

Trend der verkehrsbedingten Luftbelastung durch Stickstoffoxid und Benzol in Ballungsgebieten der BRD. Besteht Anlass zur Entwarnung?

Prof.Dr.rer.nat.Axel Zenger
Fachhochschule Mainz

Zusammenfassung

Entsprechend den Vorgaben der EU wird der Grenzwert für den Jahresmittelwert der NO₂-Immission ab dem Jahr 2001 von 80 µg/m³ bis zum Jahr 2010 auf 40 µg/m³ gesenkt. Auch für das krebserregend Benzol wird die tolerierbare Immissionsbelastung bis zum Jahr 2010 auf 5 µg/m³ (als Jahresmittel) herabgesetzt. Es stellt sich die Frage, ob durch die langfristige Planung der Grenzwerte noch besondere verkehrspolitische Maßnahmen erforderlich sind, oder ob der erwartete Emissionsrückgang in den nächsten Jahren ausreicht, mittelfristig ein Einhalten der NO₂- und Benzol-Grenzwerte zu gewährleisten. Ziel der vorgestellten Untersuchung ist es zu überprüfen, ob bestehende Vorhersagen zur Entwicklung der Luftqualität aufgrund der Beobachtungen in den letzten 6 Jahren auch an Immissionsschwerpunkten in Siedlungsgebieten aufrecht gehalten werden können. Dazu wurde die Entwicklung der Emissionen an straßennahen Messstationen in Stadtgebieten zwischen 1995 und 2000 für unterschiedliche Verkehrssituationen, Lkw-Anteile sowie Fahrtlängenverteilungen modelliert. Parallel erfolgte eine Analyse des zeitlichen Verlaufs der Stickstoffoxid- und Benzol-Immissionskonzentrationen an 80 verkehrsnahen Messstationen in verschiedenen Bundesländern der BRD zwischen 1995 und 2000.

Der Vergleich des prognostizierten Emissions- und gemessenen Immissionstrends ergab, dass der gemessene Rückgang der Benzol-Immissionen an verkehrsnahen Straßen-Messstationen zwischen dem Jahr 1995 und 2000 gut mit den Ergebnissen aus der Emissionsmodellierung übereinstimmt. Der gemessene Rückgang der NO_x - Immissionen fällt jedoch geringer aus als erwartet. Auch für NO₂ wurde ein viel geringerer Rückgang der Immissionsbelastung gemessen als prognostiziert.

Einleitung

Die Luftbelastung in der BRD hat sich in den letzten Jahrzehnten aufgrund technischer Maßnahmen deutlich verbessert. Seit der Einführung von Kfz-Katalysatoren, der Reduzierung des Schwefel und Benzolgehaltes im Benzin, der Modernisierung der Heizungsanlagen und der Entschwefelung, Entstickung und Entstaubung der Kraftwerksabgase sinken die Emissionen und damit auch die Immission von vielen toxikologisch relevanten Luftschadstoffen in Ballungsgebieten. Der Gesetzgeber nutzte die Zeit des „Aufatmens“ wiederholt zur Überprüfung der Grenzwerte. Während z.B. der Grenzwert für den Jahresmittelwert der NO₂-Belastung in der EU-Richtlinie 1999/30/EG im Jahr 2001 aufgrund der Toleranzmarge von 50% noch mit 80 µg/m³ festgelegt ist, sinkt er bis zum Jahr 2010 auf 40 µg/m³ (EU, 1999). Damit wird im Jahr 2010 endlich der Vorgabewert der Weltgesundheitsorganisation erreicht. Die WHO begründet die Notwendigkeit eines Jahresmittelwertes von 40 µg/m³ unter anderem damit, dass die existierenden Untersuchungen darauf hindeuten, dass länger einwirkende NO₂-Konzentrationen ab 50-75 µg/m³ Auswirkungen auf die Atmung bei Kindern hervorrufen (WHO, 1999). Auch für das krebserregend Benzol wird die tolerierbare Immissionsbelastung von 15 bzw. 10 µg/m³, das war der Prüfwert nach dem § 40.2 BImSchG i.V. mit der 23 BImSchV vor bzw. ab 1998, bis zum Jahr 2010 auf 5 µg/m³ (Jahresmittel) gesenkt. Die Zielvorstellung des LAI, die maximal erlaubte Benzolbelastung langfristig auf 2,5 µg/m³ festzusetzen, hat sich leider nicht durchgesetzt.

An die Erfolge verbesserter Abgasreinigung und die daraus resultierende sinkende Luftschadstoffbelastung gewöhnt, besteht in vielen Städten die Hoffnung, dass durch die langfristige Planung der Grenzwerte keine besonderen Maßnahmen in der Verkehrspolitik erforderlich sind. Es stellt sich die Frage, ob der erwartete Emissionsrückgang in den nächsten Jahren ausreicht, mittelfristig ein Einhalten z.B. der NO₂- und Benzol-Grenzwerte zu gewährleisten. Nach bestehenden Prognosen kommt es zwischen den Jahren 1990 und 2020 in der BRD zu einem Rückgang der Kfz-bedingten NO_x-Emissionen um 81% (IFEU, 2000). Und dies trotz eines erwarteten Anstieg der Fahrleistung zwischen 1990 und 2020 um 44%. Ziel der vorgestellten Untersuchung ist es zu überprüfen, ob derartige Vorhersagen aufgrund der gemessenen Immissionsentwicklung auch an Belastungsschwerpunkten in Siedlungsgebieten aufrecht erhalten werden können. Nur wenn die Immissionsentwicklung in der Vergangenheit richtig abgeleitet werden kann, ist auch eine verlässliche Prognose des Emissions- und damit Immissionstrends für die Zukunft möglich. Und dies ist eine notwendige Voraussetzung um zu klären, ob umweltpolitische Maßnahmen eingeleitet werden müssen oder nicht.

Angehensweise

Ziel der Untersuchung war zu untersuchen, ob sich die NO_x-, und Benzol-Emissionen und damit auch die zugehörigen Immissionen in Stadtgebieten reduziert haben und ob dieser Rückgang in Einklang mit den Erwartungen steht. Dazu wurde

1. die Entwicklung der Emissionen an straßennahen Messstationen in Stadtgebieten entsprechend dem Handbuch für Emissionsfaktoren (Version 1.2, UBA, 1999) zwischen den Jahren 1995 und 2000 für unterschiedliche Verkehrssituationen, Lkw-Anteile sowie Fahrtlängenverteilungen modelliert
2. der zeitliche Verlauf der Stickstoffoxid- und Benzol- Immissionskonzentrationen an 80 verkehrsnahen Messstationen in verschiedenen Bundesländern der BRD zwischen 1995 und 2000 analysiert.

Die modellierten Emissionsmassenströme [g/m/s] und die gemessenen Immissionen [g/m³] können jedoch nicht direkt verglichen werden. Daher wurden beide Größen auf ein Bezugsjahr normiert und die zeitliche Änderung der jeweiligen Größe betrachtet. Das war auch notwendig, da nur so Immissionstrends verschiedener Messstationen mit unterschiedlicher Belastung gemittelt und als statistisches Kollektiv ausgewertet werden konnten.

Emissionsmodellierung

Die zeitliche Entwicklung der Kfz-bedingten NO_x- und Benzol-Emission in Stadtgebieten wurde mit Hilfe des Handbuches für Emissionsfaktoren Version 1.2 (UBA, 1999) ermittelt. Folgende Annahmen liegen dabei zugrunde:

- ein Fahrzeug- Kollektiv in der BRD entsprechend dem spezifizierten Basisszenarios 1994 bis 2020
- die Region Deutschland Mittel
- die Jahresmitteltemperatur
- Standzeiten entsprechend D-Mittel

Um die Sensitivität verschiedener Einflussfaktoren zu berücksichtigen erfolgte die Emissionsmodellierung für

- 6 verschiedene Innerortsverkehrssituationen und 2 verschiedene Fahrtlängenverteilungen

- einen Lkw-Anteil zwischen 4% und 8%
- 2 unterschiedliche, den Kaltstartzuschlag beeinflussende Fahrtlängenverteilung (Friedrich, 1999)

Um einen, von den absoluten Emissionen unabhängigen Trend zu erhalten, wurden die Jahresmittelwerte auf den Wert im Jahr 1995 normiert. Es ergibt sich das in der Abb.1 dargestellte Ergebnis.

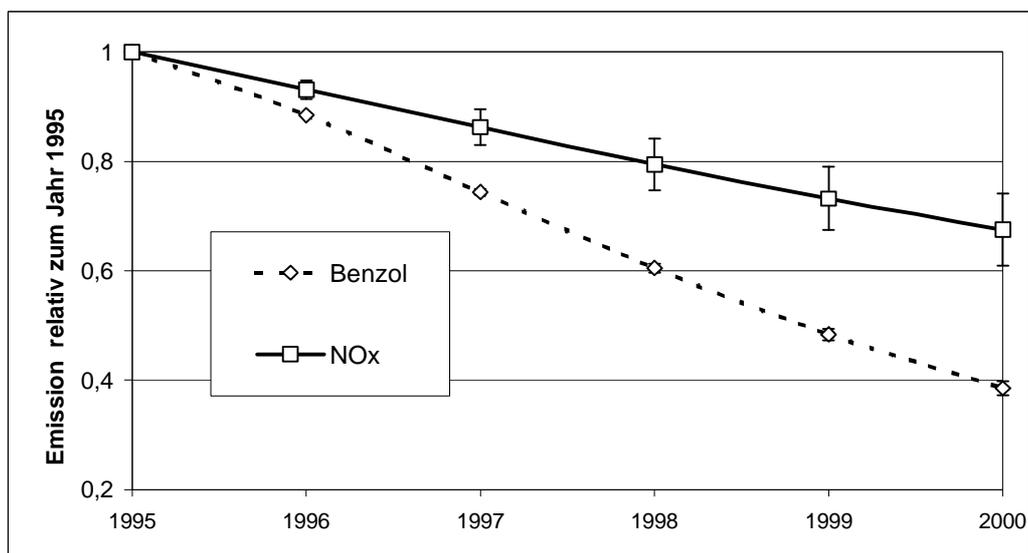


Abb. 1: Relative Änderungen der Kfz-bedingten Benzol- und NO_x-Emissionen in Stadtgebieten bezogen auf die Emission im Jahr 1995 (=1) zusammen mit der Standardabweichung über 6 verschiedene Verkehrssituationen, einen Lkw-Anteil zwischen 4% und 8% und verschiedene Wegstreckenverteilungen

Wie man aus der Abb.1 erkennt, ergibt die Prognose der Emissionsentwicklung in Stadtgebieten zwischen dem Jahr 1995 und 2000 eine prozentuale Abnahme der NO_x-Emission um etwa 30 – 40% und der Benzol-Emission um 60%. Der Emissionsrückgang für unterschiedliche Verkehrssituationen, Lkw-Anteile und Fahrtlängenverteilungen verläuft sehr ähnlich, d.h. die Standardabweichung über die mit unterschiedlichen Parametern modellierten Fälle ist gering. Bei der NO_x-Emission ergibt die Berechnung eine größere Standardabweichung als bei der Benzolfreisetzung, da der prozentuale Rückgang der Emissionen für Pkw und Lkw sehr unterschiedlich ist. Die Lkw tragen im Gegensatz zu den Pkw nur unwesentlich zur Benzol-Emission bei. Daher ist die Standardabweichung bei der Abnahme der Benzol-Emission geringer.

Bevor dieses Ergebnis mit der an verschiedenen innerstädtischen Messstationen gemessenen Immissionsentwicklung verglichen werden kann, muss zuvor noch der Anteil der nicht fahrbedingten Emission berücksichtigt werden. Der Anteil der verkehrsbedingten Emissionen an der Gesamtemission von Benzol betrug im Jahr 1995 ca. 90%. Im Bereich von Immissionschwerpunkten, wie z.B. an stark befahrenen Innerortsstraßen, lag der prozentuale Anteil des Verkehrs sicher weit über 90%. Im Weiteren wurde für Benzol die nicht durch den Kfz-Fahrverkehr verursachte, prozentuale Emission zwischen 0% und 10% variiert. Dadurch reduziert sich der aus der Emissionsmodellierung prognostizierte Rückgang, der mit der Immissionsentwicklung verglichen werden soll, auf 55% bis 60%.

Für NO_x ist es erheblich schwieriger eine prozentuale Vorbelastung anzugeben. Im Jahr 1995 betrug der Anteil der verkehrsbedingten Emissionen an der NO_x Gesamtemission in Baden-

Württemberg im Mittel etwa 60% (UMEG, 1997). An verkehrsreichen Strassen mit einer NO_x -Belastung von mehr als $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lag der Anteil von verkehrsgebundenen Quellen jedoch sicher deutlich höher. Für die Auswertung wurde der prozentuale Anteil der nicht Kfz-bedingten Emission im Jahr 1995 zwischen 10% und 25% variiert. Damit ergibt sich ein Rückgang der prognostizierten NO_x -Belastung zwischen 1995 und 2000 um 23% bis 35%. Immissionsrelevant ist jedoch nicht NO_x ¹, sondern vor allem der Schadstoff NO_2 . Die Umwandlungsrate von NO zu NO_2 ist dabei u.a. eine Funktion der Ozon- und damit indirekt der NO_x -Konzentration. Legt man die in der Literatur angegebenen Umwandlungsraten von NO zu NO_2 als Funktion von NO_x (Romberg et al., 1996) zugrunde, so ergibt sich bei NO_x -Konzentrationen von 100 bis $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dass sich das Verhältnis NO_2/NO_x um etwa 10% bzw. 20% erhöht, wenn der NO_x -Jahresmittelwert um 20% bzw. 35% abnimmt (Abb. 2).

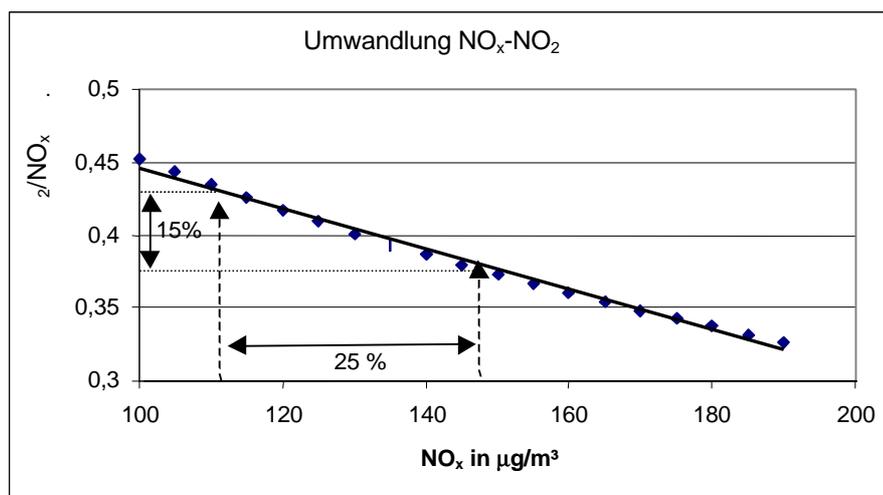


Abb. 2: Änderung des Verhältnissen von NO_2/NO_x als Funktion des NO_x -Jahresmittelwertes (Romberg et al., 1996)

Aufgrund dieses Ergebnisses ist zu erwarten, dass der Jahresmittelwert der NO_2 -Immission nur etwa zwischen 10% und 20% abnimmt, wenn die mittlere NO_x -Immission um 23% bis 35% zurückgeht. Damit ergibt sich der prognostizierte Rückgang im Bereich stark befahrener Strassen in Stadtgebieten für Benzol, NO_x und NO_2 zu:

1995 - 2000	Minimaler Rückgang um	Maximaler Rückgang um
Benzol – Belastung	55%	60%
NO_x – Belastung	23%	35%
NO_2 – Belastung	10%	20%

Diese Prognosen können mit dem gemessenen Immissionsrückgang an verkehrsnahen innerstädtischen Messstationen verglichen werden.

Trend der Immissionen an Straßenmessstationen

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde die zeitliche Entwicklung der NO_x -, NO_2 - und Benzolimmission an 80 verschiedenen straßennahen Messstationen in Ballungsgebieten von Ba-

¹ NO_x bezeichnet die Summe von NO und NO_2 , wobei NO als NO_2 angegeben wird

den-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Bayern, Hessen und Nordrhein -Westfalen zwischen dem Jahr 1995 und 2000 auf der Basis von Jahresmittelwerten ausgewertet. Um sicherzustellen, dass die Immissionen durch den Kfz-Verkehr dominiert sind, wurden nur Daten von verkehrsreichen und straßennahen Messstationen berücksichtigt, die vergleichsweise hohe Immissionskonzentrationen von mehr als $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Benzol, $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 und $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_x aufweisen. Weiterhin wurden alle Messergebnisse ausgeblendet, bei denen die Immissionen in zwei aufeinanderfolgenden Jahren um mehr als 20% voneinander abweichen. Damit war sichergestellt, dass keine verkehrslenkenden Maßnahmen oder temporäre Lücken in der Datenerfassung die Ergebnisse beeinflussen.

Neben der zeitlichen Änderung der Emission können auch andere, z.B. meteorologische Parameter dem Immissionstrend überlagert sein (siehe z.B. Bäder et al., 2001). Die Immissionskonzentration an einem Standort ist bei gleicher Emission unter anderem umgekehrt proportional zur Windgeschwindigkeit. Variiert die mittlere Windgeschwindigkeit von Jahr zu Jahr, so spiegelt sich dies in der Immissionszeitreihe wider. Um diesen Effekt zu eliminieren, wurden die Immissionen mit der für die Region repräsentativen Windgeschwindigkeit des jeweiligen Jahres durch Multiplikation normiert.

Die berücksichtigten Stationen weisen sehr unterschiedliche Konzentrationen auf. Die Immissionen jeder Station wurden daher auf den Mittelwert über das Untersuchungsintervall 1995 – 2000 normiert.

$$I_{iS}(j) = 6 \cdot I_i(j) / \sum_{j=1}^6 I_i(j)$$

Hierbei ist $I_i(j)$ die Immissionskonzentration an der Station i im Jahr j , $\sum I_i(j)/6$ der Mittelwert der Immissionen der Station i über den Untersuchungszeitraum von 6 Jahren und $I_{iS}(j)$ die auf den Mittelwert skalierte Immissionskonzentration an der Station i im Jahr j . Die Methode, wie der Immissionstrend an unterschiedlichen Stationen abgeleitet und dann gemittelt wird ist in der Abb. 3 anhand der Stationen Pirmasens und Worms veranschaulicht.

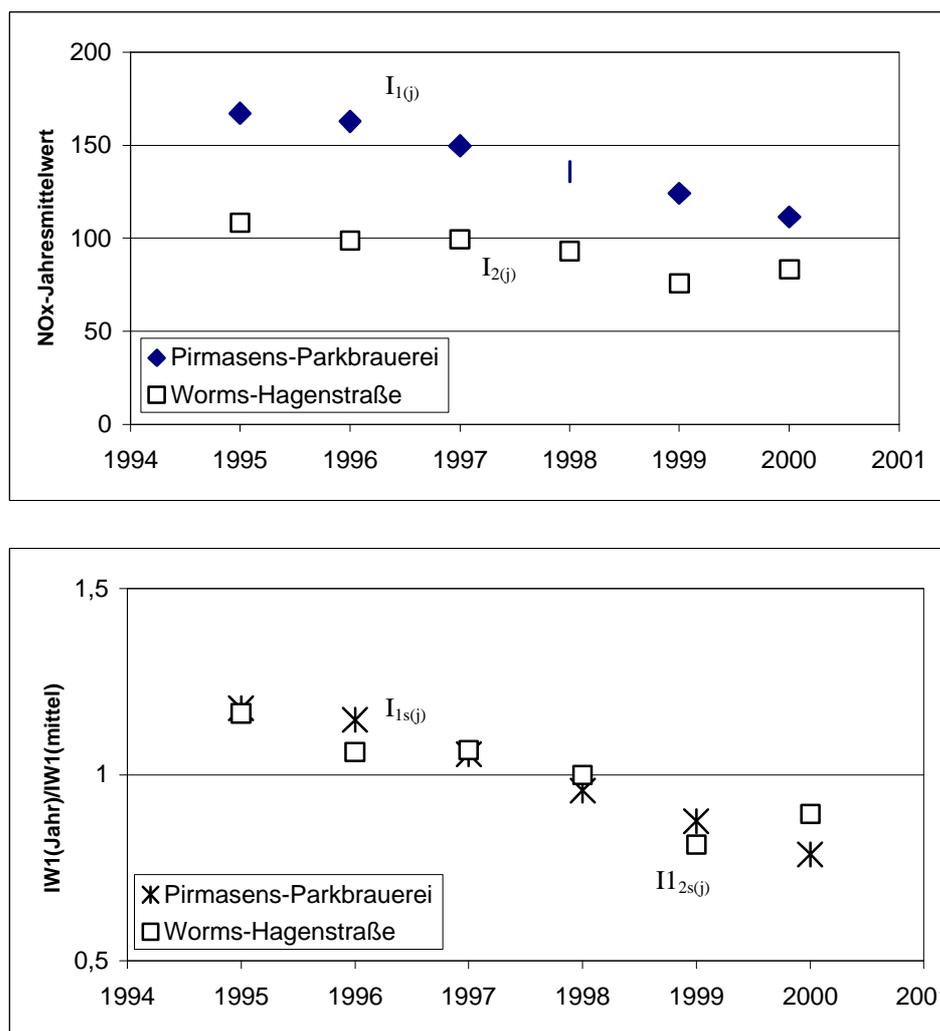


Abb. 3: Beispiel, wie der Immissionstrend an unterschiedlichen Stationen abgeleitet wurde

Die so skalierten Immissionsentwicklungen I_{is} der einzelnen Stationen i konnten nun gemittelt werden, um einen allgemeinen Trend für die untersuchte Schadstoffkomponente zu erhalten. Die gleichzeitig bestimmte Standardabweichung über die berücksichtigten Stationen gibt an, wie stark sich die Entwicklung an unterschiedlichen Messpunkten unterscheidet.

Rückgang der Benzol - Immissionskonzentrationen an verkehrsnahen Messstationen

In der Abb. 4 ist die prozentuale Änderung der Benzol- Immission zwischen dem Jahr 1995 und 2000 an 10 straßennahen Messstationen mit einem Jahresmittelwert größer $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dargestellt. Mögliche Einflüsse durch eine Änderung der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit sind eliminiert.

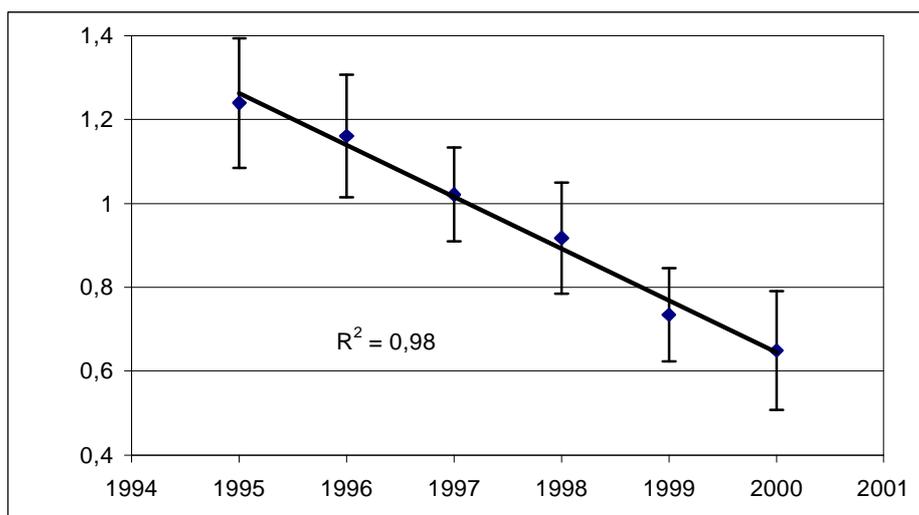


Abb. 4: Mittlere Änderung der Benzol- Immission zwischen 1995 und 2000 an 10 Messstationen in unterschiedlichen Bundesländern der BRD bezogen auf den Mittelwert 1995 - 2000 (=1) zusammen mit der Standardabweichung $\pm 1\sigma$

Wie man aus der Abb.4 entnimmt, liegt der Rückgang der Benzol-Immissionen an den unterschiedlichen Stationen zwischen dem Jahr 1995 und 2000 im Mittel bei 45% bis 60%. Der Korrelationskoeffizient von $R^2 = 0,98$ belegt, dass der Trend über die 10 Stationen zeitlich sehr konstant ist. Die Standardabweichung beträgt etwa $\pm 10\%$.

Auch für NO_x findet man einen sehr gleichmäßigen Rückgang der Immissionen. In der Abb.5 ist die prozentuale mittlere Änderung der Jahresmittelwerte zwischen dem Jahr 1995 und 2000 dargestellt, die an 25 Stationen mit einem NO_x -Jahresmittelwert von über $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen wurde. Mögliche Einflüsse durch eine Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit sind auch hier eliminiert.

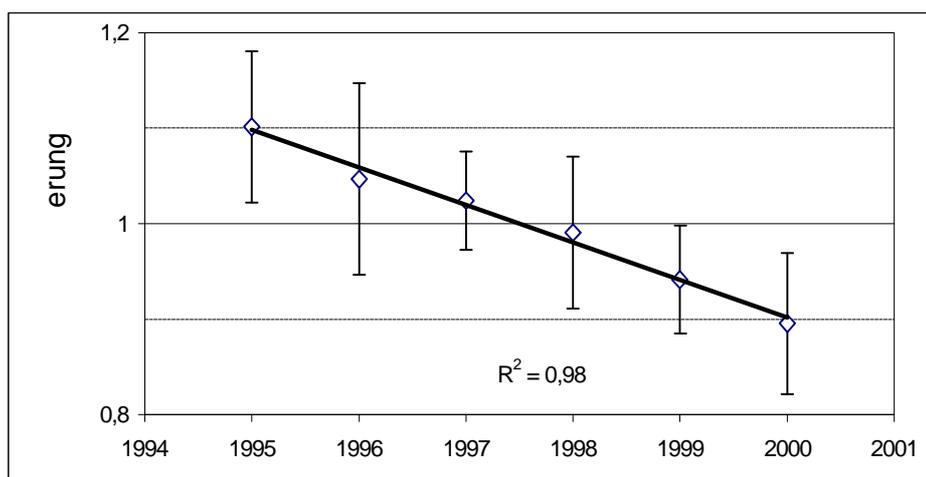


Abb. 5: Mittlere Änderung der NO_x - Immission zwischen 1995 und 2000 an 25 Messstationen mit einem NO_x -Jahresmittelwert über $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zusammen mit der Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert 1995-2000 (=1) zusammen mit der Standardabweichung $\pm 1\sigma$

Wie man aus der Abb. 5 entnimmt, sinken die NO_x -Immissionen an den verschiedenen Stationen zwischen 1995 und 2000 im Mittel um etwa 17%. Auch bei diesem Schadstoff ist der Rückgang der Immissionen im Mittel über die 25 betrachteten Stationen sehr gleichmäßig.

Im Gegensatz zu den Benzol- und NO_x -Immissionen ergibt sich bei der Stickstoffdioxid Belastung in Ballungsgebieten zwischen dem Jahr 1995 und 2000 kein deutlich erkennbarer Rückgang. In der Abb. 6 ist der mittlere Trend der NO_2 -Immissionen dargestellt, der an 20 Messstationen in unterschiedlichen Bundesländern gemessen wurde, deren NO_2 -Jahresmittelwerte über $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lagen. Mögliche Einflüsse durch eine Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit sind eliminiert.

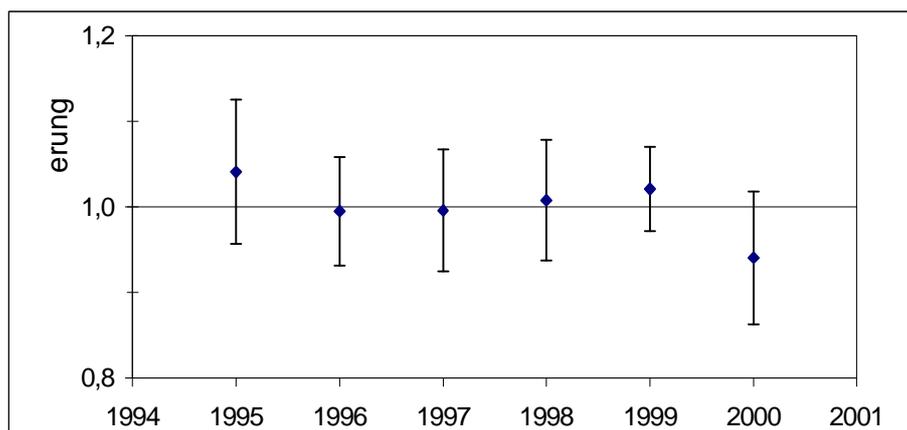


Abb. 6: Mittlere Änderung der NO_2 -Immission zwischen 1995 und 2000 an 20 Messstationen mit einem NO_2 -Jahresmittelwert über $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zusammen mit der Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert 1995-2000 (=1)

Berücksichtigt man nur die Ergebnisse im Jahr 1995 und 2000, so deutet sich über das Untersuchungsintervall von 6 Jahren ein Rückgang des über 20 Stationen gemittelten Immissionstrends von etwa 10% an.

Vergleich der Emissions- und Immissionsentwicklung und Diskussion

Nachfolgend soll der aus der Emissionsentwicklung prognostizierte Rückgang der Immissionskonzentrationen mit dem aus den Messungen abgeleiteten Trend verglichen werden.

Komponente	Prognostizierter Rückgang 1995-2000	Gemessener Rückgang unterschiedliche Stationen in der BRD 1995 - 2000	Übereinstimmung
NO_x	23% - 35%	10% - 20%	Nein
NO_2	10% - 20%	0 - 10%	Nein
Benzol	55% - 60%	45% - 60%	Ja

Man erkennt, dass

- der gemessene Rückgang der Benzol-Immissionen an verkehrsnahen Stationen zwischen dem Jahr 1995 und 2000 gut mit den Ergebnissen aus der Modellierung mit dem Handbuch für Emissionsfaktoren übereinstimmt

- der gemessene Rückgang der NO_x-Immissionen zwischen dem Jahr 1995 und 2000 geringer als erwartet ist. Wenn der prozentuale Anteil der nicht Kfz-bedingten NO_x-Vorbelastung im Bereich der Straßenstationen – wie zu vermuten - eher bei 10% als bei 25% liegt, nehmen die NO_x - Immission nur etwa halb so stark ab wie erwartet
- auch für NO₂ ein geringerer Rückgang der Immissionsentwicklung gemessen als prognostiziert wird. Ohne das Ergebnis des Jahres 2000, das deutlich unter dem 6 jährigen Mittel liegt, würde man von einer nahezu gleichbleibenden Immission, das heißt von keinem Rückgang der NO₂-Belastung ausgehen. Neue Ergebnisse aus Baden Württemberg und Bayern zeigen auch für das Jahr 2001 keinen wesentlichen Rückgang der NO₂ Immissionen bezogen auf den dann 7 jährigen Untersuchungszeitraum.

Fazit

Die durchgeführte Untersuchung belegt, dass sich die NO₂-Immissionen im Nahbereich von stark befahrenen Strassen in Stadtgebieten in den letzten 6 Jahren nicht deutlich reduziert haben. Es muss davon ausgegangen werden, dass auch der zukünftige Rückgang der NO₂-Immissionen geringer ausfällt als bisher angenommen wurde. Mögliche Ursachen sind eine im Vergleich zu den Erwartungen zu geringe Abnahme der NO_x-Emission und eine Erhöhung der Umwandlungsrate von NO zu NO₂. Der gemessene Rückgang der Benzolimmission in Stadtgebieten stimmt dagegen sehr gut mit den Prognosen überein.

Danksagung:

Die Untersuchung wurde von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg gefördert. Herrn Dr. Scholz und Dr. Ahrens von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg sei für die ausgiebigen Diskussionen, die konstruktiven Anregungen sowie die Durchsicht des Manuskripts gedankt. Für die Bereitstellung der meteorologischen und Immissionsdaten bedanken wir uns bei der/ dem

- UMEG Baden-Württemberg, Dipl.Met. Peranic und Scheuhachtel
- Hessischen Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Dipl. Ing. N.van der Pütten
- Landesanstalt für Umweltschutz Rheinland Pfalz, Dr. Weißenmayer
- Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Dr.Rabl und Dr.Ott
- Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Dr.Beier

Literatur

- Bäder, J. G.Baumbach, M.Schliep, S.Törgykes (2001): Zusammenhänge zwischen Luftverunreinigungen und meteorologischen Parametern in der Region Stuttgart. Immissionschutz, 4, 2001
- Bartelt,B et al. (1995): Untersuchung des repräsentativen Fahrverhaltens von Pkw auf Stadt- und Landstrassen. Texte 66 des Umweltbundesamtes, Berlin
- EU (1999): Richtlinie 1999/30/EG des Rates über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft.
- Friedrich, U. (1999): Auswertung der Studie „Erhebung von Verkehrsdaten zur Optimierung und Typisierung der Emissionsmodellierung des Straßenverkehrs. Landesumweltamt Brandenburg, 1999

- IFEU (2000): Emissions- und Immissionsprognosen für den Straßenverkehr in Deutschland – welche Luftqualitätsziele werden erreicht? Vortrag von Dr.Höpfner auf dem technischen Kongress des VDA IAA 2000
- Romberg, E., R.Bösinger, A.Lohmeyer, R.Ruhnke, E.-P.Röth (1996): NO-NO₂ Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase. Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft, 56, 1996; 215 -218.
- UBA (1999): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 1.2. Januar 1999. Umweltbundesamt Berlin.
- UMEG (1997): Luftschadstoff- Emissionskataster Baden- Württemberg 1995. UMEG, Karlsruhe, Bericht Nr. 12-4/97.
- WHO,1999: Air quality guidelines, WHO, 1999: Chapter 3: Health-based Guidelines. http://www.who.int/environmental_information/Air/Guidelines/Chapter3.htm#3.1