas mit stechend stickigem Geruch, nach Einatmung vorwiegend in der Lungenperipherie zur Wirkung kommt. Seine chemische Aggressivität (ungesättigtes Radikal) kann schnelle Schädigungen der Schleimhäute des Atemtraktes

21) Verein Deutscher Ingenieure (VDI) 2310: Maximale Immissionswerte zum Schutze des Menschen

22) Weltgesundheitsorganisation (WHO): Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series No. 23, 1987

23) BMU, 1987: Umweltpolitik – Auswirkungen der Luftverunreinigungen auf die menschliche Gesundheit

der Alveolaroberflächen bewirken. Während gesundheitliche Beeinträchtigungen im Konzentrationsbereich über $1,88 \text{ mg/m}^3$ (1 ppm) unbestritten sind, bleibt das Gesundheitsrisiko hinsichtlich der in der Umwelt auftretenden Konzentrationen unklar.

Biochemische Veränderungen, die im Tierversuch bereits nach Einwirkung von $0,38 \text{ mg/m}^3$ Stickstoffdioxid beobachtet wurden, müssen als frühe Hinweise auf Zellschädigungen gewertet werden, aus denen deutliche Erkrankungen hervorgehen können. Auch morphologische Veränderungen von Zellstrukturen beginnen konzentrations- und zeitabhängig bereits im Bereich unter $1,88 \text{ mg/m}^3$ und bleiben teilweise irreversibel. Am Menschen wurden geringfügige Änderungen einzelner Lungenfunktionsparameter ab ca. $0,5 \text{ mg/m}^3$ festgestellt, wenn diese Konzentration über mehrere Stunden eingeatmet wurde. Dabei unterscheiden sich die Ergebnisse der Untersuchungen an sensiblen Probanden wie z. B. Bronchitikern nicht eindeutig von den an Gesunden gewonnenen Daten.

Nachteilige Wirkungen durch Stickstoffdioxid sind nach derzeitiger Beurteilung unter Einbeziehung von Risikogruppen zu vermeiden, wenn die einstündige Exposition Konzentrationen von $0,2 \text{ mg/m}^3$ nicht überschreitet²³⁾. Dabei sollte der Mittelwert über 24 Stunden unter $0,1$ bis $0,15 \text{ mg/m}^3$ liegen. Die gesundheitliche Relevanz längerer Einwirkungszeiten bei niedrigen Konzentrationen ist derzeit nicht bewertbar, da die hierzu vorliegenden Wirkungsaussagen im wesentlichen durch kurzzeitige Belastungen im gleichen Bewertungszeitraum zu erklären sind.

6.3 Schwefeldioxid (SO₂)

Die Immissionsbelastung durch Schwefeldioxid (SO₂) ist von weittragender Bedeutung für die Ausbildung von Gesundheits- und Umweltschäden. Hieran sind jedoch die geringen SO₂-Emissionen aus dem Kraftfahrzeugverkehr nicht wesentlich beteiligt.

6.4 Blei (Pb)

Bleiverbindungen gelangen sowohl über den Atemtrakt als auch über den Magen-Darm-Trakt in den menschlichen Körper. Hierbei kommt heute den bereits in der Umwelt deponierten Bleiimmissionen besondere Bedeutung zu, so daß die Aufnahme über die Nahrung überwiegt. Die Belastung über die Atemluft wird sich mit der vermehrten Verwendung unverbleiter Kraftstoffe verringern.

Die toxische Wirkung von Blei beruht, soweit bekannt, auf der Inaktivierung verschiedener Enzyme, wodurch vor allem die Synthese des Hämoglobins gehemmt wird. Blei kann ungehindert die Plazenta passieren und so bereits den embryonalen Kreislauf erreichen. Das Zentralnervensystem von Föten und Kindern bzw. das periphere Nervensystem von Erwachsenen weisen erhöhte Empfindlichkeiten gegenüber Bleibelastungen auf.

Für die Wirkungsausprägung ist die Gesamt-Bleiaufnahme entscheidend. Die duldbare Aufnahmemenge wird zwischen $0,02 \text{ mg/kg}$ Körpergewicht und Woche (für Säuglinge) und $0,05 \text{ mg/kg}$ Körpergewicht und Woche (für Erwachsene) angegeben. Wegen des begrenzten Einflusses der Atemluftkonzentration auf die Gesamtaufnahme ist die alleinige Kontrolle des Luftbleigehaltes unzureichend. Als Leitwert wurden $0,0005$ bis $0,002 \text{ mg/m}^3$ Blei im Jahresmittelwert für die Atemluft vorgeschlagen²²⁾.

6.5 Kohlenwasserstoffe (HC)

Die in der Atmosphäre nachgewiesenen HC-Konzentrationen setzen sich in Abhängigkeit vom Meßort aus einer Vielzahl von Einzelkomponenten mit unterschiedlichen Anteilen an der Gesamtmission zusammen. Eine wirkungsseitige Beurteilung der Gesamtkohlenwasserstoffe ist daher weder möglich noch sinnvoll.

Auf die Bedeutung der Vorstufenfunktion für die Bildung photochemischer Oxidantien wird hingewiesen.

Aus heutiger Sicht kommen den Aromaten (insbesondere Benzol), Formaldehyd und einigen polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen als Bestandteile von Kraftfahrzeugabgasen künftig besondere Bedeutung zu.

6.5.1 Benzol (C₆H₆)

Eine wiederholte C₆H₆-Exposition über die Atemluft kann beim Menschen Veränderungen des Differentialblutbildes und Blutkrebs (Leukämie) hervorrufen. Dem liegt die Fähigkeit zur Anreicherung von Benzol bzw. seiner Metabolite in fetthaltigen Geweben, u. a. Nervengewebe und Knochenmark, zugrunde. Es wird angenommen, daß das Benzolepoxid als hochreaktiver Metabolit für die toxischen Wirkungen verantwortlich ist. Wegen der krebserzeugenden Eigenschaften des Benzols lassen sich keine wirkungsseitig begründbaren Grenzkonzentrationen für Benzol in der Atemluft angeben, die bei lebenslanger Exposition als unbedenklich für die menschliche Gesundheit gelten können. Im Sinne einer Risikobegrenzung wird ein Konzentrationswert von 10 µg/m^3 im Jahresmittel diskutiert.

6.5.2 Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)

Die Substanzklasse der Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH) umfaßt mehrere hundert Verbindungen, von denen einige in dem starken Verdacht stehen, auch für den Menschen krebserzeugend zu sein. Im Tierversuch (Implantation) werden mehr als 80% der lungentumor erzeugenden Wirkung von Autoabgaspartikeln bzw. der angelagerten Kohlenwasserstoffe durch Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe mit mehr als 3 Ringen erklärt; diese Ergebnisse wurden durch Inhalationsversuche nicht bestätigt.

Das in den Industrienationen vorhandene Stadt-Land-Gefälle in der Lungenkrebsmortalität führte zu der Annahme, daß auch der allgemeinen Luftverunreinigung neben den bekannten Hauptrisikofaktoren (Rauchen, bestimmte Arbeitsplatzbelastungen usw.) ein eigenes Krebsrisiko zuzuerkennen sei. Schon aus methodischen Gründen gibt es hierfür bisher keine zufriedenstellenden Belege. Auch vergleichbar kleine Risiken wären mit einer beträchtlichen Zahl von Erkrankungsfällen verbunden. Die atmosphärische PAH-Belastung ist, wie aus Arbeitsplatzuntersuchungen abgeleitet werden kann, als solcher Risikofaktor zu werten.

Wegen der potentiell krebserzeugenden Eigenschaften einiger PAH lassen sich keine wirkungsseitig begründbaren Grenzkonzentrationen für Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe in der Atemluft angeben, die bei lebenslanger Exposition als unbedenklich für die menschliche Gesundheit gelten können. Im Sinne einer Risikobegrenzung wird eine maximale Luftbelastung in Höhe von $1,3 \text{ ng/m}^3$ ²⁴⁾ für die Indikatormolekül Benzo(a)pyren (Jahresmittel) diskutiert.

6.5.3 Rußpartikeln (PM)

Partikelförmige Emissionen, die in den Abgasen aller Verbrennungsmotoren auftreten, unterscheiden sich in der Masse, Struktur und Zusammensetzung. Extrakte von Otto- und Dieselmotorabgasen erwiesen sich in Kurzzeittestverfahren als mutagen, wobei die auf die Partikelmasse bezogene Aktivität große Unterschiede auf-

24) Abschlußbericht der Arbeitsgruppe „Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen“ des Länderausschusses für Immissionsschutz vom Juli 1991 für die Umweltministerkonferenz.

zeigt. Besondere Aufmerksamkeit haben die hohen Rußpartikel-emissionen von Dieselmotorfahrzeugen erlangt. Im Tierversuch an Ratten wurde eine lungentumorerzeugende Wirkung nach Inhalation partikelhaltiger Dieselmotorabgase eindeutig nachgewiesen. Die bei Partikelkonzentrationen über etwa 2 mg/m^3 eingetretene Wirkung wird teilweise auf die angelagerten Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe, aber auch auf besondere Partikeleigenschaften zurückgeführt. An anderen Tierarten zeigte sich eine krebserzeugende Wirkung bisher nicht oder nicht eindeutig.

Wegen der potentiell krebserzeugenden Eigenschaften von partikelhaltigen Dieselmotoremissionen lassen sich keine wirkungsseitig begründbaren Grenzkonzentrationen für die mit der Partikelphase in Verbindung stehenden Abgaskomponenten angeben, die bei lebenslanger Exposition als unbedenklich für die menschliche Gesundheit gelten können. Im Sinne einer Risikobegrenzung wird eine maximale Luftbelastung in Höhe von $1,5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ diskutiert.

6.5.4 Formaldehyd

Gasförmiges Formaldehyd reizt die Schleimhäute und steht im Verdacht, ein krebserzeugendes Potential auch für den Menschen zu besitzen. Neben Formaldehyd treten weitere Aldehyde im Kraftfahrzeugabgas auf, denen zum Teil eine vergleichbare Reizwirkung zuerkannt werden muß.

Bei langfristig erhöhter Formaldehyd-Exposition besteht offenbar auch ein erhöhtes Risiko, an chronisch-obstruktiven Lungenveränderungen zu erkranken.

Die bisherigen Beurteilungsmaßstäbe für eine Risikobegrenzung orientieren sich an der Meßbarkeitsgrenze für das Umwandlungs- und Ausscheidungsprodukt Formiat im Urin. Für Innenraumbelastungen wurde hieraus ein nicht zu überschreitender Richtwert in

Höhe von $0,12 \text{ mg/m}^3$ ($0,1 \text{ ppm}$) als Risikobegrenzung für Dauerbelastungen abgeleitet. Die Einhaltung dieses Richtwertes schließt nicht aus, daß bei besonders empfindlichen Personen schon bei kurzfristiger Einwirkung dennoch Beschwerden auftreten. Nach Auffassung der WHO sollten Beschwerden durch Innenraumbelastungen nicht auftreten, wenn ein Halbstundenmittelwert von $0,1 \text{ mg/m}^3$ unterschritten bleibt.

Als Orientierung für Belastungsgrenzen in der Atmosphäre werden ein Langzeitwert von $0,03 \text{ mg/m}^3$ und ein Kurzzeitwert von $0,07 \text{ mg/m}^3$ genannt.

6.6 Ozon

Aus Stickoxiden und reaktiven Kohlenwasserstoffen bilden sich unter dem Einfluß der Sonneneinstrahlung photochemische Oxidantien. Wirkungsaussagen werden in der Regel auf die Einzelkomponente Ozon bezogen. Der Kraftfahrzeugverkehr ist eine wesentliche Ursache für weiträumige Ozon-Belastungen. Im straßennahen Bereich selbst treten durch die reduzierende Wirkung des Stickstoffmonoxids geringere Ozonkonzentrationen als in der weiteren Umgebung auf.

Ozon ist ein aggressives Reizgas, das insbesondere die Atemmechanik und den Gasaustausch der Lunge beeinträchtigt. Ebenso wurde eine Empfindlichkeitssteigerung gegenüber anderen Luftschadstoffen nach Ozon-Inhalation beobachtet.

Die Ozonbelastung in der Atemluft sollte wegen der zu erwartenden Gesundheitsbeeinträchtigungen bei besonders empfindlichen Bevölkerungsgruppen eine Konzentration von $0,12 \text{ mg/m}^3$ als Halbstundenmittelwert nicht oder nur kurzfristig überschreiten. Bei Überschreitung einer Konzentration von $0,18 \text{ mg/m}^3$ als 2 Stundenmittel wird zur Zeit vor der Ozonbelastung gewarnt.

7. Bestimmung verschiedener Schadstoffimmissionen an einer Autobahn (Beispiel)

Ausgangssituation

Am Rande eines vorhandenen Wohngebietes mit aufgelockerter Bebauung wird eine Autobahn mit sechs Fahrstreifen geplant.

Ausgangsdaten

Belastung:	DTV	=	50 000 Kfz/24 h
LKW-Anteil:	p	=	21 %
PKW-Geschwindigkeit:	v_{PKW}	=	125 km/h
LKW-Geschwindigkeit:	v_{LKW}	=	80 km/h
Jahresmittelwert der Windgeschwindigkeit:	u	=	3 m/s
Abstand der Bebauung vom Fahrbahnrand:	s	=	30 m

Der Anteil der Jahresstunden, bei dem die Windgeschwindigkeit einen Stundenmittelwert von weniger als 3 m/s erreicht, beträgt nach Auskunft des zuständigen Wetteramtes 40 %, damit liegt Fall I vor.

Gesuchte Größen

Der Jahresmittelwert der Zusatzbelastung von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen und Benzol sowie der Jahresmittelwert und das 98-Perzentil der Zusatz- und Gesamtbelastung für Stickstoffdioxid im Abstand von 30 m.

7.1 Bestimmung des CO-Jahresmittelwertes mit Hilfe der Gleichungen (1) bis (10) für das Bezugsjahr 1985

$$K_1(30) = K_1^* \cdot g(30) \cdot f_{v1} \cdot f_u \quad (1)$$

$$K_1^* = 0,58 \text{ mg/m}^3 \quad (\text{Tabelle 1, Zeile 1, Spalte 2})$$

$$g(30) = 1 - 0,166 \cdot \ln(1 + 30) = 0,43 \quad (2)$$

$$f_{v1} = q_1 \cdot f_d \quad (3)$$

$$q_1 = \frac{1}{e'} \left[e_{\text{PKW}}(v_{\text{PKW}}) \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right) + e_{\text{LKW}}(v_{\text{LKW}}) \cdot \frac{p}{100} \right] \quad (4)$$

$$e' = 14,287 \text{ g/km} \quad (\text{Tabelle 2, Zeile 1, Spalte 7})$$

$$e_{\text{PKW}}(v_{\text{PKW}}) = \left[a_0 \cdot \exp\left(a_1 \cdot \frac{v_{\text{PKW}}}{100}\right) \right] \frac{1}{v_{\text{PKW}}} \quad (7)$$

$$e_{\text{PKW}}(125) = \left[150,5 \cdot \exp\left(2,047 \cdot \frac{125}{100}\right) \right] \frac{1}{125} = 15,555 \text{ g/km} \quad (\text{Tabelle 2, Zeile 1, Spalten 2 u. 3})$$

$$e_{Lkw}(v_{Lkw}) = (a_2 + a_3 \cdot v_{Lkw} + a_4 \cdot v_{Lkw}^2) \cdot \frac{1}{v_{Lkw}} \quad (7b) \quad e_{Lkw}(80) = (210,508 - 0,982 \cdot 80 + 0,0086 \cdot 80^2) \cdot \frac{1}{80} = 2,337 \text{ g/km}$$

$$e_{Lkw}(80) = (252,876 + 1,303 \cdot 80 - 0,0266 \cdot 80^2) \cdot \frac{1}{80} = 2,336 \text{ g/km}$$

(Tabelle 2, Zeile 1, Spalten 4, 5, 6)

$$q_1 = \frac{1}{14,287} \left[15,555 \cdot \left(1 - \frac{21}{100}\right) + 2,336 \cdot \frac{21}{100} \right] = 0,894$$

$$f_d = \frac{DTV}{46000} = \frac{50000}{46000} = 1,087$$

$$f_{v1} = 0,894 \cdot 1,087 = 0,972$$

$$f_u = \frac{3,6}{u} = \frac{3,6}{3} = 1,2$$

$$K_1(30) = 0,58 \cdot 0,43 \cdot 0,972 \cdot 1,2 = 0,291 \text{ mg/m}^3$$

Im Bezugsjahr 1985 beträgt der CO-Jahresmittelwert der Zusatzbelastung **0,291 mg/m³**

7.2 Bestimmung des CO-Jahresmittelwertes mit Hilfe der Gleichungen (1) bis (10) für das Prognosejahr 2000

Zwischenergebnis siehe Abschnitt 7.1

$$f_{v14} = q_{14} \cdot f_d \quad (5)$$

$$q_{14} = \frac{1}{e} \left[e_{PKw}(v_{PKw}) \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right) \cdot r_{14} + e_{Lkw}(v_{Lkw}) \cdot \frac{p}{100} \right] \quad (9)$$

$$r_{14} = 0,24 \text{ (Tabelle 3, Zeile 1, Spalte 2)}$$

$$q_{14} = \frac{1}{14,287} \left[15,555 \cdot \left(1 - \frac{21}{100}\right) \cdot 0,24 + 2,336 \cdot \frac{21}{100} \right] = 0,241$$

$$f_{v14} = 0,241 \cdot 1,087 = 0,262$$

$$k_{14}(30) = 0,58 \cdot 0,43 \cdot 0,262 \cdot 1,2 = 0,078 \text{ mg/m}^3$$

Im Prognosejahr 2000 beträgt der CO-Jahresmittelwert der Zusatzbelastung **0,078 mg/m³**

7.3 Bestimmung des HC-Jahresmittelwertes mit Hilfe der Gleichungen (1) bis (10) für das Bezugsjahr 1985

$$K_2(30) = K_2^* \cdot g(30) \cdot f_{v2} \cdot f_u \quad (1)$$

$$K_2^* = 0,06 \text{ mg/m}^3 \text{ (Tabelle 1, Zeile 2, Spalte 2)}$$

$$g(30) = 1 - 0,166 \ln(1 + 30) = 0,43 \quad (2)$$

$$f_{v2} = q_2 \cdot f_d \quad (5)$$

$$q_2 = \frac{1}{e} \left[e_{PKw}(v_{PKw}) \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right) + e_{Lkw}(v_{Lkw}) \cdot \frac{p}{100} \right] \quad (7)$$

$$e' = 1,360 \text{ g/km (Tabelle 2, Zeile 2, Spalte 7)}$$

$$e_{PKw}(v_{PKw}) = \left[a_0 \cdot \exp\left(a_1 \cdot \frac{v_{PKw}}{100}\right) \right] \cdot \frac{1}{v_{PKw}} \quad (7a)$$

$$e_{PKw}(125) = \left[38,064 \cdot \exp\left(1,100 \cdot \frac{125}{100}\right) \right] \cdot \frac{1}{125} = 1,204 \text{ g/km}$$

(Tabelle 2, Zeile 2, Spalten 2 u. 3)

$$e_{Lkw}(v_{Lkw}) = (a_2 + a_3 \cdot v_{Lkw} + a_4 \cdot v_{Lkw}^2) \cdot \frac{1}{v_{Lkw}} \quad (7b)$$

$$e_{Lkw}(80) = (210,508 - 0,982 \cdot 80 + 0,0086 \cdot 80^2) \cdot \frac{1}{80} = 2,337 \text{ g/km}$$

(Tabelle 2, Zeile 2, Spalten 4, 5, 6)

$$q_2 = \frac{1}{1,360} \left[1,204 \cdot \left(1 - \frac{21}{100}\right) + 2,337 \cdot \frac{21}{100} \right] = 1,060$$

$$f_d = \frac{DTV}{46000} = \frac{50000}{46000} = 1,087 \quad (6)$$

$$f_{v2} = 1,060 \cdot 1,087 = 1,152$$

$$f_u = \frac{3,6}{u} = \frac{3,6}{3} = 1,2 \quad (10)$$

$$K_2(30) = 0,06 \cdot 0,43 \cdot 1,152 \cdot 1,2 = 0,036 \text{ mg/m}^3$$

Im Bezugsjahr 1985 beträgt der HC-Jahresmittelwert der Zusatzbelastung **0,036 mg/m³**

7.4 Bestimmung des C₆H₆-Jahresmittelwertes

7.4.1 Bestimmung mit Hilfe der Gleichungen (1) bis (11) für das Bezugsjahr 1985

Zur Ermittlung der Benzolkonzentration ist die Bestimmung der HC-Konzentration $K_2(s)$ erforderlich. Da dieser Wert im Abschnitt 7.3 bereits ermittelt worden ist, läßt sich der C₆H₆-Jahresmittelwert unmittelbar aus den Gleichungen (3) und (4) berechnen.

$$K_{C_6H_6}(30) = K_{HC}(30) \cdot \left[f_{BPkw} \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right) + f_{BLkw} \cdot \frac{p}{100} \right] \quad (3)$$

$$K_{HC}(30) = 0,036 \text{ mg/m}^3 \text{ (Abschnitt 7.3)}$$

$$f_{BPkw} = 0,0616 - 1,94 \cdot 10^{-4} \cdot v_{PKw} + 1,641 \cdot 10^{-6} \cdot v_{PKw}^2 \quad (4)$$

$$f_{BPkw} = 0,0616 - 1,94 \cdot 10^{-4} \cdot 125 + 1,641 \cdot 10^{-6} \cdot 125^2 = 0,063$$

$$f_{BLkw} = 0,046$$

$$K_{C_6H_6}(30) = 0,036 \cdot \left[0,063 \cdot \left(1 - \frac{21}{100}\right) + 0,046 \cdot \frac{21}{100} \right] = 0,002 \text{ mg/m}^3$$

Im Bezugsjahr 1985 beträgt der C₆H₆-Jahresmittelwert der Zusatzbelastung **0,002 mg/m³**

7.4.2 Bestimmung mit Hilfe des Nomogrammes (Bild 20)

(1) Das Nomogramm ist nur für eine Lkw-Geschwindigkeit von 80 km/h gültig. Bei anderen Lkw-Geschwindigkeiten muß die C₆H₆-Belastung rechnerisch ermittelt werden.

(2) Lösungsweg:

(5) Zunächst errichtet man das Lot auf der Abszisse von Diagramm I bei $p = 21\%$ und verlängert dieses bis zur Linie $v = 125$ km/h. Von diesem Punkt aus fällt man das Lot auf die Ordinate von Diagramm I und verlängert dieses bis zur Linie 50000 Kfz/24 h im Diagramm II, von dort aus fällt man das Lot auf die Abszisse von Diagramm II und verlängert dieses bis zur Linie $u = 3$ m/s im Diagramm III, von dort aus fällt man das Lot auf die Ordinate im Diagramm III und verlängert dieses bis zur Linie 30 Meter in Diagramm IV. Fällt man von diesem Punkt aus das Lot auf die „Konzentrationsachse“ im Diagramm IV, so erhält man als Zusatzbelastung einen Jahresmittelwert von 0,002 mg/m³ Benzol.

Der Weg, auf dem das Nomogramm durchlaufen werden muß, ist für diese Aufgabenstellung in das Nomogramm (siehe Bild 20) als gestrichelte Linie eingetragen.

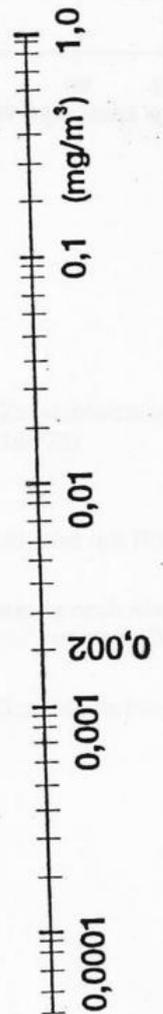
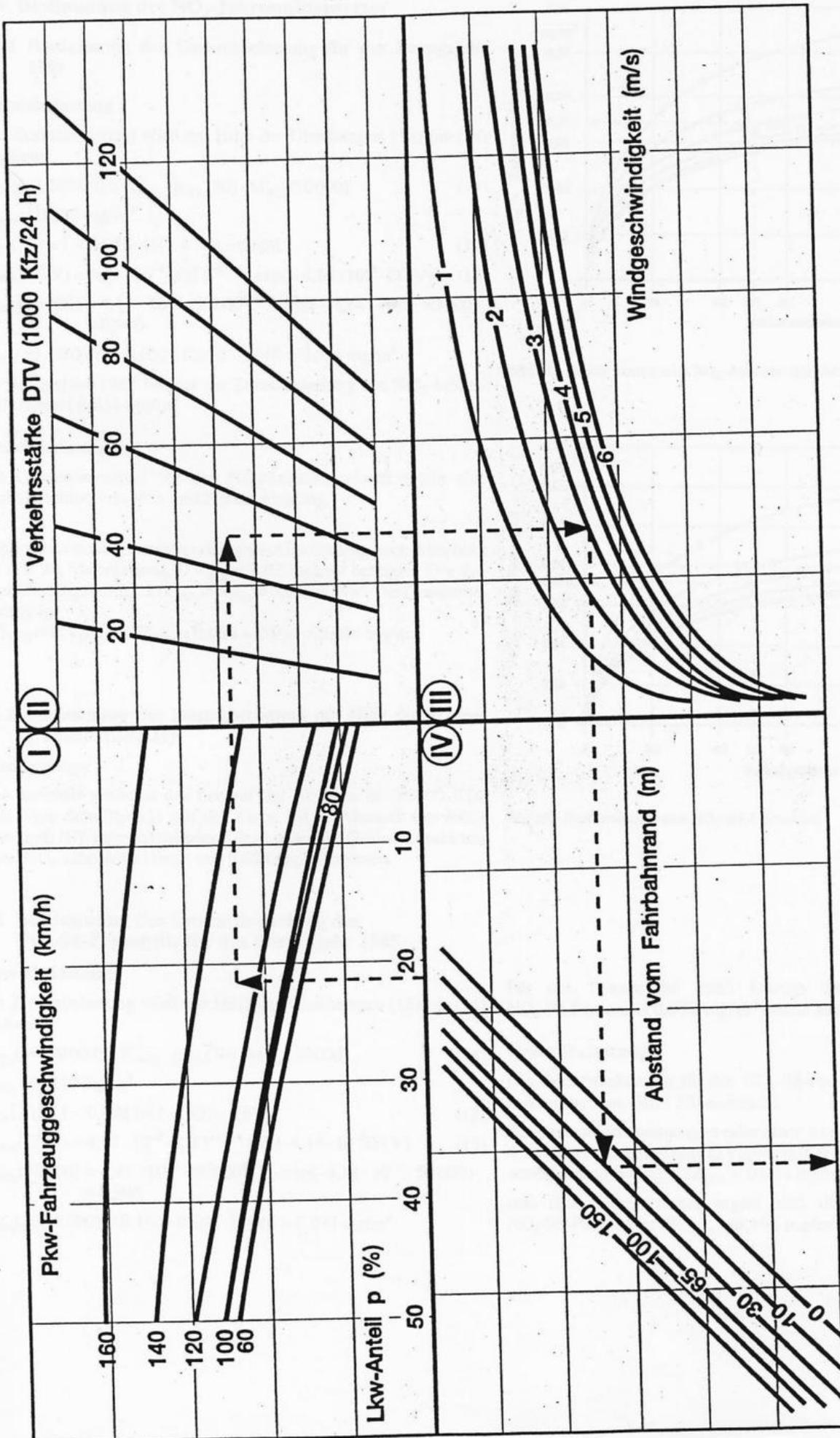


Bild 20: Bestimmung des C₆H₆-Jahresmittelwertes

7.5 Bestimmung des NO₂-Jahresmittelwertes

7.5.1 Bestimmung der Gesamtbelastung für das Bezugsjahr 1985

Zusatzbelastung

Die Zusatzbelastung wird mit Hilfe der Gleichungen (12) bis (14) bestimmt.

$$K_{\text{NO}_2}(30, 50000) = K_{\text{NO}_2}^* \cdot g_{\text{NO}_2}(30) \cdot M_{\text{NO}_2}(50000) \quad (14)$$

$$K_{\text{NO}_2}^* = 0,052 \text{ mg/m}^3$$

$$g_{\text{NO}_2}(30) = 1 - 0,088 \cdot \ln(1 + 30) = 0,698 \quad (12)$$

$$M_{\text{NO}_2}(\text{DTV}) = 4,47 \cdot 10^{-3} \cdot \text{DTV}^{0,514} \cdot \exp(-4,14 \cdot 10^{-6} \cdot \text{DTV}) \quad (13)$$

$$M_{\text{NO}_2}(50000) = 4,47 \cdot 10^{-3} \cdot 50000^{0,514} \cdot \exp(-4,14 \cdot 10^{-6} \cdot 50000) = 0,946$$

$$K_{\text{NO}_2}(30, 50000) = 0,052 \cdot 0,698 \cdot 0,946 = 0,034 \text{ mg/m}^3$$

Im Bezugsjahr 1985 beträgt die Zusatzbelastung des NO₂-Jahresmittelwertes **0,034 mg/m³**

Gesamtbelastung

Die Gesamtbelastung für den NO₂-Jahresmittelwert ergibt sich durch Addition von Vor- und Zusatzbelastung.

Aus Immissionsmessungen oder einer Abschätzung nach Abschnitt 4.1 soll die Vorbelastung $I1V_{\text{NO}_2} = 0,030 \text{ mg/m}^3$ betragen. Die Zusatzbelastung beträgt: $I1Z_{\text{NO}_2} = K_{\text{NO}_2} = 0,034 \text{ mg/m}^3$. Die Gesamtbelastung ist:

$$I1G_{\text{NO}_2} = I1V_{\text{NO}_2} + I1Z_{\text{NO}_2} = 0,030 + 0,034 = 0,064 \text{ mg/m}^3$$

7.5.2 Bestimmung der Zusatzbelastung mit Hilfe des Nomogrammes (Bild 21):

Lösungswege:

Man errichtet zunächst das Lot auf der Abszisse bei 50000 Kfz/24 h. Vom Schnittpunkt mit der Kurve 30 m (Abstand von Fahrbahnrand) fällt man anschließend das Lot auf die Ordinate und kann einen NO₂-Jahresmittelwert von **0,034 mg/m³** ablesen.

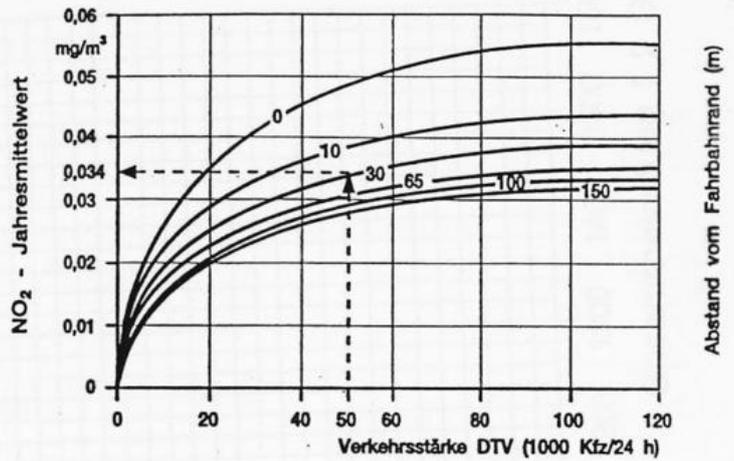


Bild 21: Bestimmung des NO₂-Jahresmittelwertes

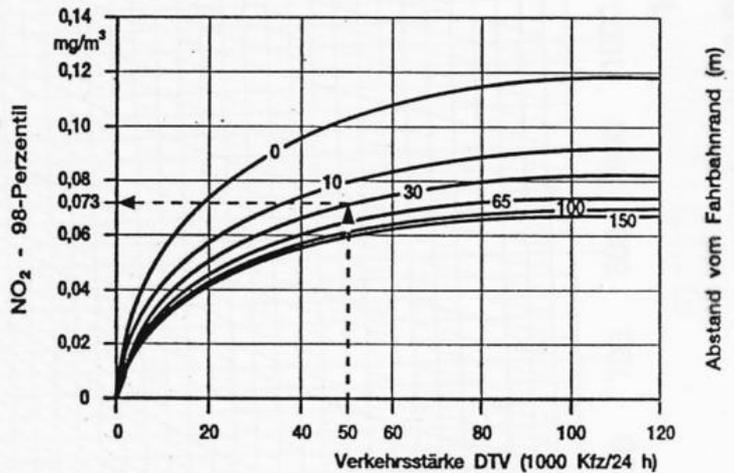


Bild 22: Bestimmung des NO₂-98-Perzentils

7.6 Bestimmung der Gesamtbelastung des NO₂-98-Perzentils für das Bezugsjahr 1985

Zusatzbelastung

Die Zusatzbelastung wird mit Hilfe der Gleichungen (12) bis (14) bestimmt.

$$K_{\text{NO}_2}(30, 50000) = K_{\text{NO}_2}^* \cdot g_{\text{NO}_2}(30) \cdot M_{\text{NO}_2}(50000) \quad (14)$$

$$K_{\text{NO}_2}^* = 0,110 \text{ mg/m}^3$$

$$g_{\text{NO}_2}(30) = 1 - 0,088 \ln(1 + 30) = 0,698 \quad (12)$$

$$M_{\text{NO}_2}(\text{DTV}) = 4,47 \cdot 10^{-2} \cdot \text{DTV}^{0,514} \cdot \exp(-4,14 \cdot 10^{-6} \cdot \text{DTV}) \quad (13)$$

$$M_{\text{NO}_2}(50000) = 4,47 \cdot 10^{-2} \cdot 50000^{0,514} \cdot \exp(-4,14 \cdot 10^{-6} \cdot 50000) = 0,946$$

$$K_{\text{NO}_2}(30, 50000) = 0,110 \cdot 0,698 \cdot 0,946 = 0,073 \text{ mg/m}^3$$

Für das Bezugsjahr 1985 beträgt die Zusatzbelastung des NO₂-98-Perzentils **0,073 mg/m³** (siehe auch Bild 22).

Gesamtbelastung

Die Gesamtbelastung für das NO₂-98-Perzentil wird mit Hilfe des Nomogrammes (Bild 23) ermittelt.

Aus Immissionsmessungen oder einer Abschätzung nach Abschnitt 4.1 soll die Vorbelastung $I2V_{\text{NO}_2} = 0,070 \text{ mg/m}^3$ betragen. Die Zusatzbelastung beträgt $I2Z_{\text{NO}_2} = 0,073 \text{ mg/m}^3$.

Aus dem Nomogramm ergibt sich die Gesamtbelastung des NO₂-98-Perzentils: $I2G_{\text{NO}_2} = 0,106 \text{ mg/m}^3$.

Zusatzbelastung I 2 Z

730

Nomogramm zur Bestimmung der Gesamtbelastung

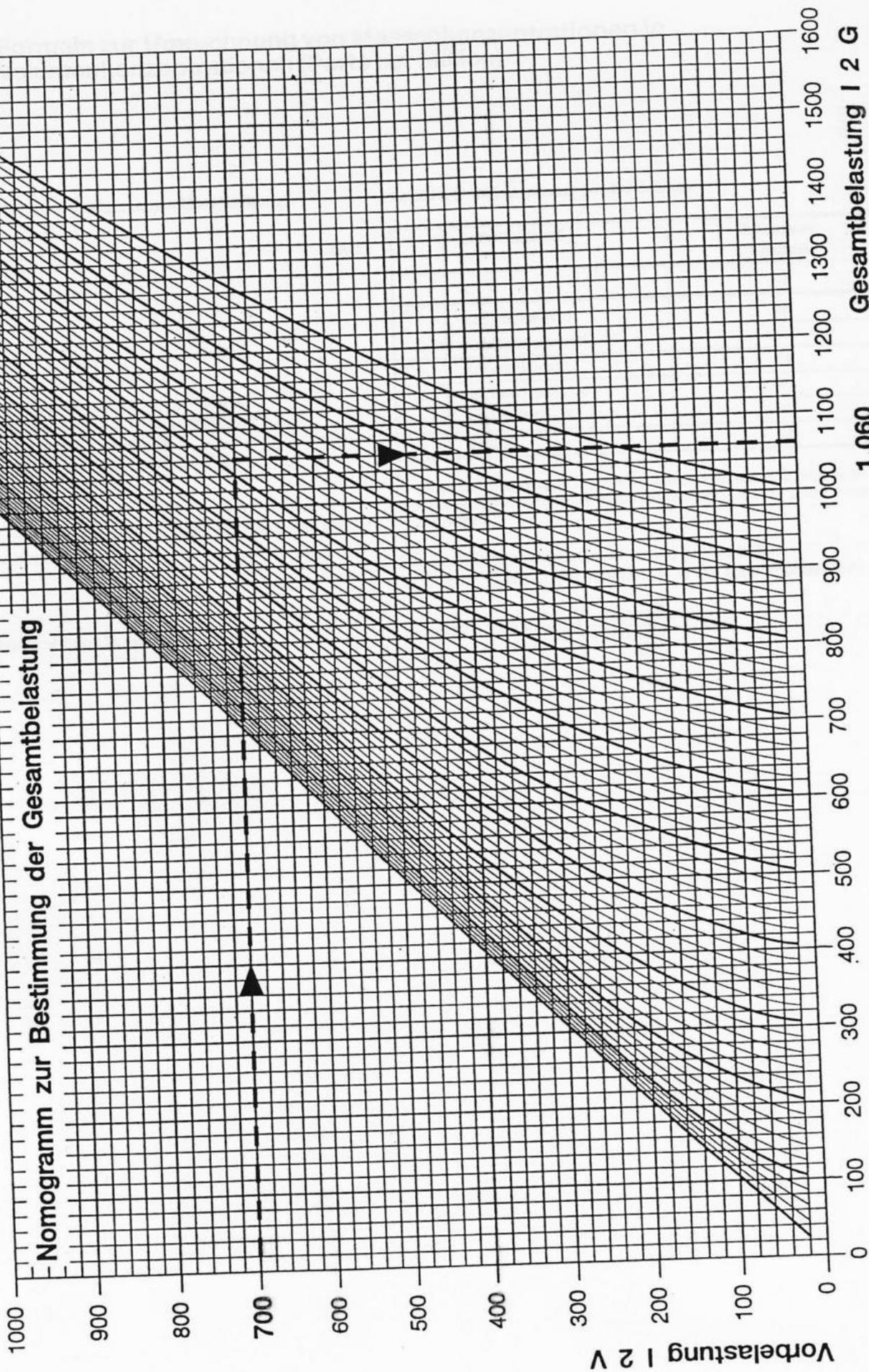


Bild 23: Nomogramm zur Bestimmung der Gesamtbelastung des 98-Perzentils

Anhang A: Formeln zur Umrechnung von Massenkonzentrationen in Volumenkonzentrationen (Parts per Million)

Für ideale Gase folgt aus der allgemeinen Gasgleichung:

$$r_i = \left(\frac{R_m \cdot T_u}{P_u} \right) \cdot \frac{K_i}{M_i} \quad (A 1)$$

Hierbei bedeuten:

- r_i ... Raumteile eines Gases i ,
- M_i ... Molmasse des Stoffes i (kg/Kmol),
- K_i ... Massenkonzentration des Stoffes i (kg/m³),
- R_m ... allgemeine Gaskonstante 8314,3 [Nm/(kmol K)],
- T_u ... Umgebungstemperatur Kelvin (K),
- P_u ... Umgebungsdruck bar (lbar $\hat{=}$ 10⁵ N/m²).

Die Umrechnung von Raumteilen in Parts per Million wird nach folgender Formel vorgenommen:

$$W_i = 10^6 \cdot r_i \quad (A 2)$$

Hier bedeutet:

W_i ... Volumenkonzentration in ppm

Tabelle A 1: Molmassen ausgewählter Stoffe

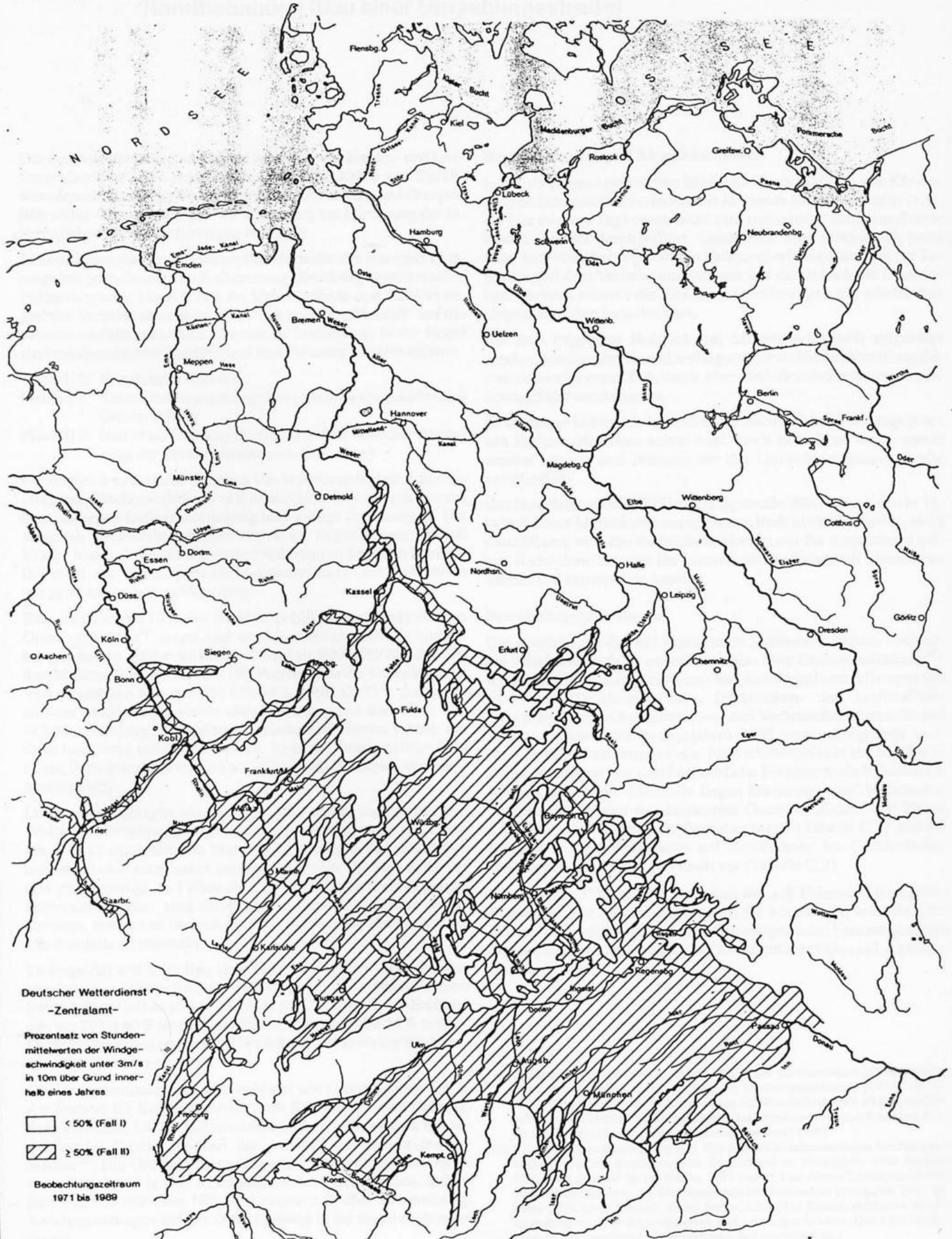
	Luftschadstoff	Molmasse kg/kmol
	1	2
1	Kohlenmonoxid	28
2	Kohlenwasserstoffe	*)
3	Schwefeldioxid	64
4	Stickstoffmonoxid	30
5	Stickstoffdioxid	46
6	Benzol	78

*) Die Umrechnung von ppm in mg/m³ sollte nach VDI 3481 Bl. 1 „Messen der Kohlenwasserstoff-Konzentration, Flammen-Ionisations-Detektor (FID)“ vorgenommen werden.

Für einen Umgebungszustand von $p_u = 1$ bar und $T_u \hat{=} 283$ K $\hat{=} 10^\circ$ C läßt sich Gl. (A 1) wie folgt beschreiben:

$$W_i(\text{ppm}) = 23,53 \cdot \frac{K_i}{M_i} \left(\frac{\text{mg/m}^3}{\text{kg/kmol}} \right) \quad (A 3)$$

Anhang B: Windkarte des Deutschen Wetterdienstes



Anhang C: Abschätzung der Emissionsminderung an einer Straße mit geschlossener Randbebauung (Bau einer Umgehungsstraße)

Der Bau von Ortsumgehungen hat beim Bau von Bundes- und Landesstraßen eine hohe Dringlichkeit. Mit dem Abbau von Unfallschwerpunkten und der Verbesserung der Aufenthalts- und Ortsqualität sollen Ortsumgehungen vor allem auch zur Minderung der innerörtlichen Umweltbelastungen beitragen.

Eine ausgewogene Entscheidung für oder wider den Bau einer Ortsumgehungsstraße setzt die Aufbereitung aller abwägungsrelevanten Faktoren voraus. Hinsichtlich der Umwelteffekte sind die Wirkungen des Verkehrs sowohl im „Mit-“ als auch im „Ohnefall“ auf die bebaute und die unbebaute Umwelt zu beschreiben. In der Regel sind mindestens drei Planfälle und ihre Varianten zu untersuchen:

Planfall 0: Bestehender Zustand

Planfall 1: Keine Ortsumgehung; Umgestaltung der bestehenden Ortsdurchfahrt

Planfall 2: Bau einer Ortsumgehungsstraße (mit baulicher Anpassung der Ortsdurchfahrt nach Entlastung)

Im Vergleich zu anderen Kriterien wie Verkehrssicherheit, Lärmbelastung, Flächenverbrauch und ökologische Belastungen kommt dem Kriterium Luftverunreinigung eher geringe Bedeutung zu. Die täglichen Verkehrsbelastungen liegen im Regelfall unter 15000 Kfz/24 h; d. h., kritische Immissionsbelastungen liegen im Normalfall nicht vor. Ausnahmen sind besonders enge Ortsdurchfahrten mit geschlossener Randbebauung.

Eine Analyse von 70 in der Bundesrepublik Deutschland gebauten Ortsumgehungen²⁵⁾ zeigte, daß vor Inbetriebnahme der Ortsumgehungen bei der Hälfte der Fälle weniger als 9000 Kfz/24 h den Ort durchfahren. Der Medianwert (50-Perzentil) für die Rückgänge der Verkehrsstärken betrug 3000 Kfz/24 h. Mehr als 75 % der untersuchten Maßnahmen wiesen eine Entlastung von über 40 % auf. Solche kurzfristig erreichbaren Entlastungen können jedoch nur dann langfristig stabilisiert werden, wenn die Ortsdurchfahrt ihrer neuen Funktion entsprechend umgebaut wird (Rückbau, Verkehrsberuhigung).

Luftverunreinigungen wird in den Diskussionen um das Für und Wider von Umgehungsstraßen häufig große Bedeutung beigemessen. Das ist angesichts der überwiegend geringen Verkehrsstärken und damit eher marginalen immissionsseitigen Effekten nicht immer gerechtfertigt. In Fällen aber, in denen Luftverunreinigungen untersucht werden, sind nicht nur die Minderungseffekte in der Ortslage, sondern es ist auch die Gesamtbilanz der Emissionen für alle Planfälle zu ermitteln.

Im Regelfall sollte der Bau einer Ortsumgehung zu Emissionsverminderungen führen. Bei vier im Auftrag des Umweltbundesamtes untersuchten Fallbeispielen gingen in der Ortslage die CO-Emissionen um 29 bis 60 % und die NO-Emissionen um 27 bis 51 % zurück. Diese Reduzierung ist zum Teil beträchtlich höher als der Rückgang der Verkehrsstärken.

Die Gesamtemission an Ortsdurchfahrt und Ortsumgehung läßt in der Summe für Kohlenmonoxid noch überwiegend eine Reduzierung erkennen. Die NO_x-Emissionen steigen jedoch an, da mit zunehmender Geschwindigkeit der Ausstoß von Stickoxiden anwächst²⁵⁾. Die Größenordnung derartiger negativer Effekte ist zu untersuchen und in den Abwägungsprozeß einzubeziehen. Jedoch läßt sich die Höhe der NO_x-Emissionen z. B. über Geschwindigkeitsbegrenzungen auf der Ortsumgehung in der Regel noch reduzieren.

Berechnungsbeispiel Abgasemissionen

In der Vergangenheit wurden häufig die Berechnungen von Kfz-be-dingten Schadstoffemissionen mit längerem Bezugszeitraum (z. B. ein Jahr oder ein Tag) vereinfacht über nur „einen“ Emissionsfaktor eines Fahrmodi durchgeführt. Tatsächlich aber ändern sich beim Orts- und ortsnahen Verkehr die Fahrgeschwindigkeiten mit der Tageszeit und dem Verkehrsaufkommen und damit auch die Emissionen. Dadurch können die Emissionsberechnungen mit erheblichen Ungenauigkeiten behaftet sein.

Mit dem folgenden Beispiel soll deshalb prinzipiell aufgezeigt werden, wie über die Berücksichtigung der zeitlichen Verteilung der emissionsrelevanten Fahrmodi eine Emissionsberechnung besser durchgeführt werden kann.

Es ist darauf hinzuweisen, daß die in diesem Merkblatt angegebenen Emissionsfaktoren schon bald durch aktuellere Werte ersetzt werden können und müssen, die das Umweltbundesamt jeweils veröffentlicht.

Das Berechnungsbeispiel Umgehungsstraße läßt sich mit den in Tabelle 3 dieses Merkblattes angegebenen Reduktionsfaktoren r_{ij} nicht durchführen, weil die Reduktionsfaktoren nur für Autobahnen gelten. Reduktionsfaktoren für innerstädtische Fahrmodi können der Tabelle C 8 entnommen werden.

Berechnungsgrundlagen

Die Abschätzung der auf bestimmten Straßenabschnitten emittierten Schadstoffe erfolgt näherungsweise über Emissionsfaktoren²⁶⁾. In Tabelle C 1 sind für Personen- und Kombinationskraftwagen mit Otto- und Dieselmotor zeit-, fahrstrecken- und kraftstoffverbrauchsbezogene Abgasemissions- und Verbrauchsfaktoren für den Fahrzeugbestand des Bezugsjahres 1985 zusammengestellt worden. Sie gelten näherungsweise für Verkehrsabläufe auf Straßen in Ballungsgebieten, die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeiten bis 60 km/h aufweisen. Ebenfalls liegen Emissions- und Verbrauchsfaktoren für Fahrten mit konstanter Geschwindigkeit von 20 bis 120 km/h in verschiedenen Getriebegehängen (Tabelle C 2) und für dynamische Verkehrsabläufe auf Autobahnen im Geschwindigkeitsbereich von 75 bis 175 km/h vor (Tabelle C 3).

Die Tabellen C 4 bis C 6 enthalten die auf Fahrmodi bezogenen Emissions- und Verbrauchsfaktoren für leichte und schwere Lkw (kleiner bzw. größer als 3,5 t zul. Gesamtgewicht; Fahrzeugbestand Bezugsjahr 1980) sowie für den Konstantfahrzyklus auf Autobahnen bei 85 km/h.

25) Diekmann, H., Janssen, J.: Untersuchung der Lärminderungsmöglichkeiten durch Ortsumgehungen, im Auftrag des Umweltbundesamtes (UFOPLAN-Nr. 10504104), Hannover 1988. Kurzfassung, veröffentlicht als Heft 10 der Veröffentlichungen des Instituts für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, Prof. Dr. Ing. R. Schnüll, Universität Hannover, Hannover 1990.

26) Vgl. Umweltbundesamt (Hrsg.): a) Das Abgas-Emissionsverhalten von Personenkraftwagen in der Bundesrepublik Deutschland im Bezugsjahr 1985. Berichte 7/87, Erich Schmidt Verlag Berlin, 1987 und b) Das Abgas-Emissionsverhalten von Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland im Bezugsjahr 1980. Berichte 11/83, Erich Schmidt Verlag Berlin, 1983. (Die Emissionsfaktoren werden im Auftrag des Umweltbundesamtes laufend fortgeschrieben. Daten für das Bezugsjahr 1988 werden in Kürze vorliegen und veröffentlicht.)

Die Tabelle C 7 enthält die Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung der insbesondere bei Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid erhöhten Emissionen der Warmlaufphase. Mit diesen müssen die Emissionsfaktoren von Pkw im Ortsverkehr (Verkehrsmengen abzüglich Durchgangsverkehr) multipliziert werden.

In Bild C 1 sind die fahrbetriebs- und geschwindigkeitsabhängigen Pkw-Emissionsfaktoren für Kohlenmonoxid, die Kohlenwasserstoffe und Stickoxide sowie die Verbrauchsfaktoren dargestellt. Bei den Komponenten Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen und bei Stickoxid bis etwa 100 km/h ergeben sich bei instationärem Fahrbetrieb höhere Werte als bei den Konstantfahrten. Beim Kraftstoffverbrauch sind die Unterschiede vernachlässigbar.

Die Emissionsfaktoren in den Tabellen C 1, C 4 und C 5 wurden nicht für Berechnung „lokaler Emissionen“ auf bestimmten Streckenabschnitten ermittelt. Für solche Abschätzungen sind sie nur unter Vorbehalt und mit Einschränkungen zu verwenden. Die Faktoren repräsentieren die mittlere Geschwindigkeit von Fahrzyklen (vgl. Bild C 2) auf üblichen Straßen mit den heute üblichen Geschwindigkeitsbegrenzungen. Deshalb lassen sich z. B. die Auswirkungen von Geschwindigkeitsbegrenzungen nicht über diese Faktoren bestimmen. Emissionsmindernde Effekte durch z. B. Geschwindigkeitsbegrenzungen auf 30 km/h oder durch bauliche Maßnahmen zur Geschwindigkeitsverringern sind durch keinen der Modi beschreibbar.

Die Emissionsfaktoren für Konstantfahrt (Tabelle C 2, Bild C 1) zeigen, welche Emissionsminderungen durch eine Verstärkung des Verkehrsflusses möglich sind. Noch fehlen aber die Berechnungsansätze, um die veränderten Brems- und Beschleunigungsanteile, das unterschiedliche Fahrverhalten sowie die Streckencharakteristika berücksichtigen zu können.

Da sich die Geschwindigkeiten und das Fahrverhalten in Abhängigkeit von Verkehrsstärke, Ausbaustandard und Lichtsignalanlagen im Laufe des Tages ändern, ist für jeden konkreten Einzelfall die zeitliche Verteilung der emissionsrelevanten Fahrmodi nach Betriebszuständen abzuschätzen.

Im nachfolgenden Beispiel wird die Emissionsbilanz von Planfällen für einen durchschnittlichen Werktag ermittelt. Für Prognoseberechnungen fehlt derzeit noch das Instrumentarium, um die Auswirkungen des zunehmenden Anteils schadstoffarmer Pkw abzuschätzen.

Das Beispiel ist auch auf Straßen in den neuen Bundesländern übertragbar, wenn beim Pkw die HC-Emissionen mit dem Faktor 4 und beim Lkw die CO-Emissionen mit dem Faktor 1,6 multipliziert werden. Die Schadstoffe Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid, Blei, Schwefeldioxid und Rußpartikeln werden überschätzt.

Tabelle C 1: Abgas-Emissions- und Kraftstoffverbrauchsfaktoren auf der Basis von Fahrmodi für Personen- und Kombinationskraftwagen mit Ottomotor und Dieselmotor*) für das Bezugsjahr 1985 (Anlieferungszustand, Dieselanteil 9,1%)²⁸⁾

Fahrmodus		M2	M3	M4	M0 ^{*)}	M5 ^{*)}	M6	M7 ^{*)}	Leerlauf
Mittlere Fahrgeschwindigkeit km/h		60	42,5	26,6	19,5	13,5	6,3	1,2	0
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Kraftstoffverbrauch g/h	3025	2599	1922	1741	1481	1197	913	818
	g/km	50,4	61,2	72,3	89,3	110	190	761	-
2	Kohlenmonoxid g/h	451	440	385	361	328	289	247	243
	g/km	7,52	10,4	14,5	18,5	24,3	45,9	206	-
	g/kg Kraftstoff	149	169	200	207	221	241	271	297
3	Kohlenwasserstoffe ¹⁾ g/h	62,6	59,2	52,8	47,1	41,2	32,7	26,9	26,4
	g/km	1,04	1,39	1,98	2,42	3,05	5,19	22,4	-
	g/kg Kraftstoff	20,7	22,8	27,5	27,1	27,8	27,3	29,5	32,3
4	Stickoxide ²⁾ g/h	99,9	67,7	38,4	29,6	20,4	8,84	2,90	2,60
	g/km	1,67	1,59	1,44	1,52	1,51	1,40	2,42	-
	g/kg Kraftstoff	33,0	26,0	20,0	17,0	13,8	7,39	3,18	3,18
5	Schwefeloxide ³⁾ g/h	2,64	2,28	1,63	1,48	1,23	0,980	0,708	0,621
	g/km	0,044	0,054	0,061	0,076	0,091	0,156	0,590	-
6	Blei ⁴⁾ g/h	0,421	0,363	0,269	0,244	0,208	0,169	0,130	0,117
	g/km	0,007	0,009	0,010	0,013	0,015	0,027	0,108	-

*) keine Angaben der Partikelemissionen, da für die Fahrzeuge der Baujahre 1977 und älter keine Meßwerte vorliegen

+*) interpolierte Werte

1) FID-Messung als C₁H_{1,85} ausgewiesen

2) als NO₂ ausgewiesen

3) als SO₂ ausgewiesen, 0,025 Massen-% S im Ottokraftstoff und 0,25 Massen-% im Dieselmotor

4) gerechnet mit 0,15 g Pb/l Ottokraftstoff und 75 % Ausstoß

Tabelle C 2: Abgas-Emissions- und Kraftstoffverbrauchsfaktoren bei Konstantfahrt für Personen- und Kombinationskraftwagen mit Otto- und Dieselmotor der Baujahre 1978 bis 1985 im Bezugsjahr 1985 (Anlieferungszustand, Dieselanteil 12%)²⁸⁾

Fahrer- geschwindigkeit/Gang km/h		20/2	30/2	30/3	45/3	45/4	56/4	67/4	90/4/5 ¹⁾	120/4/5 ¹⁾	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Kraftstoffverbrauch	g/h	1272	1754	1359	1970	1732	2647	2772	4402	7639
		g/km	63,6	58,7	45,4	43,9	38,5	47,7	42,3	49,0	63,7
2	Kohlenmonoxid	g/h	257	285	277	269	235	220	257	324	640
		g/km	12,9	9,20	9,28	5,93	5,21	3,98	3,92	3,60	5,34
		g/kg Kraftstoff	202	162	204	137	136	83,1	92,7	73,6	83,8
3	Kohlenwasserstoffe ¹⁾	g/h	26,5	30,1	26,4	32,2	29,7	42,5	40,5	57,1	84,2
		g/km	1,33	1,00	0,884	0,717	0,664	0,770	0,613	0,635	0,702
		g/kg Kraftstoff	20,1	17,2	19,4	16,3	17,1	16,1	14,6	13,0	11,0
4	Stickoxide ²⁾	g/h	7,48	18,8	11,2	32,8	28,0	64,2	93,0	231	525
		g/km	0,374	0,627	0,371	0,733	0,624	1,17	1,41	2,57	4,38
		g/kg Kraftstoff	5,88	10,7	8,24	16,6	16,2	24,3	33,5	52,5	68,7
5	Partikel	g/h	0,502	1,080	0,501	0,991	0,788	0,819	0,952	2,270	4,190
		g/km	0,025	0,036	0,016	0,022	0,018	0,015	0,014	0,025	0,035
		g/kg Kraftstoff	0,395	0,626	0,369	0,503	0,455	0,309	0,343	0,516	0,549
6	Schwefeloxide ³⁾	g/h	1,23	1,82	1,31	2,02	1,69	2,77	2,84	4,54	8,17
		g/km	0,062	0,062	0,044	0,045	0,038	0,050	0,043	0,051	0,069
	Blei ⁴⁾	g/h	0,173	0,234	0,185	0,264	0,235	0,352	0,371	0,589	1,01
		g/km	0,009	0,008	0,006	0,006	0,005	0,006	0,005	0,007	0,008

- +) Messung im höchsten Gang
 1) FID-Messung als C₁H_{1,85} ausgewiesen
 2) als NO_x ausgewiesen
 3) als SO₂ ausgewiesen, gerechnet mit 0,025 Massen-% im Ottokraftstoff bzw. mit 0,25 Massen-% im Dieselmotor
 4) gerechnet mit 0,15 g Pb/l Ottokraftstoff und 75 % Ausstoß

Tabelle C 3: Abgas-Emissions- und Kraftstoffverbrauchsfaktoren für Personen- und Kombinationskraftwagen mit Otto- und Dieselmotor*) für Autobahnen für das Bezugsjahr 1985 (Dieselanteil 13%)²⁸⁾

Mittlere Fahrer- geschwindigkeit km/h		75	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Kraftstoffverbrauch	g/h	3624	4429	5401	6656	8162	9927	11944	14206	16716	19500	22547
		g/km	48,3	52,1	56,9	63,4	71,0	79,4	88,5	98,0	108	118	129
2	CO ¹⁾	g/h	721	809	1002	1257	1588	1993	2480	3034	3652	4306	5051
		g/km	9,61	9,52	10,6	12,0	13,8	15,9	18,4	20,9	23,6	26,1	28,9
		g/kg Kraftstoff	199	183	186	189	195	201	208	214	218	221	224
3	HC ²⁾	g/h	89,3	100	110	121	135	151	170	191	214	236	258
		g/km	1,19	1,18	1,16	1,15	1,17	1,21	1,26	1,32	1,38	1,43	1,47
		g/kg Kraftstoff	24,6	22,6	20,4	18,2	16,5	15,2	14,2	13,4	12,8	12,1	11,4
4	NO _x ³⁾	g/h	154	208	267	338	422	529	667	842	1055	1300	1562
		g/km	2,05	2,45	2,81	3,22	3,67	4,23	4,94	5,81	6,81	7,88	8,93
		g/kg Kraftstoff	42,5	47,0	49,4	50,8	51,7	53,3	55,8	59,3	63,1	66,7	69,3
5	SO ₂ ⁴⁾	g/h	3,88	4,77	6,12	7,61	9,20	10,61	11,52	11,72	11,54	11,60	12,24
		g/km	0,052	0,056	0,064	0,073	0,080	0,085	0,085	0,081	0,075	0,070	0,070
6	Pb ⁵⁾	g/h	0,480	0,585	0,704	0,865	1,065	1,315	1,624	1,998	2,427	2,895	3,387
		g/km	0,006	0,007	0,007	0,008	0,009	0,011	0,012	0,014	0,016	0,018	0,019

- 1) Kohlenmonoxid
 2) Kohlenwasserstoffe, FID-Messung als C₁H_{1,85} ausgewiesen
 3) Stickoxide, als NO_x ausgewiesen
 4) Schwefeloxide, als SO₂ ausgewiesen, gerechnet mit 0,025 Massen-% S im Ottokraftstoff und 0,25 Massen-% im Dieselmotor
 5) Blei, gerechnet mit 0,15 g Pb/l Ottokraftstoff und 75 % Ausstoß
 *) Partikelemissionsfaktoren liegen nicht vor

Tabelle C 4: Abgas-Emissionsfaktoren und mittlerer Kraftstoffverbrauch für leichte Nutzfahrzeuge mit Otto- und Dieselmotor, Bezugsjahr 1980, Anlieferungszustand (< 3,5 t zul. Gesamtgewicht)²⁷⁾

			Emissionsfaktoren und Verbrauch						
			m_{kr}	CO	HC _{FD}	NO _x	SO ₂ ^{*)}	Pb ^{**)}	Partikeln
			1	2	3	4	5	6	7
1	85 km/h konst.	g/h g/km	7754,2 91,2	943,20 11,10	67,68 0,80	327,74 3,86	7,55 0,09	1,08 0,013	3,11 0,037
2	Modus 2	g/h g/km	5440,0 90,7	877,05 14,62	97,97 1,63	184,59 3,08	5,27 0,09	0,75 0,013	2,42 0,040
3	Modus 3	g/h g/km	4029,0 94,8	786,63 18,51	99,35 2,34	108,92 2,56	3,86 0,09	0,56 0,013	2,06 0,048
4	Modus 4	g/h g/km	2856,8 109,9	668,11 25,70	85,71 3,30	56,07 2,16	2,69 0,10	0,40 0,015	1,82 0,070
5	Modus 0	g/h g/km	2437,0 125,0	612,55 31,41	76,35 3,92	40,18 2,06	2,26 0,12	0,34 0,017	1,75 0,090
6	Modus 5 ^{*)}	g/h g/km	2070,5 153,4	556,81 41,25	65,71 4,87	27,99 2,07	1,90 0,14	0,35 0,026	1,70 0,126
7	Modus 6	g/h g/km	1640,9 273,5	481,14 80,19	49,71 8,29	16,09 2,58	1,46 0,24	0,23 0,038	1,66 0,276
8	Modus 7 ^{*)}	g/h g/km	1372,1 1372,1	426,98 426,98	37,38 37,38	10,21 10,21	1,19 1,19	0,19 0,19	1,64 1,64
9	Leerlauf	g/h	1320,0	415,80	34,76	9,23	1,13	0,18	0,282

+) interpolierte Werte
 *) gerechnet mit 0,025 Masse-% S im Ottokraftstoff und 0,3 Massen-% im Dieselmotor
 **) gerechnet mit 0,15 g Pb/l Ottokraftstoff mit 75 % Ausstoß

Tabelle C 5: Abgas-Emissionsfaktoren und mittlerer Kraftstoffverbrauch für den schweren Nutzfahrzeugverkehr im innerstädtischen Bereich, Bezugsjahr 1980 (> 3,5 t zul. Gesamtgewicht)²⁷⁾

			Emissionsfaktoren und Verbrauch						
			m_{kr}	CO	HC _{FD}	NO _x	SO ₂ ^{*)}	Pb ^{**)}	Partikeln
			1	2	3	4	5	6	
1	Modus 2	g/h g/km	13559 226,0	248,8 4,15	161,4 2,69	819,8 13,66	81,35 1,356	12,29 0,205	
2	Modus 3	g/h g/km	10221 240,5	231,6 5,45	161,9 3,81	598,7 14,09	61,33 1,443	11,73 0,276	
3	Modus 4 ^{*)}	g/h g/km	6921 266,2	235,0 9,04	165,6 6,37	383,7 14,76	41,53 1,597	9,60 0,369	
4	Modus 0	g/h g/km	5685 291,5	240,4 12,33	166,1 8,52	294,8 15,12	34,11 1,749	8,60 0,441	
5	Modus 5 ^{*)}	g/h g/km	4463 330,6	236,0 17,48	167,4 12,4	223,1 17,27	26,78 1,984	7,35 0,544	
6	Modus 6	g/h g/km	2938 489,7	230,9 38,48	169,3 28,22	129,8 21,63	17,63 2,938	5,50 0,917	
7	Modus 7 ^{*)}	g/h g/km	2004 2004	220,0 220,0	169,3 169,3	62,5 62,5	12,02 12,02	4,15 4,15	
8	Leerlauf	g/h	1445	184,1	142,0	52,5	8,67	4,05	

+) interpolierte Werte
 *) gerechnet mit 0,3 Massen-% S im Dieselmotor
 **) errechnet aus Bosch-Rauchwerten mittels der MIRA-Korrelation

Tabelle C 6: Abgas-Emissionsfaktoren und Kraftstoffverbräuche für den schweren Nutzfahrzeugverkehr auf Stadtautobahnen und Autobahnen²⁸⁾

			m_{kr}	CO	HC	NO _x	SO ₂ ^{*)}	Ruß ^{**)}
			1	2	3	4	5	6
1	Stadtautobahn	K85 g/h	23 114	167,2	201,4	1548	138,7	17,90
		g/km	271,9	1,97	2,37	18,21	1,632	0,211
2	Autobahn	K85 g/h	24 503	163,5	200,6	1654	147,0	18,79
		g/km	288,3	1,92	2,36	19,46	1,729	0,221

*) gerechnet mit 0,3 Massen-% S im Dieselmotor
 **) errechnet aus Bosch-Rauchwerten mittels der MIRA-Korrelation

Tabelle C 7: Korrekturfaktor α_{10} für den Kaltstart innerorts bei einer mittleren Jahrestemperatur von 10° C für Pkw mit Ottomotor²⁸⁾

CO	HC	NO _x	Verbrauch
1,58	1,34	1,0	1,12

Tabelle C 8: Reduktionsfaktoren zur Prognose von Pkw-Emissionsfaktoren bei Stadtstraßen

Bezugs-jahr	Modus	Fahrge-schwindigkeit km/h	Luftschadstoff						
			CO	HC	NO _x	Pb	SO ₂	Partikeln	
1985	1	6	6,3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	2	5	13,5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	3	0	19,5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	4	4	26,6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	5	3	42,5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	6	2	60,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1990	7	6	6,3	0,53	0,69	0,96	0,49	1,05	1,07
	8	5	13,5	0,51	0,67	0,91	0,52	1,06	1,01
	9	0	19,5	0,83	1,02	1,34	0,72	1,47	1,53
	10	4	26,6	0,52	0,71	0,92	0,48	1,04	1,12
	11	3	42,5	0,50	0,69	0,83	0,43	1,04	1,13
	12	2	60,0	0,45	0,68	0,79	0,48	1,05	1,11
1995	13	6	6,3	0,34	0,51	0,89	0,21	1,03	0,97
	14	5	13,5	0,33	0,50	0,76	0,21	1,03	0,95
	15	0	19,5	0,26	0,40	0,64	0,12	0,91	0,88
	16	4	26,6	0,34	0,54	0,77	0,20	1,01	1,05
	17	3	42,5	0,31	0,50	0,71	0,19	1,03	1,05
	18	2	60,0	0,26	0,48	0,67	0,21	1,02	1,14
2000	19	6	6,3	0,26	0,43	0,84	0,00	1,01	0,90
	20	5	13,5	0,28	0,43	0,70	0,00	1,02	0,87
	21	0	19,5	0,29	0,40	0,67	0,00	0,99	0,92
	22	4	26,6	0,29	0,47	0,71	0,00	0,99	0,98
	23	3	42,5	0,28	0,44	0,65	0,00	1,01	0,97
	24	2	60,0	0,24	0,43	0,61	0,00	1,00	1,08

27) Berichte 11/83 des Umweltbundesamtes: Das Abgas-Emissionsverhalten v Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland im Bezugsjahr 1980, Er Schmidt Verlag Berlin
 28) Berichte 7/87 des Umweltbundesamtes: Das Abgas-Emissionsverhalten von P sonenkraftwagen in der Bundesrepublik Deutschland im Bezugsjahr 1985, Er Schmidt Verlag Berlin

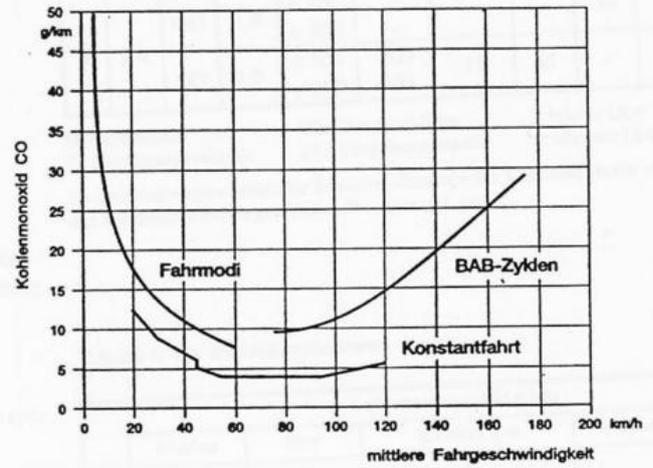
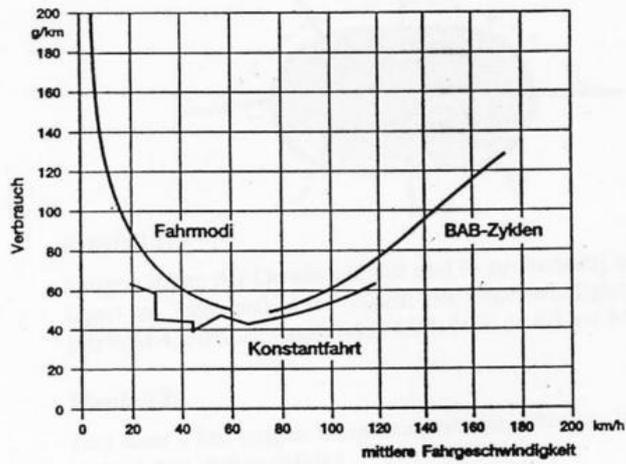
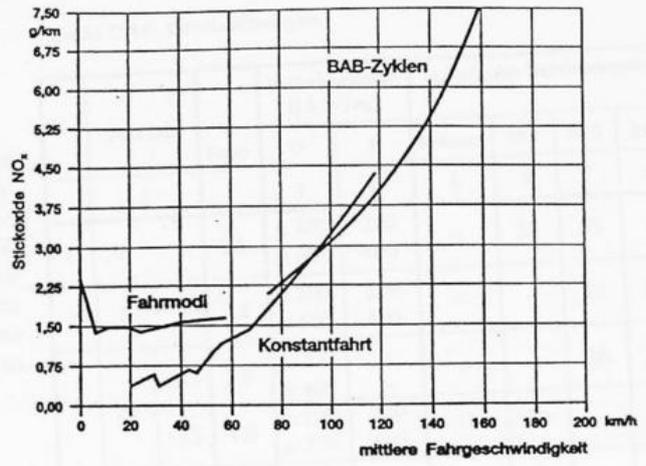
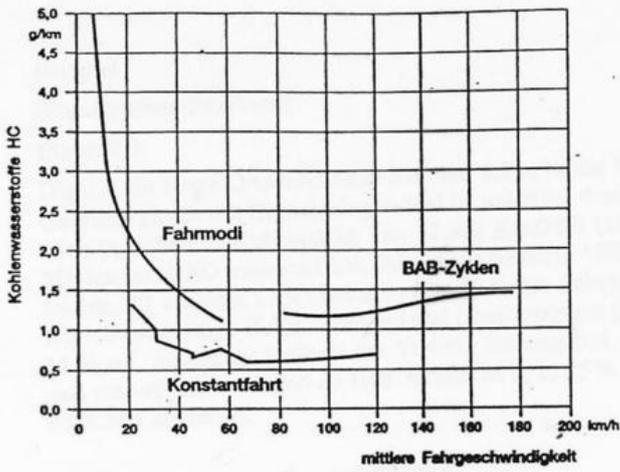


Bild C 1: Abgas-Emissions- und Kraftstoffverbrauchs-faktoren bei unterschiedlichem Fahrbetrieb als Funktion der Fahrgeschwindigkeit²⁶⁾

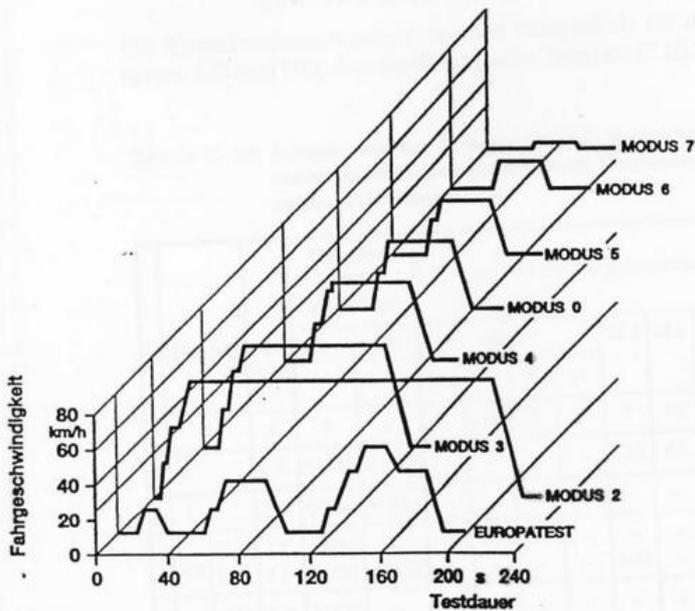


Tabelle C 9: Darstellung von Verkehrssituationen durch Fahrmodi²⁶⁾

Modus	Geschwindigkeitsbereich (km/h)	Verkehrssituation
Konstantfahrt	100	flüssiger Verkehr auf Schnellstraßen
2	55 bis 65	Verkehr auf Ausfallstraßen
3	30 bis 55	flüssiger Durchgangsverkehr
4	22 bis 30	flüssiger Stadtverkehr
0	17 bis 22	Vergleichszyklus zum Europatest
5	10 bis 17	zähflüssiger Stadtverkehr
6	2 bis 10	verstopfte Straßen
7	0 bis 2	Verkehrsstauungen
Leerlauf	0	Kaltstart, Warmlaufen des Motors

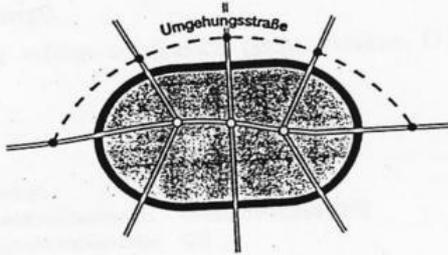
Bild C 2: Fahrzyklen zur Ermittlung der Abgasemissionen von Personenkraftwagen²⁶⁾

Beispiel

Situationsbeschreibung

Planfall 0:

Die 2,8 km lange Ortsdurchfahrt hat eine 8,5 m breite Wohn- und Geschäftsstraße mit Signalanlagen und ist mit einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke von 11 500 Kfz/24 h (10 000 Pkw, 500 leichte, 1 000 schwere Lkw, Durchgangsverkehr 4 000 Pkw, 200 leichte, 40 schwere Lkw) belastet. Für 10% der Fahrzeuge treten täglich kurzfristige Behinderungen und Überlastungen (Fahrmodus M 6) auf, ansonsten verläuft der Verkehr störungsfrei. Für leichte und schwere Lkw werden zu 10% Modus M 5, zu 25% M 2 und zu 65% M 3 angesetzt.



Planfall 1:

Umgestaltung der Ortsdurchfahrt und Koordinierung der Signalanlagen am Tage und in der Nacht zur Geschwindigkeitsdämpfung (60% M 4, 30% Konstantfahrt 45/3, 10% M 6/Lkw M 5).

Planfall 2:

Bau einer 4 km langen Umgehungsstraße. Die Ortsdurchfahrt entspricht dem Planungsfall 1.

Variante 2a: Geschwindigkeitsbegrenzung 60 km/h, 3 Signalanlagen

Pkw: 100% M 2
Lkw: 90% M 2; 10% 85 K

Variante 2b: Regelgeschwindigkeitsbegrenzung (Pkw 100 km/h, Lkw 80 km/h) (keine Signalanlagen)

Pkw: 15% M 2; 15% BAB 105; 20% BAB 95; 20% BAB 85; 30% BAB 75
Lkw: 55% 85 K; 45% M 2

Die Emissionsberechnungen werden beispielhaft für die Komponenten CO und NO_x durchgeführt (siehe Tabellen C 10 bis C 12).

Tabelle C 10: Ausgangsdaten: Streckenlängen, Verkehrsstärken, Verkehrssituation (Betriebszustand), Personen- und Kombinationskraftwagen

Planfall	s (km)	Verkehrsstärke (Pkw/Tag)		Anteile der Betriebszustände in %									
		O	D	BAB				M2	M3	45/3	M4	M6	
				105	95	85	75						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	0	2,8	6000	4000	-	-	-	-	25	65	-	-	10
2	1	2,8	6000	4000	-	-	-	-	-	-	30	60	10
3	2a	OD 2,8	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	UG 4,0	2000	4000	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
4	2b	OD 2,8	4000	-	-	-	-	-	-	-	30	60	10
	UG 4,0	2000	4000	15	20	20	30	15	-	-	-	-	-

O: Ortsverkehr
D: Durchgangsverkehr
OD: Ortsdurchfahrt
UG: Umgehungsstraße

Tabelle C 11: Lastkraftwagen

Planfall	s (km)	Verkehrsstärke (Lkw/Tag)		Anteile der Betriebszustände in %					
		O	D	85 konst.	M2	M3	M4	M5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	0	2,8	l: 300 s: 600	200 400	-	25	65	-	10
2	1	2,8	l: 300 s: 600	200 400	-	-	30	60	10
3	2a	OD 2,8	l: 200 s: 400	-	-	-	30	60	10
	UG 4,0	l: 100 s: 200	200 400	10	90	-	-	-	
4	2b	OD 2,8	l: 200 s: 400	-	-	-	30	60	10
	UG 4,0	l: 100 s: 200	200 400	55	45	-	-	-	

O: Ortsverkehr
D: Durchgangsverkehr
OD: Ortsdurchfahrt
UG: Umgehungsstraße
l: leichte Lkw
s: schwere Lkw

Emissionen wegen fehlender Emissionsfaktoren für Konstantfahrten und Ermittlung aus Motorkennfeldern gegenüber Pkw weniger genau.

Tabelle C 12: Emissionsfaktoren

	Kohlenmonoxid in g/km			
	Modus	Pkw	leichte Lkw	schwere Lkw
	1	2	3	4
1	M2	7,52	14,62	4,15
2	M3	10,40	18,51	5,45
3	M4	14,50	25,70	9,04
4	M5	-	41,25	17,48
5	M6	45,90	80,19	38,48
6	K 45/3	5,93	-	-
7	BAB 75	9,61	-	-
8	BAB 85	9,52	-	-
9	BAB 95	10,60	-	-
10	BAB 105	12,00	-	-
11	K 85	-	11,1	1,97

	Stickoxide in g/km			
	Modus	Pkw	leichte Lkw	schwere Lkw
	1	2	3	4
1	M2	1,67	3,08	13,66
2	M3	1,59	2,56	14,09
3	M4	1,44	2,16	14,76
4	M5	-	2,07	17,27
5	M6	1,40	2,68	21,63
6	K 45/3	0,73	-	-
7	BAB 75	2,05	-	-
8	BAB 85	2,45	-	-
9	BAB 95	2,81	-	-
10	BAB 105	3,22	-	-
11	K 85	-	3,86	18,21

Korrektur für Kaltfahrtanteile im Ortsverkehr für Pkw mit Ottomotoren (Ziel- und Binnenverkehr): CO: 1,58 NO_x: 1,0

Emissionsberechnung

Die CO- und NO_x-Emissionen werden für die Streckenabschnitte der Planfälle nach folgendem Ansatz berechnet:

$$E = s (q_D + q_O \cdot \alpha) \Sigma e_m \cdot f_m$$

Es bedeuten:

- E ... Abgasemissionen auf Streckenabschnitt in g/24 h,
- s ... Länge des Streckenabschnittes in km,
- e_m ... Emissionsfaktor für Modus, Geschwindigkeits- bzw. Betriebszustand m in g/km,
- f_m ... Anteil der Verkehrsmenge mit Modus m pro 24/h,
- q_{O,D} ... Verkehrsstärke in Pkws bzw. Lkws pro 24 h mit
O = Ortsverkehr (Quell-, Ziel-, Binnenverkehr)
D = Durchgangsverkehr,
- α ... Kaltstartkorrekturfaktor für Pkw-Ortsverkehr (Dieselanteil vernachlässigt).

Die Berechnung erfolgt tabellarisch (siehe Tabellen C 13 bis C 23):

Tabelle C 16: Planfall: 2a
Streckenabschnitt: Umgehungsstraße (UG)
Abgaskomponente: CO

	s	q _D	q _O	α	(3·4+2)	Σe _m ·f _m	Σ6	1·5·7
	(km)	(Kfz/24 h)			(Kfz/24 h)	(g/km)	(g/km)	(g/24 h)
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pkw	4,0	4000	2000	1,58	7160	7,52 · 1,0	7,52	215372
Lkw	4,0	200	100	-	300	11,1 · 0,1 + 14,62 · 0,9	14,27	17122
		400	200	-	600	1,97 · 0,1 + 4,15 · 0,9	3,93	9437

(l = leichter Lkw; s = schwerer Lkw)

Σ 242 kg

Tabelle C 13: Planfall: 0
Streckenabschnitt: Ortsdurchfahrt (OD)
Abgaskomponente: CO

	s	q _D	q _O	α	(3·4+2)	Σe _m ·f _m	Σ6	1·5·7
	(km)	(Kfz/24 h)			(Kfz/24 h)	(g/km)	(g/km)	(g/24 h)
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pkw	2,8	4000	6000	1,58	13480	7,52 · 0,25 + 10,4 · 0,65 + 45,9 · 0,1	13,23	499353
Lkw	2,8	200	300	-	500	14,62 · 0,25 + 18,51 · 0,65 + 41,25 · 0,1	19,21	27736
		400	600	-	1000	4,15 · 0,25 + 5,45 · 0,65 + 17,48 · 0,1	6,33	17718

(l = leichter Lkw; s = schwerer Lkw)

Σ 545 kg

Tabelle C 17: Planfall: 2b
Streckenabschnitt: Umgehungsstraße (UG)
Abgaskomponente: CO

	s	q _D	q _O	α	(3·4+2)	Σe _m ·f _m	Σ6	1·5·7
	(km)	(Kfz/24 h)			(Kfz/24 h)	(g/km)	(g/km)	(g/24 h)
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pkw	4,0	4000	2000	1,58	7160	12,0 · 0,15 + 10,6 · 0,2 + 9,52 · 0,2 + 9,61 · 0,3 + 7,52 · 0,15	9,84	281182
Lkw	4,0	200	100	-	300	11,1 · 0,55 + 14,62 · 0,45	12,68	15221
		400	200	-	600	1,97 · 0,55 + 4,15 · 0,45	2,95	7082

(l = leichter Lkw; s = schwerer Lkw)

Σ 304 kg

Tabelle C 14: Planfall: 1
Streckenabschnitt: Ortsdurchfahrt, rückgebaut
Abgaskomponente: CO

	s	q _D	q _O	α	(3·4+2)	Σe _m ·f _m	Σ6	1·5·7
	(km)	(Kfz/24 h)			(Kfz/24 h)	(g/km)	(g/km)	(g/24 h)
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pkw	2,8	4000	6000	1,58	13480	5,93 · 0,3 + 14,5 · 0,6 + 45,9 · 0,1	15,07	568802
Lkw	2,8	200	300	-	500	18,51 · 0,3 + 25,70 · 0,6 + 41,25 · 0,1	25,10	35137
		400	600	-	1000	5,45 · 0,3 + 9,04 · 0,6 + 17,48 · 0,1	8,80	24660

(l = leichter Lkw; s = schwerer Lkw)

Σ 629 kg

Tabelle C 18: Planfall: 0
Streckenabschnitt: Ortsdurchfahrt (OD)
Abgaskomponente: NO_x

	s	q _D	q _O	α	(3·4+2)	Σe _m ·f _m	Σ6	1·5·7
	(km)	(Kfz/24 h)			(Kfz/24 h)	(g/km)	(g/km)	(g/24 h)
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pkw	2,8	4000	6000	1,0	10000	1,67 · 0,25 + 1,59 · 0,65 + 1,4 · 0,1	1,591	44548
Lkw	2,8	200	300	-	500	3,08 · 0,25 + 2,56 · 0,65 + 2,07 · 0,1	2,641	3697
		400	600	-	1000	13,66 · 0,25 + 14,09 · 0,65 + 17,27 · 0,1	14,300	40041

(l = leichter Lkw; s = schwerer Lkw)

Σ 88 kg

Tabelle C 15: Planfall: 2a, 2b
Streckenabschnitt: Ortsdurchfahrt (OD)
Abgaskomponente: CO

	s	q _D	q _O	α	(3·4+2)	Σe _m ·f _m	Σ6	1·5·7
	(km)	(Kfz/24 h)			(Kfz/24 h)	(g/km)	(g/km)	(g/24 h)
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pkw	2,8	-	4000	1,58	6320	wie Planfall 1	15,07	266679
Lkw	2,8	-	200	-	200	wie Planfall 1	25,10	14.056
		-	400	-	400		8,80	9856

(l = leichter Lkw; s = schwerer Lkw)

Σ 291 kg

Tabelle C 19: Planfall: 1
Streckenabschnitt: Ortsdurchfahrt, rückgebaut
Abgaskomponente: NO_x

	s	q _D	q _O	α	(3·4+2)	Σe _m ·f _m	Σ6	1·5·7
	(km)	(Kfz/24 h)			(Kfz/24 h)	(g/km)	(g/km)	(g/24 h)
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pkw	2,8	4000	6000	1,0	10000	0,73 · 0,3 + 1,44 · 0,6 + 1,4 · 0,1	1,223	34244
Lkw	2,8	200	300	-	500	2,56 · 0,3 + 2,16 · 0,6 + 2,07 · 0,1	2,271	3179
		400	600	-	1000	14,09 · 0,3 + 14,76 · 0,6 + 17,27 · 0,1	14,810	41468

(l = leichter Lkw; s = schwerer Lkw)

Σ 79 kg

Tabelle C 20: Planfall: 2a, 2b
 Streckenabschnitt: Ortsdurchfahrt (OD)
 Abgaskomponente: NO_x

	s	q _D	q _O	α	(3·4+2)	Σe _m ·f _m	Σ6	1·5·7
	(km)	(Kfz/24 h)			(Kfz/24 h)	(g/km)	(g/km)	(g/24 h)
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pkw	2,8	-	4000	1,0	4000	wie Planfall I	1,223	13698
Lkw	2,8	-	200	-	-	wie Planfall I	2,271	1272
		-	400	-	-		14,810	16587

(l = leichter Lkw; s = schwerer Lkw) Σ 32 kg

Tabelle C 21: Planfall: 2a
 Streckenabschnitt: Umgehungsstraße (T 60)
 Abgaskomponente: NO_x

	s	q _D	q _O	α	(3·4+2)	Σe _m ·f _m	Σ6	1·5·7
	(km)	(Kfz/24 h)			(Kfz/24 h)	(g/km)	(g/km)	(g/24 h)
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pkw	4,0	4000	2000	1,0	6000	1,67 · 1,0	1,67	40080
Lkw	4,0	200	100	-	300	3,86 · 0,1 + 3,08 · 0,9	3,16	3790
		400	200	-	600	18,21 · 0,1 + 13,66 · 0,9	14,12	33876

(l = leichter Lkw; s = schwerer Lkw) Σ 78 kg

Tabelle C 22: Planfall: 2b
 Streckenabschnitt: Umgehungsstraße (T 100)
 Abgaskomponente: NO_x

	s	q _D	q _O	α	(3·4+2)	Σe _m ·f _m	Σ6	1·5·7
	(km)	(Kfz/24 h)			(Kfz/24 h)	(g/km)	(g/km)	(g/24 h)
	1	2	3	4	5	6	7	8
Pkw	4,0	4000	2000	1,0	6000	3,22·0,15+2,81·0,2 + 2,45·0,2 + 2,05·0,3 + 1,67·0,15	2,4	57612
Lkw	4,0	200	100	-	300	3,86 · 0,55 + 3,08 · 0,45	3,51	4211
		400	200	-	600	18,21 · 0,55 + 13,66 · 0,45	16,16	38790

(l = leichter Lkw; s = schwerer Lkw) Σ 101 kg

Ergebnisse

Durch den Bau der Umgehungsstraße nehmen im innerörtlichen Bereich die CO-Emissionen um 254 kg/24 h oder um 47 % und die NO_x-Emissionen um 56 kg/24 h oder um 64 % ab.

Tabelle C 23: Ergebnisse

	CO	NO _x
	Emissionen (kg/24 h)	
Planfall 0	545	88
Planfall 1	629	79
Planfall 2a	OD 291	32
	UG 242	78
	Σ 533	110
Planfall 2b	OD 291	32
	UG 304	101
	Σ 595	133

OD = Ortsdurchfahrt
 UG = Umgehungsstraße
 Σ = Gesamtemissionen

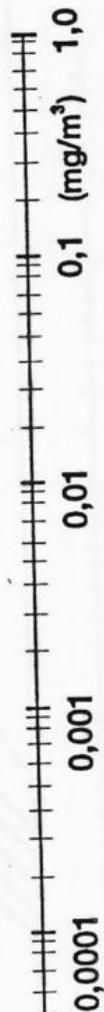
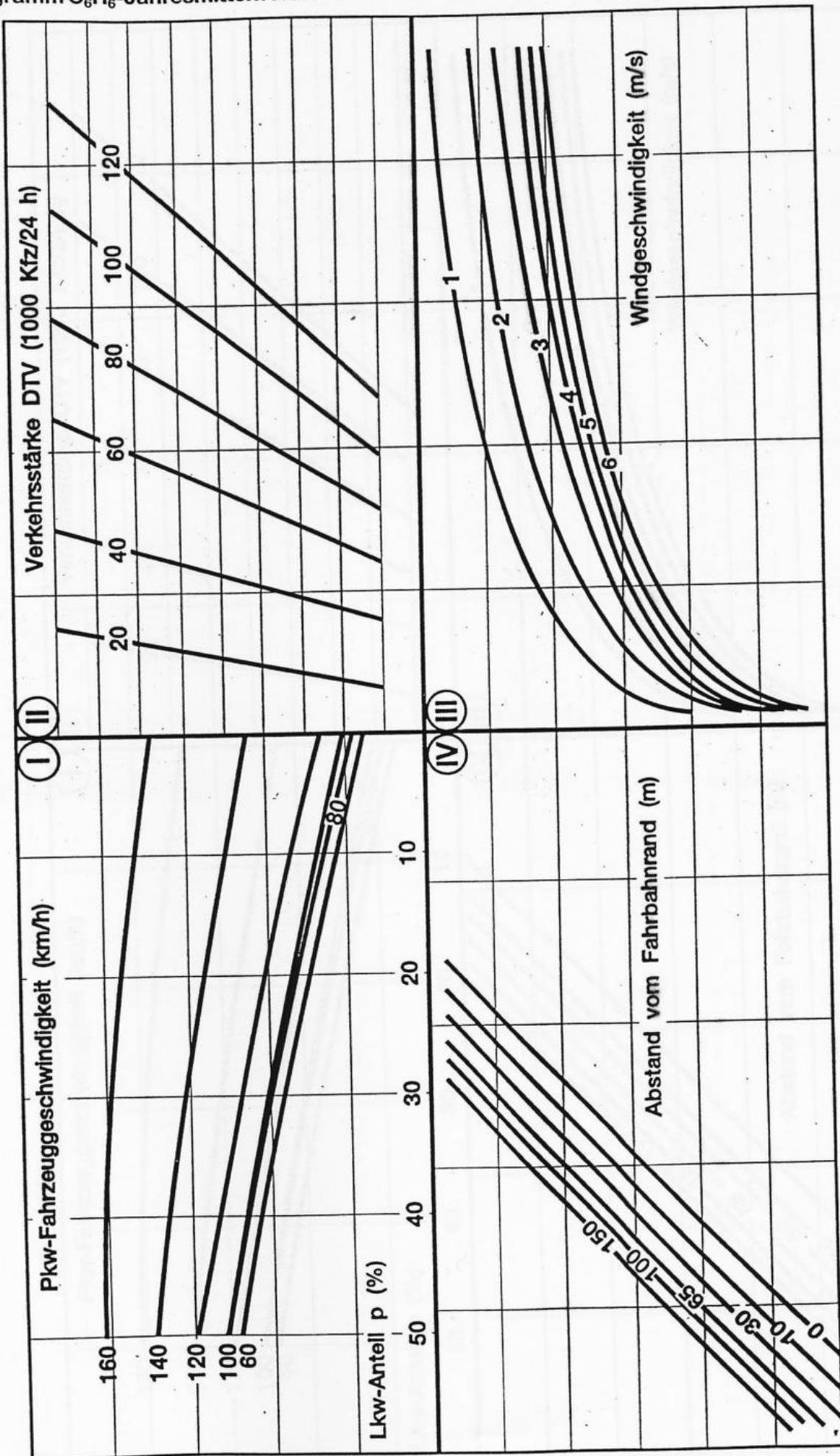
Eine Beurteilung des Planfalles 1 (Umgestaltung der Ortsdurchfahrt ohne Umgehungsstraße) ist aufgrund der Ungenauigkeiten des Abschätzverfahrens nur unter Vorbehalt möglich, da eine methodische Berücksichtigung des Einflusses veränderten Fahrverhaltens (Beschleunigungs- und Bremsanteile) noch nicht möglich ist. Mit den getroffenen Annahmen und Rechenansätzen ergibt sich eine Steigerung der CO-Emissionen um 15 %, eine NO_x-Minderung um 10 %. Die Änderungen sind als marginal einzustufen.

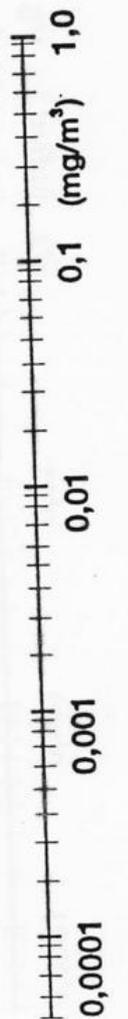
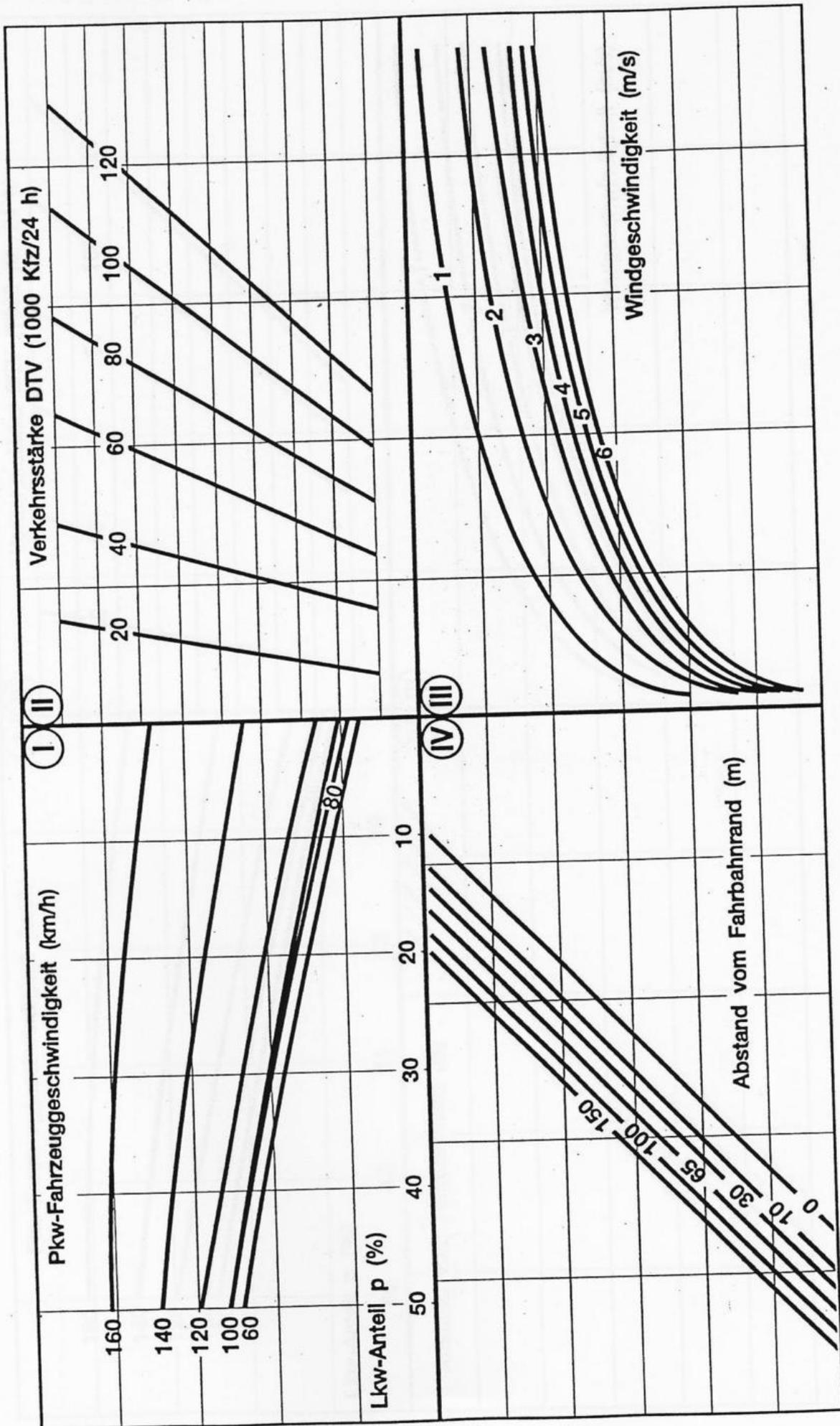
Für den Planfall 2 bleibt die Summe der CO-Emissionen auf Ortsdurchfahrt und Umgehungsstraße im Fall der Variante 2a (zul. Geschwindigkeit: 60 km/h) etwa gleich (-2 %), im Fall der Variante 2b (zul. Geschwindigkeit: 100 km/h) nimmt sie um 9 % zu.

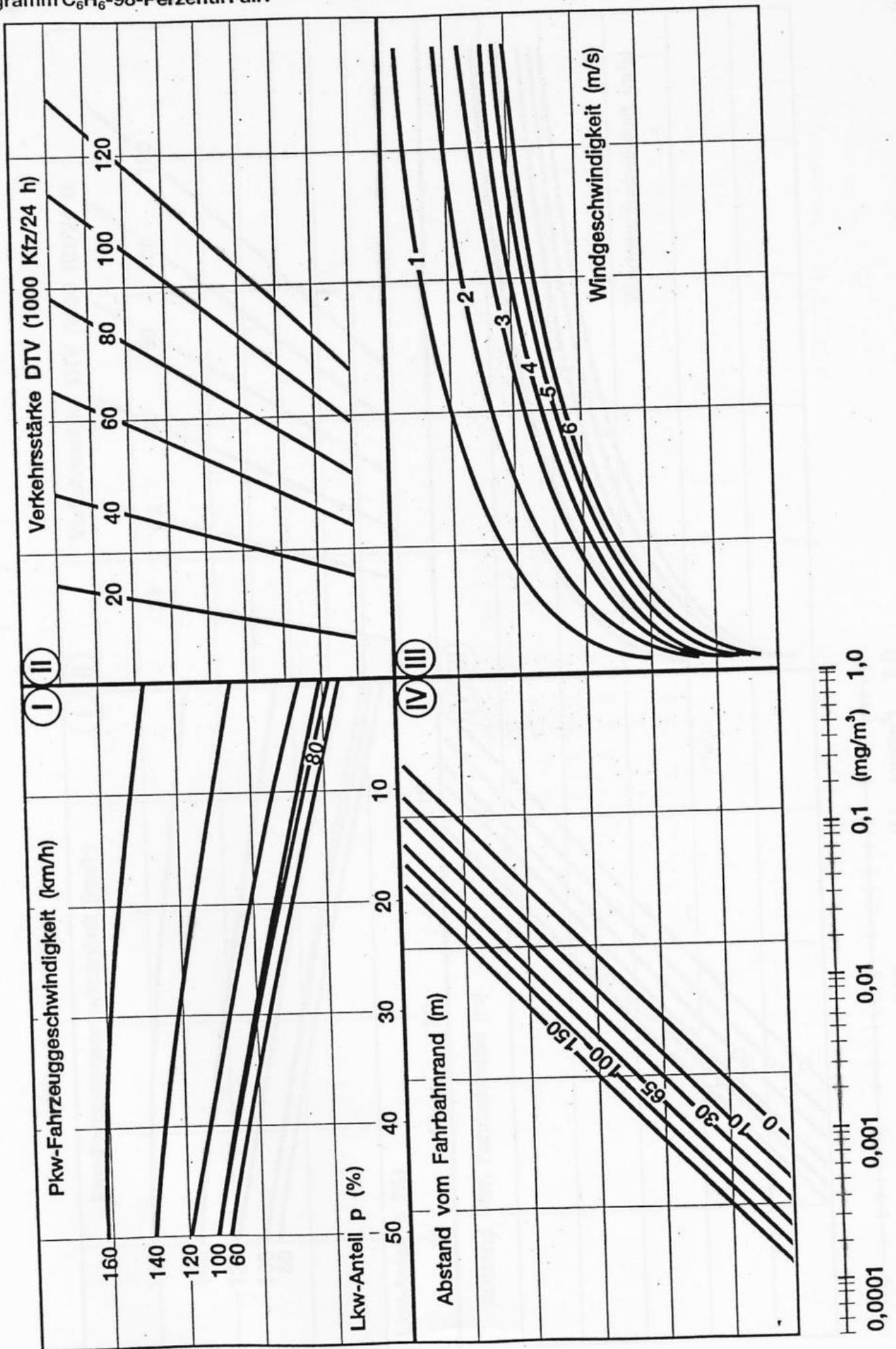
Erwartungsgemäß steigen die NO_x-Emissionen beim Bau einer Umgehungsstraße aufgrund der Umwege und vor allem der höheren Geschwindigkeiten insgesamt deutlich an. Im Fall der Variante 2a (zul. Geschwindigkeit: 60 km/h) um 25 %, im Fall der Variante 2b (zul. Geschwindigkeit: 100 km/h) um 51 %.

Anhang D: Nomogramme zur Bestimmung der Schadstoffbelastungen

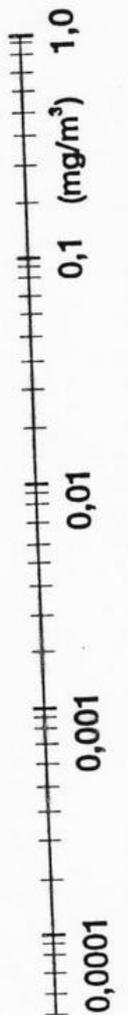
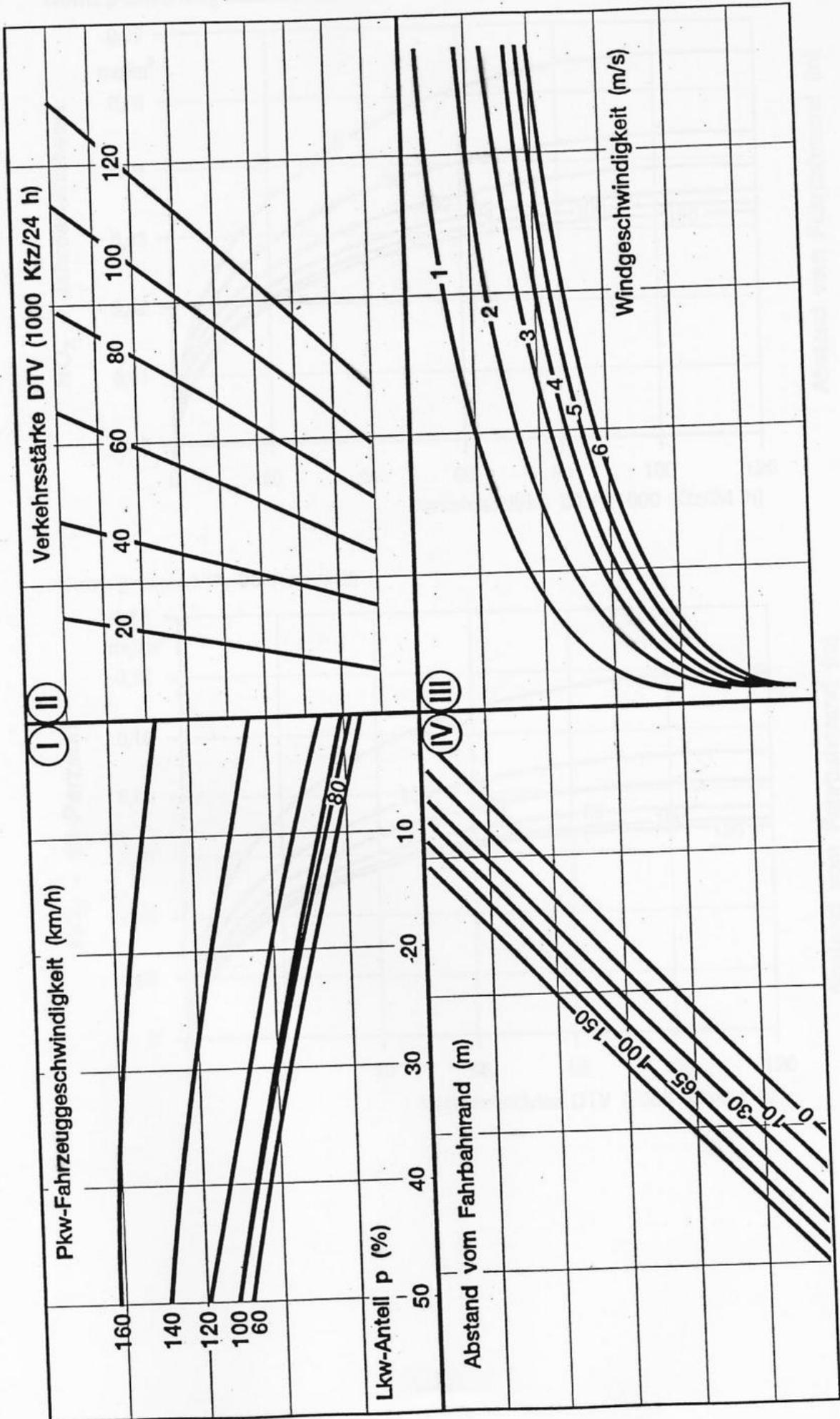
		Seite
Anhang D 1:	Nomogramm C ₆ H ₆ -Jahresmittelwert Fall I	41
Anhang D 2:	Nomogramm C ₆ H ₆ -Jahresmittelwert Fall II	42
Anhang D 3:	Nomogramm C ₆ H ₆ -98-Perzentil Fall I	43
Anhang D 4:	Nomogramm C ₆ H ₆ -98-Perzentil Fall II	44
Anhang D 5:	Nomogramm NO ₂ -Jahresmittelwert	45
Anhang D 6:	Nomogramm NO ₂ -98-Perzentil	45
Anhang D 7:	Nomogramm NO ₂ -98-Perzentil Gesamtbelastung	46



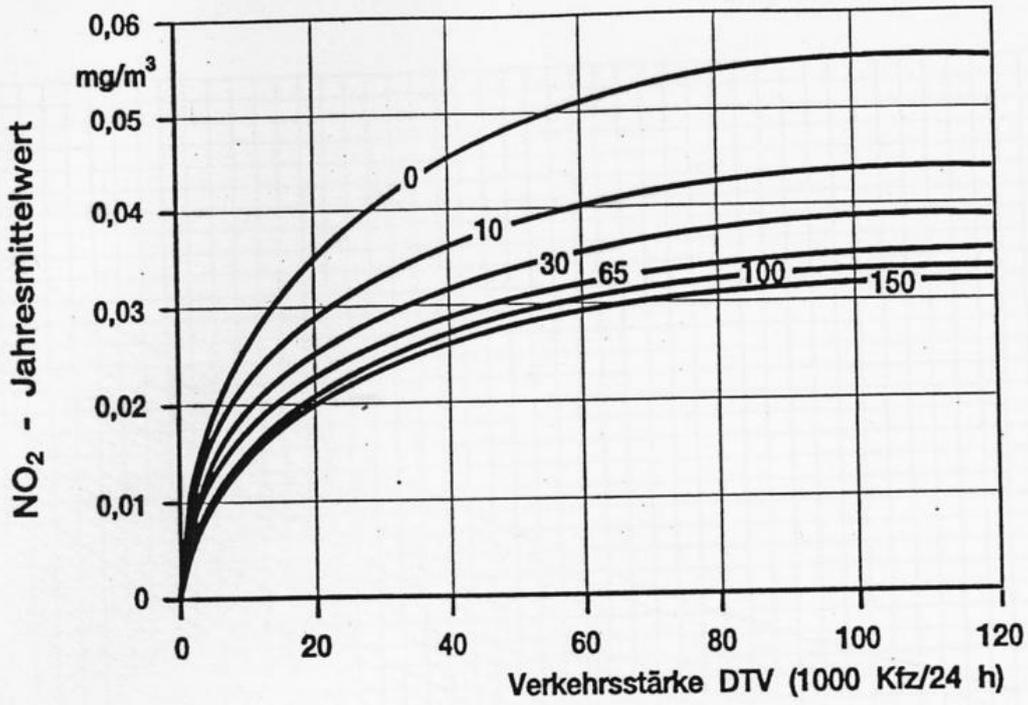




D4

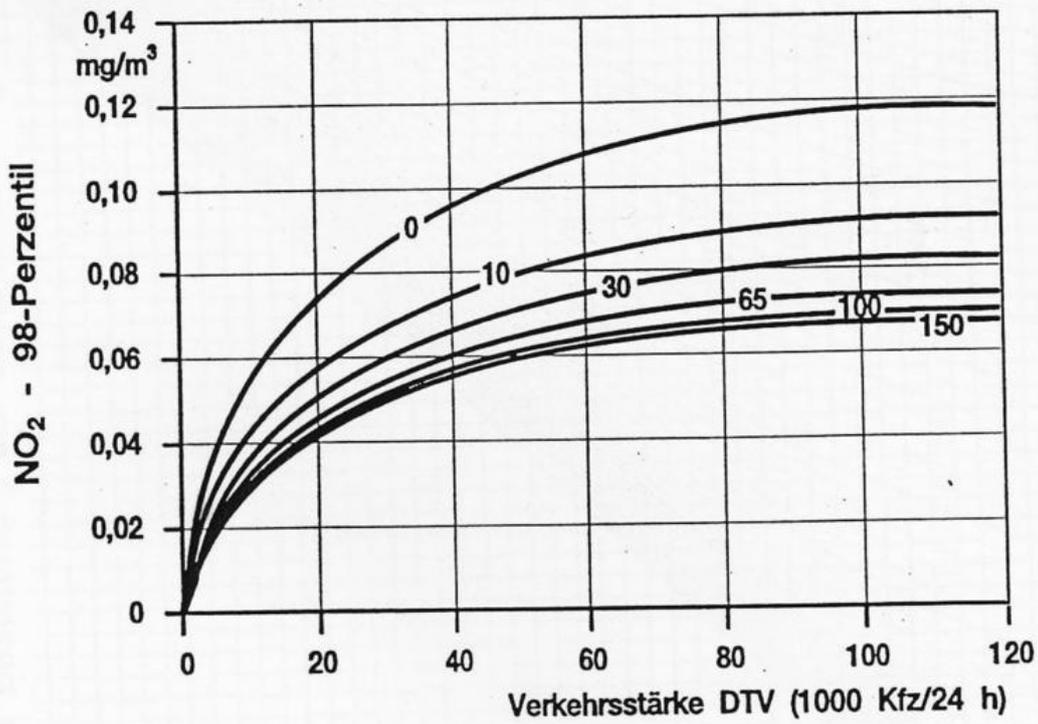


Nomogramm NO₂-Jahresmittelwert



Abstand vom Fahrbahnrand (m)

Nomogramm NO₂-98-Perzentil



Abstand vom Fahrbahnrand (m)

D7

Zusatzbelastung I 2 Z

NO₂-98-Perzentil Gesamtbelastung

