

Potenzial dynamischer Verkehrslenkungsmaßnahmen als Instrument der Luftreinhaltung

V. Diegmann, G. Wiegand

Zusammenfassung. Die Einhaltung der Luftschadstoffgrenzwerte aus der 22. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) an den Orten der höchsten Immissionsbelastung ist zurzeit eine der Hauptaufgaben in der Luftreinhaltung. Entsprechende Luftreinhaltungs- und Aktionspläne enthalten Maßnahmenkataloge zur Vermeidung von Grenzwertüberschreitungen, die vor allem auf den Verkehrsbereich als einer Hauptquelle für verschiedene Luftschadstoffe wie z. B. NO_2 oder PM_{10} abzielen. Verkehrslenkungsmaßnahmen werden dabei derzeit weitgehend dauerhaft umgesetzt. In diesem Beitrag wird exemplarisch untersucht, welchen Einfluss dynamische, d. h. temporäre lokale Verkehrslenkungsmaßnahmen, auf die Immissionsbelastung durch NO_2 und PM_{10} haben. Es wird eine dreistufige immissionsabhängige Reduktionsstrategie vorgestellt, die Spitzen der Immissionsbelastung begrenzt. Auf diese Weise kann eine signifikante Absenkung der Konzentrationen an verkehrsbelasteten Standorten erreicht werden.

Potential of dynamic traffic management as a means of air pollution control

Abstract Compliance with the „22. BImSchV“ limit values at air pollution hotspots is presently a major task in air quality management. Air quality management and clean air action plans comprise measures to avoid limit value exceedances, mostly aimed at the motorised traffic as a main source of several air pollutants (e.g. NO_2 , PM_{10}). In general, those traffic management actions are implemented permanently. The current work investigates the influence of dynamic, i. e. local and temporary traffic management schemes on NO_2 and PM_{10} concentrations in the ambient air. A three-step reduction strategy is presented that depends on the expected concentration levels and cuts the peak exposure. Thus, concentrations at sites with high traffic may be reduced significantly.

1 Einleitung

Europäische und deutsche Verordnungen zur Luftreinhaltung geben Grenzwerte für Luftschadstoffe vor [1 bis 3]. In Deutschland sind zurzeit die Grenzwerte für den Tagesmittelwert von PM_{10} und für den Jahresmittelwert von NO_2 problematisch. Bei Überschreiten der Grenzwerte bzw. der Grenzwerte mit Toleranzmargen sind Luftreinhaltungs- und Aktionspläne aufzustellen, die eine Einhaltung der Grenzwerte gewährleisten sollen. Ein Großteil der darin aufgeführten Maßnahmen betrifft den motorisierten Straßenverkehr, der die Hauptquelle für eine Reihe von Luftschadstoffen, u. a. NO_2 und PM_{10} , darstellt. Neben fahrzeugtechnischen Maßnahmen (z. B. Partikelfilter), die erst im Laufe der Zeit mit sich verringerndem Altbestand wirksam werden, stehen vor allem verkehrstechnische Lenkungsmaßnahmen zur Verfügung.

Die verkehrstechnischen Maßnahmen werden derzeit weitgehend dauerhaft umgesetzt. Dies bedeutet, dass insbesondere die lokalen kleinräumigen Maßnahmen auch zu den

Zeiten wirksam sind, in denen die aktuelle Immissionsituation ein solches Handeln gar nicht erfordert.

Hier liegt der Ansatzpunkt, Maßnahmen zur Minderung der kfz-bedingten Luftschadstoffimmissionen nicht dauerhaft, sondern dynamisch auf die jeweilige Belastungssituation räumlich und zeitlich zugeschnitten anzuwenden. Insbesondere Verkehrsbeschränkungen stellen einen Eingriff dar, der dem Deutschen Städtetag zufolge nur dann in Betracht gezogen werden sollte, wenn andere verkehrliche Maßnahmen nicht die erforderliche Wirkung zeigen [4]. Dieser Forderung kommt eine dynamische Steuerung der Maßnahmen entgegen. Die Stadt Hagen hat bereits mit dem Aufbau einer dynamischen immissionsgesteuerten Verkehrslenkung begonnen. Dort werden bestimmte Straßen für Lkw gesperrt, sobald die Grenzwerte überschritten werden [5]. Für die Region Berlin-Brandenburg wird mit dem Forschungsprojekt „iQ mobility“ ein integriertes Qualitäts- und Mobilitätsmanagement im Straßenverkehr aufgebaut, das auf eine immissionsabhängige Umsetzung räumlich und zeitlich angepasster Steuerstrategien für den Kfz-Verkehr setzt, um die Emissionen des Kfz-Verkehrs zu senken [6].

Um das Potenzial dynamischer Verkehrslenkungsmaßnahmen zu untersuchen, wird im vorliegenden Beitrag eine dreistufige Reduktionsstrategie eingeführt, die in Abhängigkeit von den zu erwartenden Konzentrationswerten wirksam wird und die Spitzen der Immissionsbelastung begrenzt. Die Strategie wird auf zwei verkehrsbelastete Standorte in Darmstadt und Frankfurt am Main, jeweils für die Schadstoffe NO_2 und PM_{10} , angewendet. Die Untersuchungen zeigen die prinzipielle Eignung lokaler temporärer Verkehrssteuerungsmaßnahmen zur Minderung der Immissionen.

2 Grenzwerte mit Zeitbezug

Die europäischen und deutschen Verordnungen zur Luftreinhaltung geben Grenzwerte in Form von Konzentrationswerten gemittelt für verschiedene Zeiträume vor. So werden für NO_2 und PM_{10} sowohl Jahresmittelwerte als auch Stunden- bzw. Tageswerte limitiert [1 bis 3]. Die Festlegung dieser Grenzwerte folgt im Allgemeinen toxikologischen und epidemiologischen Untersuchungen und basiert auf von der World Health Organisation (WHO) vorgegebenen Referenzwerten [7].

Als problematische Grenzwerte in Deutschland sind im Moment der Tagesmittelwert von PM_{10} und der Jahresmittelwert von NO_2 bekannt. Die korrespondierenden Grenzwerte – der Jahresmittelwert von PM_{10} und der Stundengrenzwert von NO_2 – gelten als „weicheres“ Kriterium, wobei beide Grenzwerte in Deutschland auch überschritten werden.

3 Relevanz der Belastungsanteile

Die höchsten Konzentrationen von PM_{10} und NO_2 werden bis auf wenige Ausnahmen in Straßenraumnähe in schlecht

Dipl.-Phys. Volker Diegmann, Dr.-Ing. Götz Wiegand,
IVU Umwelt GmbH, Freiburg.

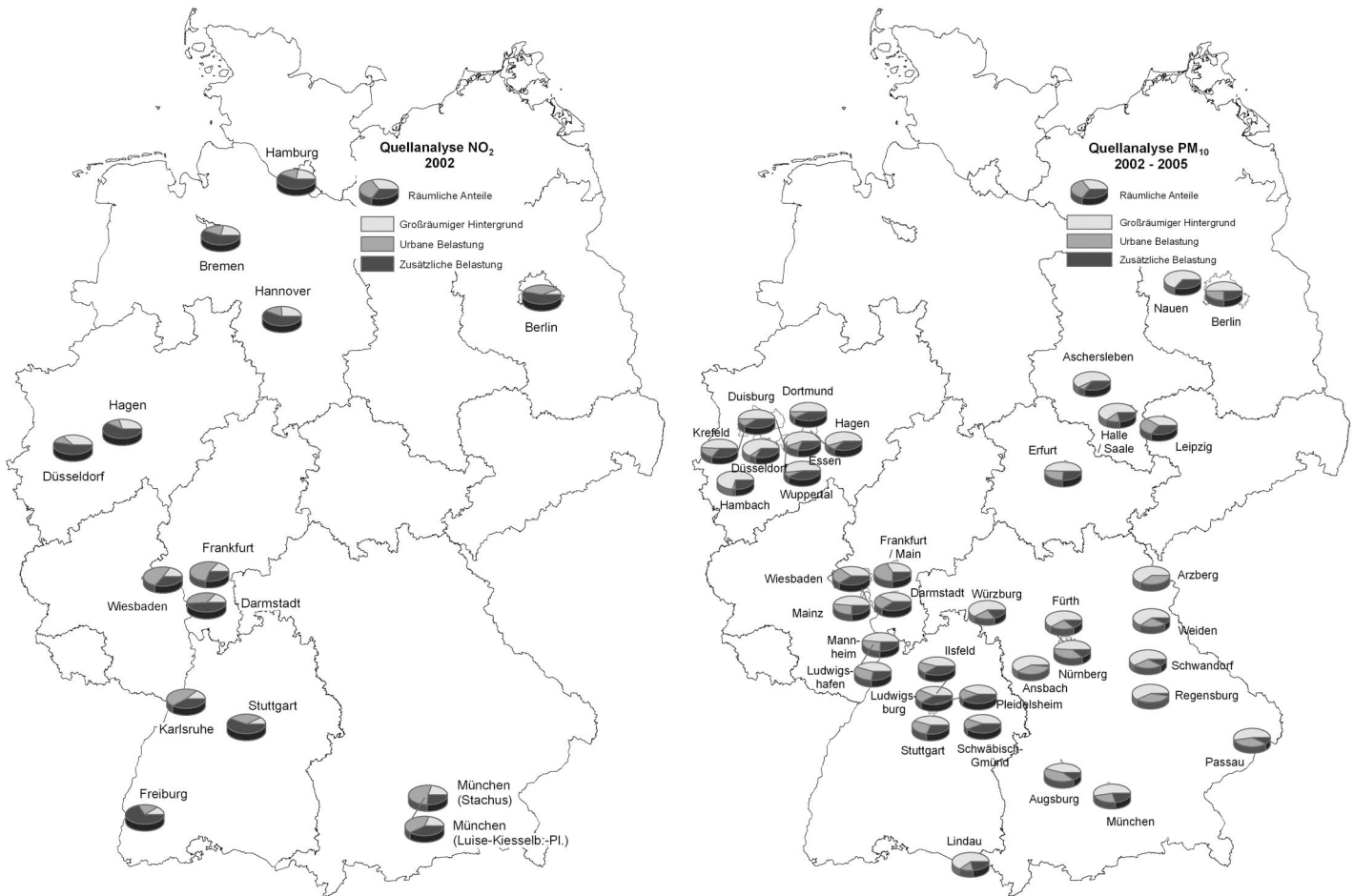


Bild 1. Räumliche Konzentrationsanteile für NO₂ für das Jahr 2002 (links) und für PM₁₀ für die Jahre 2002 bis 2005 (rechts) aus Luftreinhalteplänen [8].

durchlüfteten Straßenschluchten gemessen. Neben einem regionalen Hintergrund und einer urbanen Vorbelastung kommen in diesen Hotspots noch lokale, direkt verkehrsbezogene Immissionsanteile hinzu.

Die Aufteilung der Konzentrationen nach regionaler Hintergrundbelastung, urbaner Vorbelastung und lokaler Zusatzbelastung ist in **Bild 1** dargestellt. Im Bild wird deutlich, dass das Potenzial von städtischen Maßnahmen zur Einhaltung von Grenzwerten bei den Problemstoffen NO₂ und PM₁₀ sehr unterschiedlich ist. So beträgt der jeweilige Anteil der lokalen und der städtischen Belastung bezogen auf den Jahresmittelwert in den Hotspots bei PM₁₀ nur ca. 25 % [8]. Der potenzielle Einfluss lokaler Maßnahmen ist daher bei PM₁₀ begrenzt. Zu einer ähnlichen Aussage kommen *Klingner et al.* [9] bei ihrer Auswertung von Datensätzen des Landes Baden-Württemberg für die Jahre 2001 bis 2005. Der Hauptemittent von PM₁₀ im städtischen Raum ist nach aktueller Datenlage der Verkehr, nur in einzelnen Gebieten im Ruhrgebiet ist der Anteil der Industrie dominant [8; 10]. Die PM₁₀-Immissionen werden jedoch weit stärker als die Stickoxide großflächig durch die Meteorologie (Niederschlag, Wind, Mischungshöhe) beeinflusst [9; 10], was sich u. a. im großen Anteil des Ferntransports von 40 bis 60 % an der PM₁₀-Gesamtbelastung widerspiegelt [8]. Bei NO₂ ist der Anteil der lokalen Belastung deutlich höher, der regionale Anteil liegt je nach Ballungsraum bei 10 bis 25 % [8].

4 Lokale Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen

Das Verkehrsgeschehen kann durch verschiedene Maßnahmen so beeinflusst werden, dass weniger Schadstoffe emittiert werden oder dass sie dort emittiert werden, wo bessere Ausbreitungsbedingungen herrschen und die Bevölkerungsdichte geringer ist. Man kann den Straßenverkehr entweder vermeiden, vermindern oder verlagern. Derartige Maßnahmen haben in jedem Fall Einfluss auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer (z. B. Ziel, Verkehrsmittel-, Routenwahl).

Im Rahmen der Erarbeitung von Luftreinhalte- und Aktionsplänen in den Städten, in denen die Immissionskonzentrationen über den Schadstoffgrenzwerten einschließlich der vorgesehenen Toleranzmargen liegen, kommen insbesondere folgende verkehrlichen Maßnahmen zur Anwendung [8]:

Großräumige Maßnahmen:

- Technische Maßnahmen zur fahrzeugseitigen Reduzierung der Schadstoffemissionen, z. B. kommunale Fahrzeugflotten,
- Maßnahmen zur gesamtstädtischen Reduzierung des Fahrzeugverkehrs durch Stärkung des Umweltverbunds, wie Angebotsverbesserung des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) oder Förderung des Rad- und Fußgängerverkehrs,
- Fahrverbote für nicht schadstoffarme Fahrzeuge in städtischen Teilbereichen,

- Maßnahmen zum Ausbau der Straßeninfrastruktur, z. B. Ausbau von Ortsumgehungen.

Kleinräumige Maßnahmen:

- Reduzierung des Fahrzeugverkehrs durch Verkehrslenkung und Umverteilung im vorhandenen Straßennetz,
- verkehrssteuernde Maßnahmen zur Verbesserung des Kfz-Verkehrsflusses,
- Fahrverbote für nicht schadstoffarme Fahrzeuge in einzelnen Straßenzügen,
- Reduzierung der zugelassenen Fahrgeschwindigkeiten.

In der Regel umfassen die Luftreinhalte- bzw. Aktionspläne je nach Immissionssituation und lokalen Gegebenheiten ein Bündel von gesamtstädtischen und kleinräumigen Maßnahmen. Die Luftreinhaltepläne enthalten vor allem die mittel- und langfristig umsetzbaren Maßnahmen, die Aktionspläne greifen weitgehend auf kleinräumig wirksame und schnell umsetzbare Maßnahmen vorwiegend im Bereich der von Grenzwertüberschreitung betroffenen straßennahen Messstellen zurück.

Wie in Abschn. 1 beschrieben, werden derzeit die meisten der aufgeführten Maßnahmen dauerhaft umgesetzt. Insbesondere Verkehrsbeschränkungen gelten jedoch als schwerwiegender Eingriff in den Straßenverkehr. Hier bietet sich eine dynamische Umsetzung, d. h. eine lokale und zeitliche Beschränkung des Verkehrsverbots an.

5 Prognose der Konzentrationen

Lokale Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen brauchen je nach Schadstoff einen gewissen zeitlichen Vorlauf, typischerweise einige Stunden bis zu zwei Tagen [6; 9; 11], wenn sie dazu eingesetzt werden sollen, die Spitzenbelastung der Luftschadstoffe zu begrenzen. Um Grenzwertüberschreitungen vorhersagen zu können, werden bereits heute von einigen Städten Prognosemodelle für die Luftschadstoffkonzentrationen eingesetzt [z. B. 11; 12]. Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Modellansätze unterschiedlicher Komplexität, die in Abhängigkeit von der Fragestellung und der zur Verfügung stehenden Rechenleistung auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen eingesetzt werden. Präprozessorseitig sind sie häufig an ein meteorologisches Modell angebunden, als Postprozessoren stehen Visualisierungs- und statistische Analysenprogramme zur Verfügung. Weiterführende Prognosesysteme führen auf der Grundlage der Luftschadstoffvorhersage Abschätzungen der Bevölkerungsexposition durch. Eine Diskussion der verschiedenen Modellansätze im Hinblick auf die Luftschadstoffmodellierung findet sich z. B. in [13].

6 Beispiele für die Auswirkung dynamischer Verkehrslenkungsmaßnahmen auf die Konzentrationen

6.1 Allgemeines

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es zu zeigen, welcher Beitrag zur Senkung der Immissionen durch eine dynamische Begrenzung der Spitzenbelastung geleistet werden kann. Im konkreten Anwendungsfall wird dazu eine Prognose der Luftschadstoffkonzentrationen, wie sie in Abschn. 5 beschrieben wurde, benötigt. Die hier dargestellte Studie wurde hingegen auf der Basis von Messwerten aus dem Jahr 2005 durchgeführt.

An den hessischen Messstellen „Hügelstraße, Darmstadt“ und „Friedberger Landstraße, Frankfurt am Main“ wurde

exemplarisch überprüft, welche Auswirkungen die o. g. temporären lokalen Maßnahmen auf die Konzentrationen haben können.

Nur die Zusatzbelastung ist durch lokale Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen reduzierbar. Daher wird eine Strategie eingeführt, die eine Reduzierung der Zusatzbelastung in drei Stufen in Abhängigkeit vom erwarteten Konzentrationswert fordert. Die jeweiligen Reduktionsstufen sowie die zugehörigen Schwellenwerte sind die Ergebnisse einer Optimierung, die darauf abzielt, dass zum einen der Effekt der Reduktionsstrategie möglichst groß wird und zum anderen der zeitliche Anteil der erforderlichen Eingriffe möglichst gering bleibt.

Verkehrslenkende Maßnahmen können zur zeitlichen und/oder räumlichen Verlagerung der Verkehrsströme führen. Die Auswirkung dieser Verdrängungseffekte wird im Rahmen dieser Analyse nicht untersucht.

6.2 NO₂-Stundenmittel

Für NO₂ wird entsprechend der 22. BImSchV [3] ab dem 1. Januar 2010 ein Stundengrenzwert von 200 µg/m³ festgesetzt, der nicht mehr als 18-mal im Jahr überschritten werden darf. Der zulässige Jahresmittelwertgrenzwert wird ab dem 1. Januar 2010 40 µg/m³ betragen. Die drei Stufen der Reduktionsstrategie werden für die folgenden Berechnungen wie folgt definiert:

Bei einer NO₂-Stundenmittelwertkonzentration

> 120 µg/m³: Reduzierung der Zusatzbelastung um 75 %,

> 90 µg/m³: Reduzierung der Zusatzbelastung um 50 %,

> 60 µg/m³: Reduzierung der Zusatzbelastung um 25 %.

Da nur der Anteil der Zusatzbelastung durch lokale verkehrliche Maßnahmen gesenkt werden kann, muss dieser zunächst abgeschätzt werden. Er wird für Darmstadt aus der Differenz der stündlichen Messwerte aus dem Jahr 2005 zwischen der verkehrsbelasteten Station Hügelstraße und der städtischen Hintergrundstation Rudolf-Mueller-Anlage bestimmt (**Bild 2**) und beträgt im Jahresmittel knapp 59 %. Für Frankfurt am Main werden die entsprechenden Daten der verkehrsbelasteten Messstelle Friedberger Landstraße und der städtischen Hintergrundstation Frankfurt-Ost herangezogen. Der Anteil der Zusatzbelastung beträgt hier im Jahresmittel knapp 45 %.

In **Tabelle 1** sind die drei Stufen der Reduktionsstrategie sowie die Anzahl der Überschreitungen durch die Messwerte an den beiden Standorten „Darmstadt Hügelstraße“ und „Frankfurt am Main Friedberger Landstraße“ aufgelistet. Demnach werden die Schwellenwerte der dreistufigen Reduktionsstrategie in der Hügelstraße häufiger überschritten als in der Friedberger Landstraße, wobei die Anzahl der Messungen in Darmstadt höher ist. In beiden Fällen kann der Verkehr in knapp der Hälfte der Stunden des Jahres, bezogen auf die Anzahl der Messwerte, unbeeinflusst durch verkehrslenkende Maßnahmen fließen.

Wird die Gesamtbelastung für das Jahr 2005 betrachtet (**Tabelle 2**), so wird deutlich, dass für diesen Zeitraum in der Hügelstraße in Darmstadt im Jahr 2005 höhere Messwerte bis hin zum Maximalwert auftraten als in der Friedberger Landstraße in Frankfurt/Main. In der Hügelstraße liegt auch die Anzahl der Grenzwertüberschreitungen des Stundengrenzwerts von 200 µg/m³ deutlich über der ab 2010 gesetzlich erlaubten maximalen Anzahl von 18. An beiden Standorten sinkt der Jahresmittelwert mit Reduktionsstrategie nicht unter den ab 2010 geforderten Grenzwert von

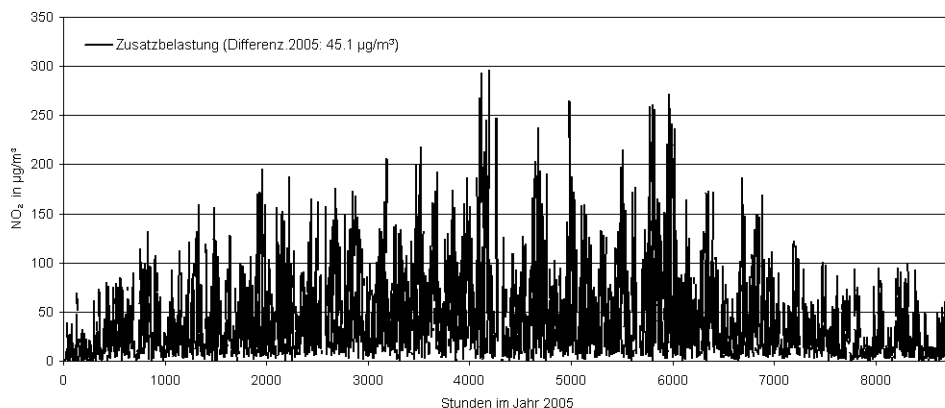
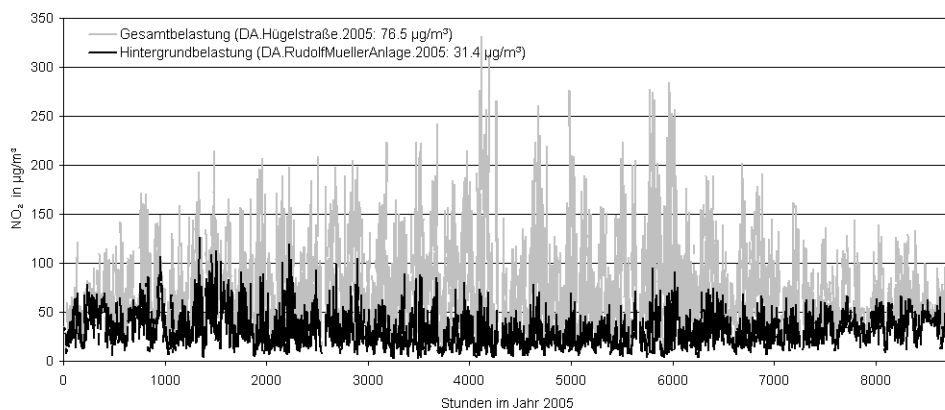


Bild 2. Stundenmittelwerte der NO₂-Konzentration in µg/m³. Oben: Station Hügelstraße (grau) und Station Rudolf-Mueller-Anlage (schwarz). Unten: Zusatzbelastung als Differenz der Konzentrationen zwischen den beiden Stationen. Zeitpunkte, an denen die Differenz negativ ist, sind nicht dargestellt.

	Schwellenwert in µg/m ³	Reduktion in %	Anzahl Überschreitungen DA	Anzahl Überschreitungen FF
Stufe 1	120,0	75	1 188	336
Stufe 2	90,0	50	1 158	1 027
Stufe 3	60,0	25	1 885	2 233
Erforderliche Eingriffe			4 231 von 7 590 Werten (55,7 %)	3 596 von 6 784 Werten (53,0 %)

Tabelle 1. Stufen der Reduktionsstrategie und Anzahl der Überschreitungen für „Darmstadt Hügelstraße“ (DA) und „Frankfurt am Main Friedberger Landstraße“ (FF).

Kennwert		Min.	Mittel	Max.	Anzahl Überschreitungen
		Gesamtbelastung in µg/m ³	DA 8,0	76,5	
	FF	8,0	65,7	240,5	5
reduzierte Belastung in µg/m ³	DA	8,0	54,7	134,8	0
	FF	8,0	56,9	139,4	0
Reduktion in %	DA	0	28,5	59,3	100
	FF	0	13,4	42,0	100

Tabelle 2. Kennwerte der gemessenen und der reduzierten Gesamtbelastung und Anzahl der Überschreitungen des NO₂-Stundengrenzwerts von 200 µg/m³ für Darmstadt (DA) und Frankfurt am Main (FF). Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

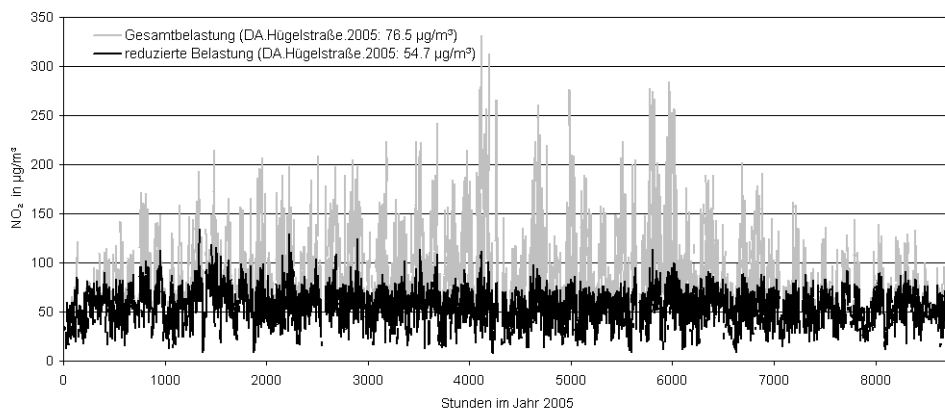


Bild 3. NO₂-Konzentration in der Hügelstraße ohne verkehrsbeeinflussende Maßnahmen (grau) und mit verkehrsbeeinflussenden Maßnahmen (schwarz).

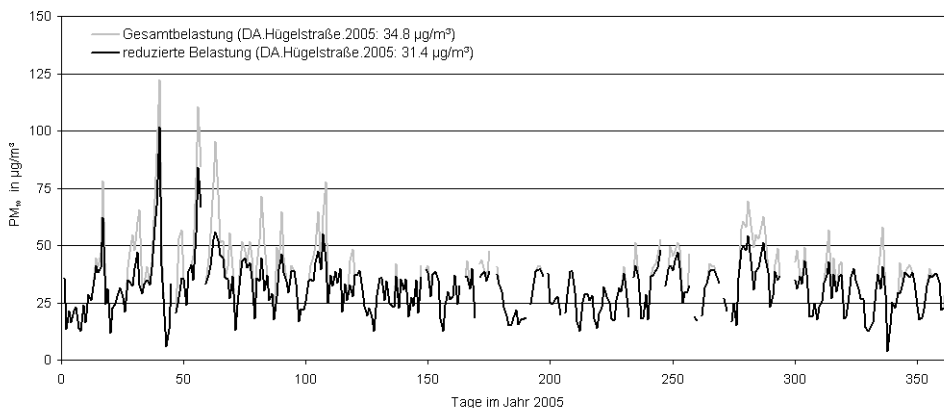
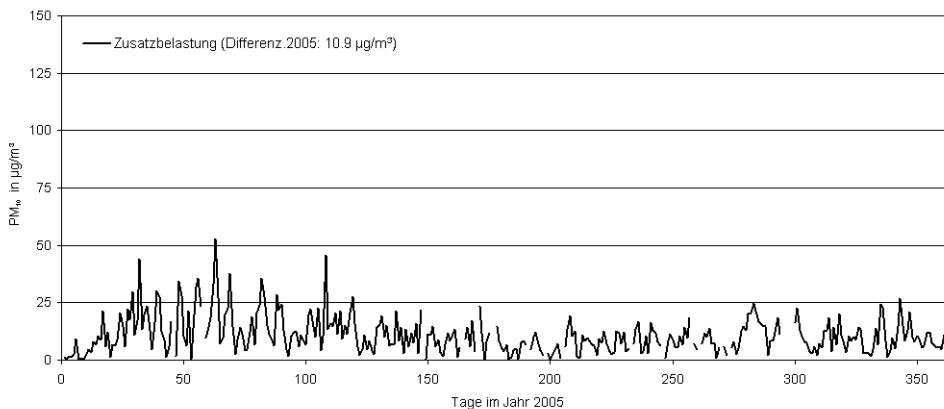
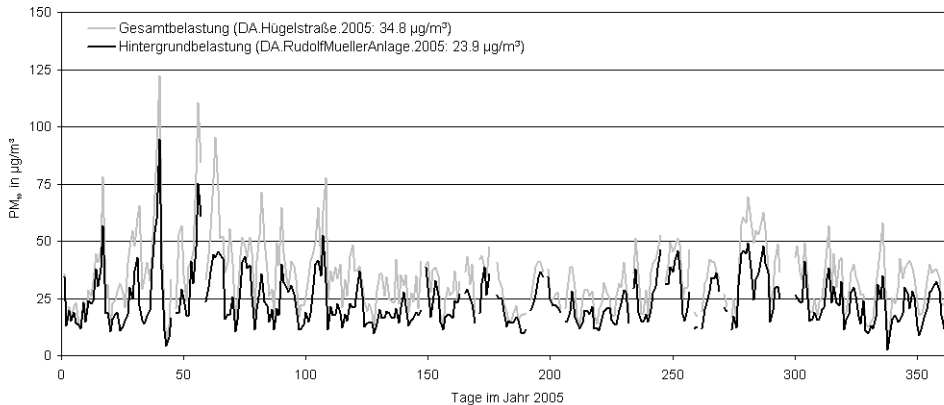


Bild 4. Tagesmittelwerte der PM_{10} -Konzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Station Hügelstraße (grau) und Station Rudolf-Mueller-Anlage (schwarz). Unten: Zusatzbelastung als Differenz der Konzentrationen zwischen den beiden Stationen. Zeitpunkte, bei denen die Differenz negativ ist, sind nicht dargestellt.

Bild 5. PM_{10} -Tagesmittelwert in der Hügelstraße ohne verkehrsbeeinflussende Maßnahmen (grau) und mit verkehrsbeeinflussenden Maßnahmen (schwarz).

$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dies ist auch kaum zu erwarten, da in der Hügelstraße bei einem verhältnismäßig hohen Mittelwert der Hintergrundbelastung von $31,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eine hohe Zusatzbelastung vorliegt und in der Friedberger Landstraße bereits der Mittelwert der Hintergrundbelastung mit $37,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dicht am Grenzwert liegt. Der Jahresmittelwert wird jedoch mit der Reduktionsstrategie in beiden Fällen deutlich reduziert, in der Friedberger Landstraße um rund 13 %, in der Hügelstraße um rund 28 %. Das Kriterium des NO_2 -Stundengrenzwerts von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, das von den Messwerten in der Hügelstraße signifikant verletzt wird, wird mit der Reduktionsstrategie eingehalten; an beiden Standorten treten keine Überschreitungen mehr auf. Bild 3 stellt die zeitlichen Verläufe der gemessenen und der reduzierten Gesamtbelastung für die Hügelstraße gegenüber und zeigt den Einfluss der Reduktionsstrategie.

6.3 PM_{10} -Tagesmittel

Für PM_{10} ist derzeit entsprechend der 22. BImSchV [3] ein Tagesmittelwertgrenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgesetzt, der nicht mehr als 35-mal im Jahr überschritten werden darf. Der zulässige Jahresmittelwertgrenzwert beträgt $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die drei Stufen der Reduktionsstrategie werden für PM_{10} wie folgt definiert:

PM_{10} -Tagesmittelwert

- $> 45,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$: Reduzierung der Zusatzbelastung um 75 %,
- $> 42,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$: Reduzierung der Zusatzbelastung um 50 %,
- $> 40,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$: Reduzierung der Zusatzbelastung um 25 %.

Für PM_{10} wird die Zusatzbelastung aus der Differenz der tagesgemittelten Messwerte aus dem Jahr 2005 zwischen einer verkehrsnahen Station und einer städtischen Hintergrundstation bestimmt. Wie zuvor für NO_2 werden dazu in Darmstadt die Stationen Hügelstraße und Rudolf-Mueller-Anlage herangezogen und in Frankfurt am Main die

Tabelle 3. Stufen der Reduktionsstrategie und Anzahl der Überschreitungen für Darmstadt Hügelstraße (DA) und Frankfurt am Main Friedberger Landstraße (FF).

	Schwellenwert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Reduktion in %	Anzahl Überschreitungen DA	Anzahl Überschreitungen FF
Stufe 1	45,0	75	66	71
Stufe 2	42,5	50	14	12
Stufe 3	40,0	25	27	13
Erforderliche Eingriffe			107 von 346 Werten (30,9%)	96 von 327 Werten (29,4%)

Kennwert	Min.	Mittel	Max.	Anzahl Überschreitungen	
Gesamtbelastung in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	DA	3,9	34,8	122,4	44
	FF	6,7	34,0	111,9	49
reduzierte Belastung in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	DA	3,9	31,4	101,6	13
	FF	6,7	31,3	105,2	19
Reduktion in %	DA	0	9,8	17,0	70,5
	FF	0	7,9	6,0	61,2

Tabelle 4. Kennwerte der gemessenen und der reduzierten Gesamtbelastung und Anzahl der Überschreitungen des PM_{10} -Tagesmittelwertgrenzwerts von derzeit $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Darmstadt (DA) und Frankfurt am Main (FF). Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

		NO_2 Hügelstraße (DA)	NO_2 Friedberger Landstraße (FF)	PM_{10} Hügelstraße (DA)	PM_{10} Friedberger Landstraße (FF)
Maßnahmenbeschreibung in		Abschn. 6.2	Abschn. 6.2	Abschn. 6.3	Abschn. 6.3
Jahresmittelwert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ohne	76,5	65,7	34,8	34,0
	mit	54,7	56,9	31,4	31,3
Reduktion in %		28	13	10	8
Maximum in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ohne	331,5	240,5	122,4	111,9
	mit	134,8	139,4	101,6	105,2
Reduktion in %		59	42	17	6
Anzahl Überschreitungen	ohne	116	5	44	49
	mit	0	0	13	19
Reduktion in %		100	100	70	61
Eingriffe in %		56	53	31	29

Tabelle 5. Zusammenfassung der Ergebnisse von Abschn. 6. Jahresmittelwert, Maximalwert und Anzahl der Überschreitungen des NO_2 -Stundengrenzwerts bzw. des PM_{10} -Tagesmittelwertgrenzwerts im Jahr 2005, jeweils ohne und mit temporären verkehrsbeeinflussenden Maßnahmen sowie die prozentuale Reduktion. Erforderlicher zeitlicher Anteil der Eingriffe in den Verkehrsablauf.

Stationen Friedberger Landstraße und Frankfurt-Ost. Der Anteil der Zusatzbelastung an der Gesamtbelastung liegt für die Hügelstraße bei rund 31 % und für die Friedberger Landstraße bei rund 26 %. Er ist damit in beiden Fällen deutlich niedriger als die entsprechenden Anteile für NO_2 , sodass auch das Reduktionspotenzial geringer ist. In **Bild 4** sind beispielhaft die zeitlichen Verläufe von Gesamt-, Hintergrund- und Zusatzbelastung für Darmstadt dargestellt.

Tabelle 3 zeigt die Anzahl der Überschreitungen für die drei Stufen der Reduktionsstrategie an den beiden Standorten. Demnach konnte der Verkehr sowohl in der Hügelstraße als auch in der Friedberger Landstraße an zwei Dritteln der Tage im Jahr 2005 unbeeinflusst durch verkehrslenkende Maßnahmen fließen. Die Stufen der Reduktionsstrategie werden in der Hügelstraße im Mittel ähnlich häufig überschritten wie in der Friedberger Landstraße, wobei die niedrigste Stufe häufiger und die höchste seltener erreicht wird. Das Ergebnis der Reduktionsstrategie ist in **Tabelle 4** aufgeführt, die entsprechenden zeitlichen Verläufe werden für die Hügelstraße in **Bild 5** gezeigt. Der Jahresmittelwert sinkt für die Hügelstraße um knapp 10 % und für die Friedberger Landstraße um knapp 8 %, liegt jedoch auch bei den Messwerten bereits unter dem derzeit vorgeschriebenen Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Tagesmittelwertgrenzwert (maximal 35 Überschreitungen des Tagesmittelwerts von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wird von den gemessenen Werten im Jahr 2005 mit 44 bzw. 49 Überschreitungen deutlich übertroffen. Nach Reduktion ergibt sich eine signifikant niedrigere Anzahl von 13 bzw. 19

Grenzwertüberschreitungen, was einer Minderung von rund 70 % für die Hügelstraße und von rund 61 % für die Friedberger Landstraße entspricht. Der Tagesmittelwertgrenzwert wird damit eingehalten.

7 Zusammenfassung und Ausblick

An den Beispielen der hessischen Verkehrsmessstellen „Hügelstraße, Darmstadt“ und „Friedberger Landstraße, Frankfurt am Main“ wird gezeigt, dass es möglich ist, durch lokale temporäre verkehrssteuernde Maßnahmen sowohl die PM_{10} - als auch die NO_2 -Konzentration deutlich abzusenken.

Beim NO_2 -Jahresmittelwert liegt die Vorbelastung in den beiden Fällen dicht unter dem Grenzwert. Durch die Reduktionsstrategie wird dennoch eine signifikante Absenkung erreicht (von $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. von $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, entspricht einer Reduktion um 28 bzw. 13 %). Die Maximalwerte werden stark reduziert. Das „weichere“ Kriterium des NO_2 -Stundengrenzwerts (maximal 18 Überschreitungen von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$), das in der Hügelstraße (DA) mit 116 Überschreitungen deutlich übertroffen wurde, wird durch die temporären lokalen Maßnahmen eingehalten. In etwa der Hälfte der Stunden des Jahres 2005 kann der Verkehr ungestört fließen.

Der PM_{10} -Tagesmittelwertgrenzwert wird in beiden Straßen deutlich häufiger überschritten als zulässig (44 bzw. 49 Überschreitungen des Tagesmittelwerts von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). In

beiden Fällen werden die Konzentrationen durch die temporären verkehrsbeeinflussenden Maßnahmen so abgesenkt, dass die Grenzwerte eingehalten werden (13 bzw. 19 Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg/m³, entspricht einer Reduktion um 70 bzw. 61 %). An zwei Dritteln der Tage im Jahr 2005 kann der Verkehr ungestört fließen. Die Effektivität von temporären Maßnahmen ist verfahrensbedingt bei Kurzzeitkennwerten am höchsten. So werden die Anzahl der Überschreitungen des Stundengrenzwerts bei NO₂ mit der beschriebenen Strategie auf Null reduziert und die Anzahl der Überschreitungstage bei PM₁₀ unter den maximal zulässigen Wert gebracht. Die Effektivität bei den Jahresmittelwerten ist dementsprechend geringer, da in diese alle Werte eines Jahres einfließen, von denen ein großer Anteil nicht durch die temporären Maßnahmen betroffen ist. Trotzdem wird eine signifikante Minderung erreicht, die z. B. in Kombination mit anderen Maßnahmen geeignet ist, den Jahresgrenzwert von NO₂ ab 2010 einzuhalten. Diese Studie zeigt die prinzipielle Eignung temporärer verkehrsbeeinflussender Maßnahmen zur Absenkung der Konzentrationen an verkehrsbelasteten Standorten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für die gezeigten Beispiele der Verlauf

der Konzentrationswerte als bekannt vorausgesetzt wird. Im konkreten Anwendungsfall wird die Reduktionsstrategie auf der Basis von Prognosewerten durchgeführt, sodass durch den unvermeidlichen Prognosefehler ein Element der Unsicherheit eingeführt wird. Vor einer Generalisierung der Ergebnisse sollte eine intensive Sensitivitätsstudie an unterschiedlichen Standorten durchgeführt werden.

Wie die Reduktionsstrategie umgesetzt werden kann, ist derzeit Gegenstand des Forschungsprojekts „iQ mobility – Verkehrsmittelübergreifendes Qualitätsmanagement im straßengebundenen Verkehr“, das u. a. zum Ziel hat, den Einfluss verschiedener verkehrstechnischer und verkehrsorganisatorischer Maßnahmen auf die Emissionen des Straßenverkehrs zu ermitteln. Dazu ist ein entsprechender Feldversuch in einem hoch belasteten Straßenzug der Berliner Innenstadt im Jahr 2007 in Vorbereitung [6].

Danksagung

Die Autoren danken Frau Dr.-Ing. Lina Neunhäuserer (IVU Umwelt GmbH) für wertvolle Anregungen und die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Literatur

- [1] Richtlinie 96/62/EG des Rates über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität vom 27. September 1996. ABl. EG Nr. L 296 vom 21. November 1996, S. 55-63.
- [2] Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft. ABl. EG Nr. L 163 vom 29. Juni 1999, S. 41-60.
- [3] Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft – 22. BImSchV) vom 11. September 2002. BGBl. I, S. 3626.
- [4] Lahl, U.; Steven, W.: Verkehrslenkung und -beschränkung. Rechtlich zulässige Handlungsmöglichkeiten der Luftreinhaltungspolitik. Internationales Verkehrswesen 57 (2005) Nr. 4, S. 131-135.
- [5] Luftreinhaltungsplan für den Bereich Hagen Innenstadt. Hrsg.: Bezirksregierung Arnsberg. Arnsberg 2004.
- [6] Gehler, R.: iQ mobility – Verkehrsmittelübergreifendes Qualitätsmanagement im straßengebundenen Verkehr. Vortrag im Rahmen der Veranstaltung „Praktische Erfahrungen zur Verringerung der verkehrsbedingten Luftschadstoffbelastungen in Städten“ der Stiftung heureka in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Städtetag. Berlin, 6. März 2006.
- [7] Air quality guidelines for Europe, 2nd edition. WHO Regional Publications, European Series, No. 91, 2000.
- [8] Diegmann, V.; Pfäfflin, F.; Wiegand, G.; Wursthorn, H.; Dünnebeil, F.; Helms, H.; Lambrecht, U.: Maßnahmen zur Reduzierung von Feinstaub und Stickstoffdioxid. Endbericht. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, UFOPLAN 204 42 222. Dessau 2006.
- [9] Klingner, M.; Sähn, E.; Anke, K.; Holst, T.; Rost, J.; Mayer, H.; Ahrens, D.: Reduktionspotenziale verkehrsbeschränkender Maßnahmen in Bezug zu meteorologisch bedingten Schwankungen der PM₁₀- und NO_x-Immissionen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 66 (2006) Nr. 7/8, S. 326-334.
- [10] Anke, K.; Sähn, E.; Klingner, M.; Wolf, U.: Intensität und Nachwirkung meteorologischer Einflussfaktoren auf die PM₁₀-Konzentration. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 65 (2005) Nr. 1/2, S. 41-48.
- [11] Baklanov, A.; Hänninen, O.; Slørdal, L. H.; Kukkonen, J.; Bjergene, N.; Fay, B.; Finardi, S.; Hoe, S. C.; Jantunen, M.; Karpinen, A.; Rasmussen, A.; Skouloudis, A.; Sokhi, R. S.; Sørensen, J. H.: Integrated Systems for forecasting urban meteorology, air pollution and population exposure. Atmos. Chem. Phys. Discuss. 6 (2006), S. 1867-1913.
- [12] Memmesheimer, M.; Friese, E.; Ebel, A.; Jakobs, H. J.; Feldmann, H.; Kessler, C.; Piekorz, G.: Long-term simulations of particulate matter in Europe on different scales using sequential nesting of a regional model. Int. J. Environm. Poll. 22 (2004) Nr. 1/2, S. 108-132.
- [13] Pfeiffer, H.: Neural modelling of the spatial distribution of air pollutants. A new method developed considering as example Cyprus. Dissertation, Institut für Geographie der Universität Stuttgart 2006.