

Auswirkungen der NO₂-Emissionen bei Diesel-KFZ auf die Immissionsbelastung





umweltbundesamt^U

AUSWIRKUNGEN DER NO₂-EMISSIONEN BEI DIESEL-KFZ AUF DIE IMMISSIONSBELASTUNG

Lorenz Moosmann
Wolfgang Spangl
Christian Nagl
Barbara Schodl
Günther Lichtblau

REPORT
REP-0135
Wien, 2008



Projektleitung

Lorenz Moosmann

AutorInnen

Lorenz Moosmann

Wolfgang Spangl

Christian Nagl

Barbara Schodl

Günther Lichtblau

Lektorat

Petra Wiener

Satz/Layout

Ute Kutschera

Diese Publikation wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft erstellt.

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Eigenvervielfältigung

Gedruckt auf Recyclingpapier.

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2008

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 3-85457-933-0



INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	5
SUMMARY	7
1 EINLEITUNG	9
2 TRENDANALYSE	13
2.1 Vorgehen	13
2.2 Meteorologische Verhältnisse	17
2.3 Hypothese 1: Trends 2001–2006	19
2.4 Hypothese 2: Vergleich 1998–2000 mit 2004–2006	25
2.5 Hypothese 3: Trends 1990–2000	33
3 EMISSIONSFAKTOREN	37
3.1 Vorgehen	37
3.2 Emissionsfaktoren für NO _x	38
3.3 Emissionsfaktoren für NO ₂	40
3.4 Berechnung der Emissionsfaktoren der Fahrzeugflotte	42
4 EMISSIONSBERECHNUNGEN	46
5 VERGLEICH EMISSIONEN – IMMISSIONEN	48
5.1 Gegenüberstellung	48
5.2 Entwicklung im Verhältnis NO ₂ /NO _x	56
5.3 Empirischer Zusammenhang Emissionen – Immissionen	57
6 EMISSIONS- UND IMMISSIONSSZENARIEN	59
6.1 Verkehrsprognose	59
6.2 Emissionsprognose	59
6.3 Immissionsprognose	59
7 SCHLUSSFOLGERUNGEN	65
8 LITERATUR	68
9 GLOSSAR UND ABKÜRZUNGEN	70
ANHANG	72



ZUSAMMENFASSUNG

In den letzten Jahren traten in Österreich insbesondere an verkehrsnahen Messstationen Überschreitungen der Grenzwerte gemäß Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L) für Stickstoffdioxid (NO₂) auf. Nach einer Abnahme der Stickoxid (NO_x)- und der NO₂-Konzentrationen im Verlauf der Neunzigerjahre stieg seit etwa 2000 die NO₂-Konzentration vor allem an verkehrsnahen Messstellen an.

Großräumige Änderungen in der Luftchemie als mögliche Ursache für die Zunahme der NO₂-Konzentrationen können ausgeschlossen werden. Vielmehr legen – zusätzlich zur generellen Verkehrszunahme – Abgasmessungen an Diesel-PKW die Vermutung nahe, dass die starke Verbreitung dieser Fahrzeugtypen mit Oxidationskatalysatoren höhere NO₂-Konzentrationen verursachen. Diese weisen höhere direkte NO₂-Emissionen auf als andere PKW. Um diese Vermutung zu überprüfen, wurden die Zusammenhänge zwischen NO₂- bzw. NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs in Österreich und Immissionen an verkehrsnahen Messstellen quantifiziert und bewertet.

In den Neunzigerjahren nahmen die NO_x-Konzentrationen ab. Das immissionsseitige NO₂/NO_x-Verhältnis nahm jedoch tendenziell zu, d.h. der Anteil von NO₂ an den NO_x-Immissionen stieg. Ursachen dafür liegen darin, dass bei einer Abnahme der NO_x-Konzentration durch das chemische Gleichgewicht der Anteil an NO₂ nicht gleich stark abnimmt sondern langsamer sinkt. Dadurch erhöht sich das NO₂/NO_x-Verhältnis. Zum anderen ist die Zunahme des NO₂/NO_x-Verhältnisses möglicherweise mit einer Zunahme der mittleren Ozonbelastung zu erklären. Die Auswertungen deuten nicht auf eine Veränderung des emissionsseitigen NO₂/NO_x-Verhältnisses in diesem Zeitraum hin.

Die deutliche Zunahme des NO₂/NO_x-Verhältnisses ca. seit dem Jahr 2000 an verkehrsnahen Messstellen steht nicht mit höheren Ozonbelastungen in Verbindung, sondern spiegelt in erster Linie eine Zunahme des emissionsseitigen NO₂/NO_x-Verhältnisses wider. Diese Zunahme wird augenscheinlich durch den steigenden Anteil von Dieselfahrzeugen mit Oxidationskatalysator, vor allem bei PKW, verursacht.

Um die Emissionssituation quantifizieren zu können, wurden die Emissionsfaktoren für Straßenfahrzeuge aktualisiert, wobei auch NO₂-Emissionsfaktoren erstellt wurden. Die Emissionsfaktoren beruhen auf Messungen bis zur Emissionsklasse EURO 4 bei PKW sowie EURO V bei schweren Nutzfahrzeugen und EURO 3 bei Motorrädern.

Diese Emissionsfaktoren wurden in das Modell GLOBEMI eingegeben, um die durchschnittlichen Flottenemissionsfaktoren in Österreich zu berechnen. Dabei wurden die Emissionsfaktoren der einzelnen KFZ-Schichten nach deren Fahrleistungsanteilen in Österreich gewichtet und Flottenemissionsfaktoren für die Jahre 1990 bis 2030 ermittelt.

Die berechneten Emissionsfaktoren zeigen für NO_x eine abnehmende Tendenz. Speziell innerorts konnten aber seit 1995 nur geringe Abnahmen im mittleren Emissionsniveau von KFZ mit Dieselmotoren festgestellt werden. Die NO₂-Emissionsfaktoren nehmen auf allen Straßenkategorien zu. Hauptverantwortlich für diese Zunahme sind die Diesel-PKW mit Oxidationskatalysator und/oder Partikelfilter, deren Abgase höhere NO₂-Konzentrationen aufweisen. Die Abgasnachbehandlung ist zwar für Partikel, Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid sehr vorteilhaft, erhöht aber den Anteil von NO₂ an den NO_x-Emissionen.

***Trends im Verhältnis
NO₂ zu NO_x***

***aktualisierte
Emissionsfaktoren***

***NO₂-
Emissionsfaktoren
nehmen zu***



Unter Anwendung der berechneten Emissionsfaktoren wurden für ausgewählte Straßenabschnitte, an denen Verkehrszählraten zur Verfügung standen, die Jahresmittelwerte der NO_x- und NO₂-Emissionen bestimmt.

***verkehrsnahe
Immissionen folgen –
Emissionstrends***

Die zeitliche Entwicklung der NO_x-Emissionen stimmt an den meisten Straßenabschnitten gut mit dem Verlauf der NO_x-Jahresmittelwerte an der jeweils nächst gelegenen verkehrsnahen Immissionsmessstelle überein. Relativ gute Übereinstimmungen zeigen auch die NO₂-Konzentrationen und Emissionen an Autobahnen im ländlichen Raum. Größere Unterschiede an Messstellen in dichter besiedelten Gebieten dürften zumindest teilweise dadurch zu erklären sein, dass dort andere NO_x- bzw. NO₂-Emissionen zum Tragen kommen, die unter Umständen ein anderes zeitliches Verhalten aufweisen. Ungeachtet dessen zeigen sowohl das emissionsseitige als auch das immissionsseitige NO₂/NO_x-Verhältnis an den meisten untersuchten Straßen bzw. Messstellen statistisch signifikante Zunahmen zwischen den Zeiträumen 1998–2000 und 2004–2006.

***Zusammenhang
Emissionen –
Immissionen***

Für die ausgewählten verkehrsnahen Messstellen wurde durch Korrelation ein einfacher empirischer Zusammenhang zwischen Emissionen und Immissionen erstellt. Im nächsten Schritt wurden auf Basis von Verkehrsprognosen die Emissions- und Immissionsprognosen für die Jahre 2010, 2012, 2015 und 2020 bestimmt. Diese Prognosen sind mit mehreren Unsicherheitsfaktoren verbunden: der zukünftigen Verkehrsentwicklung, der Entwicklung der österreichischen Fahrzeugflotte (d. h. des Anteils verschiedener Fahrzeugtypen) und der Flottennutzung, des Einflusses der chemischen Umwandlung in der Atmosphäre und atmosphärischer Transportvorgänge. Außerdem wurden in den Prognosen Maßnahmen, wie sie z. B. in Programmen nach dem Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L) vorgesehen sind, noch nicht berücksichtigt.

***Immissionen
nehmen nur
langsam ab***

Die Prognosen ergaben, dass selbst unter Annahme einer gleich bleibenden Verkehrsdichte die NO₂-Immissionskonzentrationen bis zu den Jahren 2010 und 2012 nur geringfügig abnehmen. Die NO₂-Konzentrationen im Jahr 2020 liegen gemäß der Prognose selbst unter Annahme, dass der Verkehr nicht zunimmt, an mehreren verkehrsnahen Messstellen noch weit über dem Grenzwert gemäß IG-L. Dieser liegt bei 30 µg/m³ als Jahresmittelwert.

Maßnahmen

Um diese Belastung zu reduzieren, wären verschiedene Maßnahmen bzw. eine Kombination von Maßnahmen nötig. Diese betreffen einerseits die Reduktion der Gesamtemissionen durch den Verkehr, beispielsweise durch Verlagerung des Individualverkehrs auf den öffentlichen Verkehr und durch Geschwindigkeitsbegrenzungen. Andererseits können technische Verbesserungen die NO_x- bzw. NO₂-Emissionen pro Fahrzeug weiter reduzieren. Gerade technische Verbesserungen sind jedoch mit langen Umsetzungsfristen verbunden. Straßennahe Überschreitungen der NO₂-Luftgütegrenzwerte werden daher auch in den nächsten Jahren eine große Herausforderung darstellen.

SUMMARY

During the past years, limit values for NO₂ (nitrogen dioxide) as defined in the Austrian air quality act were exceeded at several traffic-related monitoring stations in Austria. After a decrease of NO_x (nitrogen oxides) and NO₂ concentrations during the nineties, NO₂ concentrations increased especially at traffic-related stations after the year 2000.

Because large-scale changes in atmospheric chemistry can be ruled out as possible causes of the increase in NO₂ concentrations, the assumption was analysed that the NO₂ increase is caused by an increase in traffic volumes and by an increase in the number of Diesel passenger cars equipped with oxidation catalysts. The correlation between Austrian traffic emissions of NO_x or NO₂ and concentrations measured at traffic-related stations was quantified and assessed.

In the Nineties, NO_x concentrations decreased. However, the ratio between NO₂ and NO_x in measured concentrations tended to increase. This trend may be attributed to the fact that with decreasing NO_x concentrations, in chemical equilibrium, NO₂ does not decrease as much as NO_x. This leads to a higher NO₂ to NO_x ratio. The increased ratio may also be attributed to an increase in the average ozone concentration. The analysis does not suggest changes in the NO₂/NO_x ratio on the emission side during that period.

The pronounced increase of the NO₂/NO_x ratio at traffic-related monitoring stations from around 2000 is not related to higher ozone levels, but reflects an increase in the NO₂/NO_x emission ratio. Apparently, this increase is caused by an increasing proportion of Diesel vehicles with oxidation catalysts, especially passenger cars.

In order to quantify the emission situation, emission factors for vehicles were updated and NO₂ emission factors were established. The emission factors are based on measurements including passenger cars in the EURO 4 emission class, EURO V heavy duty vehicles, and EURO 3 motorcycles.

The vehicle type-specific emission factors were used as input for the GLOBEMI model, which provided average emission factors for the Austrian vehicle fleet. In this model, emission factors of each vehicle type were weighted according to their proportion of kilometres travelled in Austria and fleet emission factors were determined for the years 1990 to 2030.

NO_x emission factors have been decreasing over time, but the decrease of average emission levels from Diesel passenger cars in urban driving cycles has been only modest since 1995. NO₂ emission factors have been increasing for all road categories. The main reason for this increase is the increasing number of Diesel passenger cars with oxidation catalysts and/or particle traps. This exhaust treatment system is very beneficial as far as particles, hydrocarbons and carbon monoxide are concerned, but it increases the share of NO₂ in NO_x emissions.

By applying the emission factors to traffic counts from selected road sections, annual averages of NO_x and NO₂ emissions were calculated.

At most road sections, the time series of calculated NO_x emissions correspond well to the annual averages of NO_x concentrations measured at air quality monitoring stations close to traffic. NO₂ concentrations and emissions at motorways in rural areas also match relatively well. At locations in densely populated areas, larger differences are found which can be attributed – at least partly – to additional NO_x and

**trends in
NO₂/NO_x ratio**

**update of
emission factors**

**increasing
NO₂ emission**

**air quality at traffic
stations follows
trends in emissions**



NO₂ emissions from the lower-level road network, from industry or domestic heating, which may show different temporal patterns. Nonetheless, the NO_x/NO₂ ratio of calculated emissions and of measured ambient air concentrations shows a statistically significant increase at most locations between the periods of 1998 to 2000 and 2004 to 2006.

***relationship
between emissions
and concentrations***

For the selected traffic-related monitoring stations, a simple empirical relationship between emissions and measured ambient air concentrations was derived and emissions and ambient air concentrations were projected for 2010, 2012, 2015 and 2020, making use of traffic projection data. It has to be noted that the projected concentrations are associated with uncertainties due to several factors, especially concerning traffic flow, vehicle fleet composition, vehicle fleet usage, chemical processes in the atmosphere and atmospheric transport. Also, the projection does not take into account additional measures, such as those provided for in air quality programmes according to the Austrian air quality protection act.

***ambient air
concentrations
decrease slowly***

The projection showed that even if constant traffic volumes are assumed, ambient air concentrations of NO₂ will decrease only marginally by 2010 and 2012. According to the projection, NO₂ concentrations will remain way above the limit value (30 µg/m³ as defined in the Austrian air quality act) in 2020, even if constant traffic volumes are assumed.

measures

In order to reduce this impact, several measures and/or a combination of measures would be necessary. On the one hand, they should include the reduction of total traffic emissions by a shift from private transport to public transport or speed restrictions. On the other hand, technical improvements continue to reduce vehicle-specific NO_x and NO₂ emissions. However, technical changes require a long time to take effect. Therefore, exceedances of NO₂ limit values at roadside locations will continue to pose a major challenge in the coming years.

1 EINLEITUNG

Für Stickstoffdioxid (NO₂) sind im Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L) aufgrund der Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit Immissionsgrenzwerte für die Langzeit- und Kurzzeitbelastung festgelegt. In den vergangenen Jahren wurde an zahlreichen verkehrsnahen Messstellen in Österreich die Summe aus Grenzwert und Toleranzmarge für den Jahresmittelwert von NO₂ gemäß IG-L überschritten. Auch zeigten die im Jahresmittel gemessenen Konzentrationen in den letzten Jahren an vielen Messstellen eine deutliche Zunahme. Diese Zunahme ist insbesondere problematisch, da die Toleranzmarge für NO₂ gemäß IG-L Ende 2009 und Ende 2011 schrittweise abgesenkt wird; ab 2012 ist der Grenzwert von 30 µg/m³ einzuhalten.

Grenzwertüberschreitungen bei NO₂

Auch die Toleranzmarge für den NO₂-Jahresmittelwert gemäß der 1. Luftqualitäts-Tochterrichtlinie wird in den nächsten Jahren weiter abgesenkt; der Grenzwert von 40 µg/m³ ist ab 2010 verbindlich einzuhalten.

Die derzeit beobachtete Entwicklung der NO₂-Immissionen lässt weitere Überschreitungen sowohl des österreichischen als auch des europäischen Grenzwertes befürchten. Als Grundlage für mögliche Maßnahmen zur Reduktion der Belastung, insbesondere an Orten mit hohen Konzentrationen, sind zunächst die wichtigen Quellen dieses Schadstoffs und seine Transport- und Umwandlungsprozesse in der Atmosphäre aufzuzeigen.

NO₂ wird zum Teil direkt emittiert, zu einem großen Teil wird es jedoch in der Atmosphäre durch Umwandlung aus Stickstoffmonoxid (NO) gebildet, das v. a. bei Verbrennungsprozessen emittiert wird. An emittentenfernen Standorten besteht ein Großteil der Stickoxide (NO_x = NO + NO₂) aus NO₂, da NO instabil ist und deshalb bereits zum Großteil zu NO₂ oxidiert wurde. An verkehrsnahen Messstellen liegt hingegen nur ein relativ kleiner Teil der gesamten Stickoxide als NO₂ vor (vgl. Abbildung 1). Da die Konzentrationen von Stickoxiden insgesamt an verkehrsnahen Messstellen aufgrund der nahen Emissionen sehr hoch sind, treten dort aber auch die meisten NO₂-Grenzwertüberschreitungen auf.

Die Entwicklung der Konzentration von NO_x und NO₂ an typischen verkehrsnahen Messstellen in den vergangenen Jahren ist in Abbildung 1 dargestellt. Eine detaillierte Auswertung der Trends an allen österreichischen NO_x-Messstellen folgt in Kapitel 2. Die Abbildung zeigt beispielhaft die folgenden Charakteristika verkehrsnaher Messstellen:

Entwicklung bei NO₂ und NO_x

- Die NO_x-Konzentrationen nahmen in den Neunzigerjahren stark ab und zeigen seit ca. 2000 keine ausgeprägte Veränderung.
- Die NO₂-Konzentrationen nahmen in den Neunzigerjahren ebenfalls ab, in den letzten Jahren ist aber in vielen Fällen wieder eine Zunahme zu beobachten (siehe z. B. Linz Römerbergtunnel).
- Die NO₂-Konzentrationen stellen nur einen Bruchteil der gesamten NO_x-Konzentrationen an verkehrsnahen Messstellen dar; aufgrund der absolut hohen NO_x-Konzentration wird jedoch der NO₂-Grenzwert gerade an diesen Messstellen überschritten.

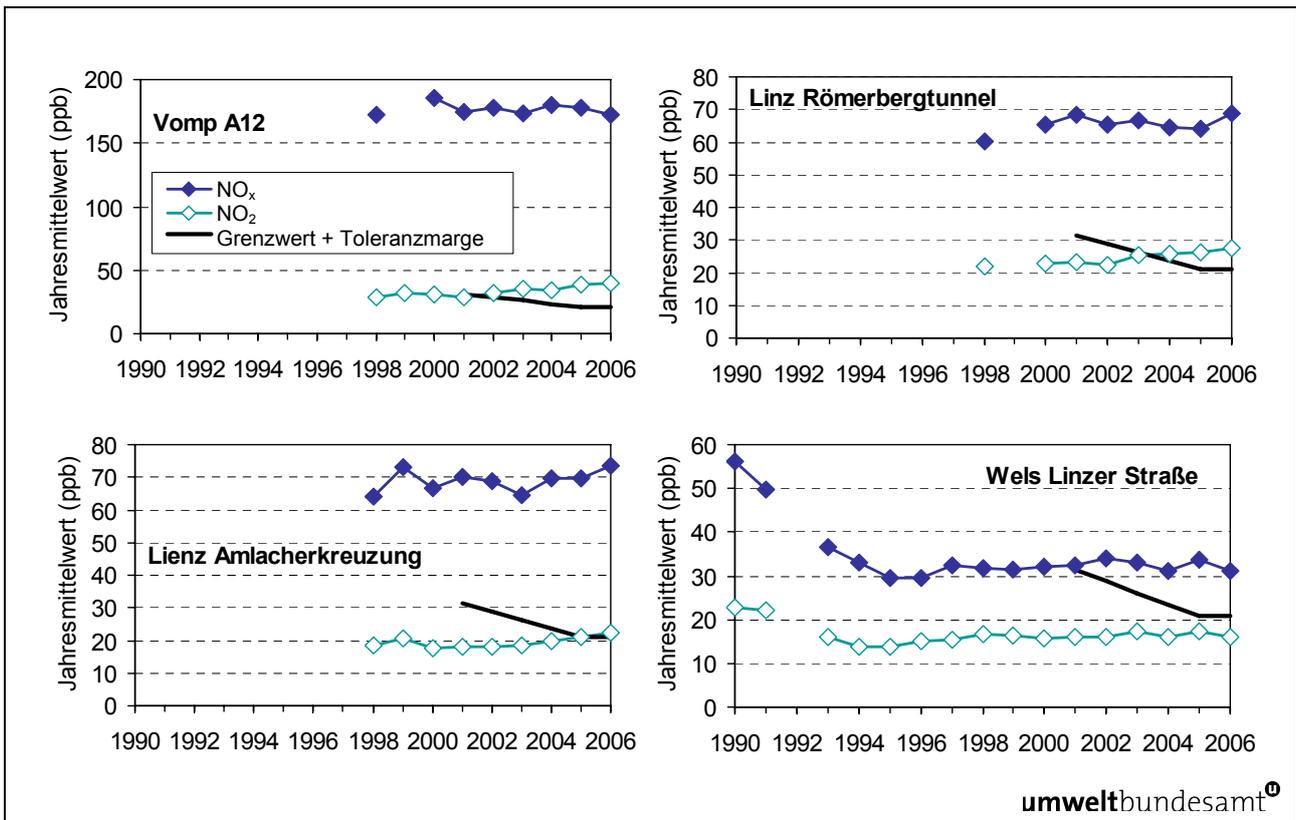


Abbildung 1: Jahresmittelwerte der NO_x- und NO₂-Konzentrationen an ausgewählten verkehrsnahen Messstellen, 1990–2006. An vielen Messstellen liegen für die Neunzigerjahre keine durchgehenden Datensätze vor. In den Jahren ab 2005 beträgt die Summe aus Grenzwert und Toleranzmarge für NO₂ 40 µg/m³ bzw. rund 21 parts per billion (ppb).

Gründe für Änderung der NO₂-Belastung

NO₂ in der Atmosphäre entsteht durch die Umwandlung (Oxidation) aus NO. Änderungen in der Luftchemie sind eine mögliche Ursache für die beobachtete Zunahme der NO₂-Konzentrationen. Allerdings wurden keine signifikanten Änderungen der Konzentrationen von Ozon, das die Bildung von NO₂ aus NO wesentlich bestimmt, beobachtet (vgl. Kapitel 2.3).

Die Zunahme der NO₂-Konzentrationen wurde hauptsächlich an verkehrsnahen Messstellen beobachtet, der Verkehr stellt auch die Hauptquelle von NO_x in Österreich dar (UMWELTBUNDESAMT 2007a). Das Hauptaugenmerk der vorliegenden Studie liegt daher auf den Emissionen von NO_x bzw. NO₂ aus dem Verkehr und auf deren Auswirkungen auf die NO₂-Immission.

Rolle der Emissionen aus dem Verkehr

Diesel-PKW mit Oxidationskatalysatoren haben einen deutlich höheren Anteil an den gesamten Stickoxidemissionen als andere PKW. Ihre zunehmende Verbreitung kommt daher als Grund für den Anstieg der NO₂-Konzentrationen an verkehrsnahen Messstellen in Frage. In der vorliegenden Studie wird der Einfluss erhöhter primärer NO₂-Emissionen auf die Immissionssituation in Österreich im Detail untersucht.

Österreich nimmt in Europa aufgrund des hohen Anteils von Diesel-KFZ eine Sonderstellung ein; für die Studie kann trotzdem auf Erfahrungen und Untersuchungen aus anderen Ländern aufgebaut werden. Ein Vergleich der Immissionsdaten von Verkehrs- und Hintergrundmessstellen in London zeigte eine signifikante Zunahme des NO₂-Anteils an den verkehrsbedingten NO_x-Konzentrationen (CARSLAW 2005).



Dies wurde auf die Zunahme von PKW mit Oxidationskatalysatoren zurückgeführt. Der Einfluss des Verkehrs auf die Immissionssituation in London wurde außerdem aufgrund von Analysen des Tagesgangs untersucht (CARSLAW & BEEVERS 2004). Mit Hilfe eines einfachen Umwandlungsmodells wurden Aussagen zum Beitrag der primären NO₂-Emissionen gemacht und Prognosen für die Immissionskonzentrationen im Jahr 2015 erstellt (CARSLAW & BEEVERS 2004).

Auch an verkehrsnahen Messstellen in Deutschland wurde eine Zunahme der NO₂-Konzentrationen beobachtet. Anhand von Daten aus Baden-Württemberg wurden die Verkehrsentwicklung sowie die Veränderungen in der Ozonchemie als Ursache untersucht (LAMBRECHT 2007). Die Studie identifizierte steigende NO₂-Emissionen des Verkehrs als wichtigste Ursache für die Zunahme der NO₂-Belastung.

Aufbauend auf diesen Erfahrungen wird die Situation in Österreich unter Berücksichtigung vorhandener Immissionsdaten und der besonderen Flottenzusammensetzung betrachtet. In der vorliegenden Studie werden die folgenden Fragen behandelt:

Fragestellung in der Studie

- Welche Trends sind in den vergangenen Jahren an verschiedenen Typen von Messstellen in den Jahresmittelwerten der NO₂-Konzentrationen zu erkennen? Welche Zusammenhänge bestehen zwischen der NO₂-Belastung und der Entwicklung des Verkehrsaufkommens, der Emissionsfaktoren und der Ozonkonzentration?
- Wie entwickelt sich der Anteil von NO₂ an den NO_x-Emissionen des Verkehrs in den kommenden Jahren?
- Wie entwickeln sich die NO₂- und NO_x-Emissionen aus dem Verkehr in den kommenden Jahren?
- Wie wird sich die NO₂-Belastung in den Jahren 2010, 2012 und 2020 an verkehrsnahen Messstellen darstellen?
- Welche Möglichkeiten bestehen, die NO₂-Immissionen an Standorten mit hoher Belastung zu reduzieren, um die Einhaltung der im IG-L festgelegten Grenzwerte zu gewährleisten?

Um diese Fragen beantworten zu können, werden sowohl die Verkehrsentwicklung als auch die Emissions- und Immissionssituation in Österreich in den vergangenen Jahren untersucht. Zusätzlich werden Prognosen für die kommenden Jahre erstellt.

Aufbau des Berichts

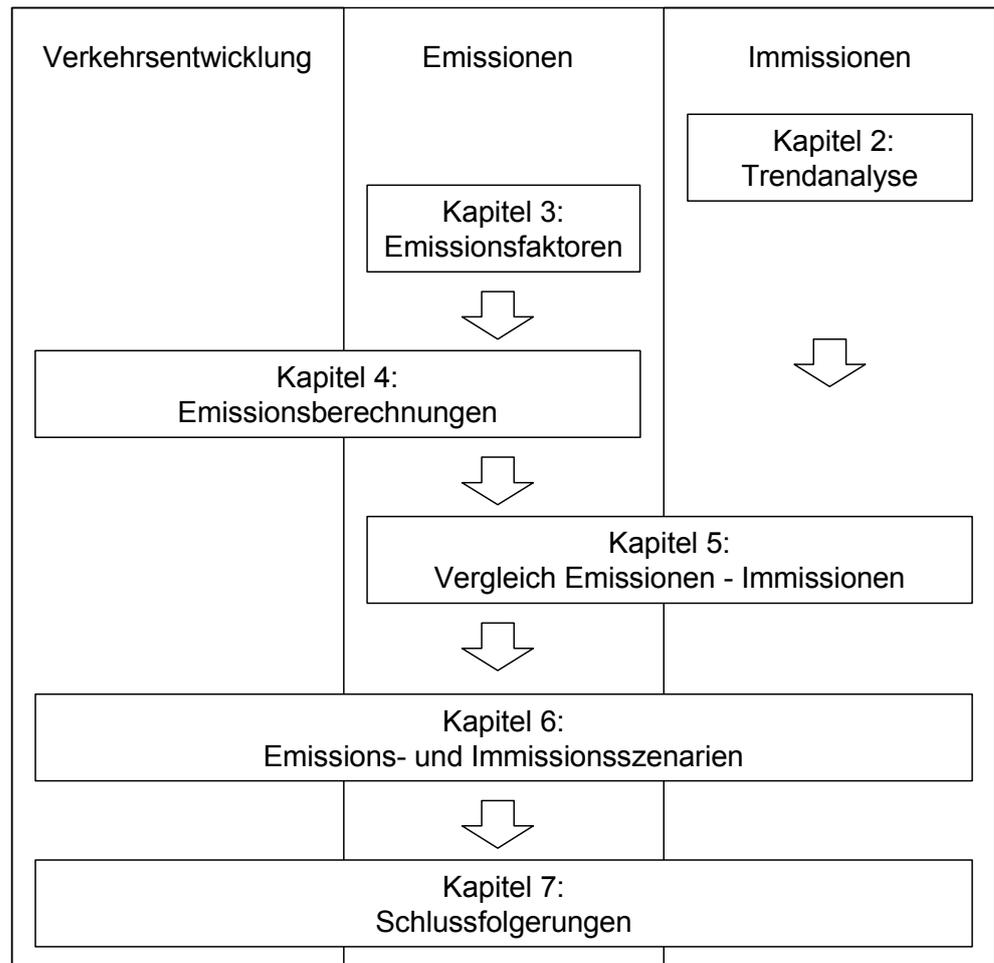


Abbildung 2: Aufbau des Berichts.

Trendanalyse Da inzwischen Immissionsdaten mehrerer Messstellen über Zeiträume von 15 Jahren und mehr vorhanden sind, können Trends in der NO₂-Belastung ausführlich analysiert werden. Im Kapitel 2 des vorliegenden Berichts werden Trends der Immissionskonzentrationen für NO₂, NO_x und Ozon an verschiedenen Typen von Messstellen aufgezeigt und diskutiert.

Emissionsfaktoren Um die Beiträge des Verkehrs zur Luftbelastung quantifizieren zu können, ist die Kenntnis von Emissionsfaktoren entscheidend. Emissionsfaktoren für NO_x für derzeitige Fahrzeugflotten liegen vor (BMLFUW et al. 2004). Für die Studie ist es jedoch wichtig, separate Emissionsfaktoren für NO₂ und Emissionsfaktoren für neue und zukünftige Fahrzeugkategorien zu kennen. Im Kapitel 3 werden aufgrund neuer Datensätze Emissionsfaktoren für Fahrzeugflotten bis zum Jahr 2030 dargestellt.

Vergleich Emissionen – Immissionen Mit Hilfe dieser Emissionsfaktoren und mittels Daten von Verkehrszählstellen werden Emissionen für einzelne Straßenabschnitte berechnet (Kapitel 4) und mit den gemessenen Immissionsdaten verglichen (Kapitel 5).

Prognose und Maßnahmen Aus dem Vergleich von Emissions- und Immissionsdaten wird schließlich ein empirischer Zusammenhang zwischen Emissionen und Immissionskonzentrationen hergeleitet und in Kapitel 6 auf zukünftige Verkehrsszenarien angewendet. Die damit bestimmten Immissionsszenarien erlauben Schlussfolgerungen zur weiteren Entwicklung der NO₂-Belastung und zu möglichen Maßnahmen, um diese zu reduzieren.



2 TRENDANALYSE

2.1 Vorgehen

Im vorliegenden Projekt werden Trends von Immissionskonzentrationen für folgende Zeiträume untersucht:

Zeiträume für die Trendanalyse

- **2001–2006:** In diesem Zeitraum wurde an einigen verkehrsnahen Messstellen eine Zunahme der NO₂-Immissionen beobachtet (UMWELTBUNDESAMT 2007). Außerdem kamen in diesem Zeitraum vermehrt KFZ mit einem höheren Anteil von NO₂ an den primären NO_x-Emissionen auf den Markt.
- **1998–2006:** In den Jahren ab 1998 wurde an vielen Messstellen eine Stagnation der NO₂- und NO_x-Konzentration, die zuvor abgenommen hat, festgestellt. Auf diese Entwicklung folgte ein Anstieg der NO₂-Belastung bei weiterhin stagnierenden NO_x-Konzentrationen. Deshalb ist es aufschlussreich, die mittleren Konzentrationen in den Jahren 1998–2000 mit den mittleren Konzentrationen in den Jahren 2004–2006 zu vergleichen. Außerdem sind mehrere autobahnahe Messstellen in Österreich (erst) ab 1998 in Betrieb.
- **1990–2000:** In den 1990er-Jahren wurden an den meisten Immissionsmessstellen Reduktionen der NO_x- und NO₂-Konzentrationen festgestellt (UMWELTBUNDESAMT 2006). Diese gehen mit Reduktionen der NO_x-Emissionen im Verkehrssektor und in anderen Sektoren (UMWELTBUNDESAMT 2007a) einher. Der Zeitraum 1990–2000 dient in der vorliegenden Studie als Vergleichsperiode.

Die genannten Zeiträume wurden aufgrund von beobachteten Veränderungen in der Emissions- und Immissionssituation speziell für die Fragestellung der vorliegenden Studie ausgewählt. Trends von NO_x-Konzentrationen über einen längeren zusammenhängenden Zeitraum (1990–2004) sind in einem separaten Bericht beschrieben (UMWELTBUNDESAMT 2006a).

Die Trendanalyse wurde grundsätzlich für alle nach IG-L betriebenen Messstellen durchgeführt, die in den entsprechenden Zeiträumen kontinuierlich in Betrieb waren.

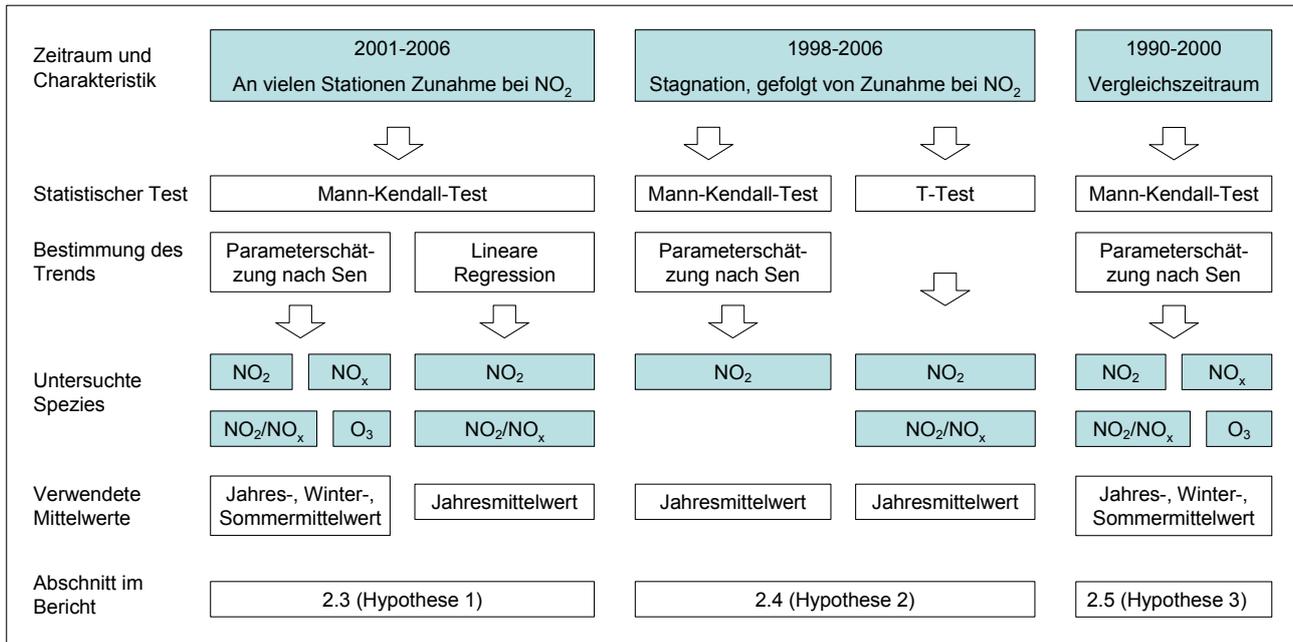


Abbildung 3: Vorgehen bei der Trendanalyse.

Mann-Kendall-Test

Wie in Abbildung 3 angegeben, wurde zur Feststellung von Trends im Zeitraum **2001–2006** der Mann-Kendall-Test verwendet (GILBERT 1987). Dieser Test zeigt, ob in einer Zeitreihe von Messwerten ein statistisch signifikanter Trend vorliegt oder nicht, wobei jeweils Paare von Messwerten verglichen werden. Ist bei den verglichenen Messwertpaaren in den überwiegenden Fällen jeweils der zweite Wert der höhere, so besteht ein Trend nach oben. Je nach Anteil der „positiven“ Messwertpaare wird von einem signifikanten bzw. einem nicht signifikanten Trend gesprochen.

Der Mann-Kendall-Test ist besonders geeignet, um Trends in Datenreihen mit längeren Mittelungsperioden (z. B. Jahresmittelwerte, Wintermittelwerte, Sommermittelwerte) zu untersuchen. Er wird vielfach bei der Analyse von Luftqualitätsdaten verwendet (z. B. AIR QUALITY EXPERT GROUP 2004, CARSLAW 2005, UMWELTBUNDESAMT 2006a). Zur Trendanalyse mit dem Mann-Kendall-Test wurde die Software MAKESENS (FMI 2002) verwendet.

t-Test

Zusätzlich zum Mann-Kendall-Test wurde der Student'sche t-Test angewendet. Damit wurde getestet, ob sich die Mittelwerte zweier Perioden unterscheiden.

Sowohl der t-Test als auch der Mann-Kendall-Test werden auf verschiedenen Signifikanzniveaus durchgeführt. Das Signifikanzniveau α ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Nullhypothese („zwischen den Werten besteht kein Unterschied“) fälschlicherweise verworfen wird. Das heißt, dass ein Unterschied zwischen zwei Perioden bzw. ein Trend festgestellt wird, in Wirklichkeit aber keiner besteht. Als signifikant werden Trends mit Signifikanzniveau $\alpha < 5\%$ bezeichnet, als hoch signifikant Trends mit Signifikanzniveau $\alpha < 1\%$.

Bestimmung des Trends

Um das Ausmaß des Trends, d. h. die Änderung der Konzentration pro Jahr, zu bestimmen, wurde einerseits die Parameterschätzung nach Sen (GILBERT 1987) verwendet, andererseits die lineare Regression. Die Parameterschätzung nach Sen liefert – ähnlich wie die lineare Regression – die Steigung einer Geraden. Sie hat gegenüber der linearen Regression aber den Vorteil, dass sie auf einzelne Ausreißer weniger sensitiv reagiert. Deshalb legt der vorliegende Bericht den Schwerpunkt auf



die Parameterschätzung nach Sen, die lineare Regression wird nur zu Vergleichszwecken verwendet. Auch für die Parameterschätzung nach Sen wurde die Software MAKESENS (FMI 2002) verwendet.

Der Mann-Kendall-Test und die Bestimmung der Trends wurden für die Schadstoffe NO₂, NO_x und Ozon sowie für das Verhältnis der NO₂-Konzentration zur NO_x-Konzentration durchgeführt. Trends in den NO₂-Konzentrationen sind für die vorliegende Studie zentral; aber auch das Verhältnis NO₂ zu NO_x ist von Interesse, da es Aussagen über den Anteil von NO₂, unabhängig von der Entwicklung der NO_x-Emissionen, erlaubt. Trends in den NO_x-Konzentrationen dienen zu Vergleichszwecken; Trends der Ozonkonzentrationen geben Aufschluss über mögliche Wechselwirkungen zwischen Ozon und Stickoxiden.

untersuchte Schadstoffe

Die Trends werden für Jahresmittelwerte, Wintermittelwerte (Oktober bis März) und Sommermittelwerte (April bis September) bestimmt, da Stickoxid- und Ozonkonzentrationen bedeutenden saisonalen Schwankungen unterliegen.

Jahres-, Sommer- und Wintermittelwerte

Für den Zeitraum **1998–2006** (Abbildung 3, Mitte) wurden ebenfalls der Mann-Kendall-Test und die Parameterschätzung nach Sen angewandt. Von besonderem Interesse sind jedoch Unterschiede zwischen den Perioden 1998–2000 (Stagnation von NO_x und NO₂ auf „niedrigem“ Niveau an vielen Messstationen) und 2004–2006 (aktuellste verfügbare Daten; steigende NO₂-Konzentrationen an vielen Messstationen bei stagnierender NO_x-Konzentration). Um Unterschiede zwischen diesen beiden Perioden zu bestimmen, wird der Student'sche t-Test verwendet. Dieser Test sagt aus, ob sich die Mittelwerte der beiden Perioden signifikant unterscheiden.

Vergleich 1998–2000 mit 2004–2006

Der t-Test wurde auf die Jahresmittelwerte der NO₂-Konzentrationen sowie auf das Verhältnis der NO₂- zu den NO_x-Konzentrationen angewandt.

Der Zeitraum **1990–2000** (Abbildung 3, rechts) diente als Vergleichsperiode, um Unterschiede in den Trends zwischen den 1990er-Jahren und den letzten Jahren herauszuarbeiten. Deshalb wurde wie für den Zeitraum 2001–2006 ausgewertet, jedoch ohne lineare Regression.

Vergleichsperiode

Ausgangspunkt für die Trendanalyse bildeten drei Hypothesen, die aufgrund der aktuellen Emissions- und Immissionssituation formuliert und anschließend systematisch getestet wurden. Die Hypothesen wurden für alle österreichischen Messstationen getestet, die in den entsprechenden Zeiträumen gemäß IG-L durchgehend betrieben wurden.

Hypothesen

Hypothese 1: Im Zeitraum 2001–2006 besteht ein signifikanter (steigender) Trend in den Jahresmittelwerten der NO₂-Konzentrationen.

Das Vorgehen zum Test dieser Hypothese ist in Abbildung 3 (links) zusammengefasst, die Resultate sind in Abschnitt 2.3 des vorliegenden Berichts dargestellt.

Neben dieser Hypothese für NO₂ wurden analoge Hypothesen für NO_x, das Verhältnis von NO₂ zu NO_x und Ozon getestet (Hypothesen 1a–1c). Zusätzlich wurden analoge Hypothesen für Wintermittelwerte (Oktober bis März) und Sommermittelwerte (April bis September) getestet. Damit ergeben sich insgesamt zwölf Hypothesen, die in Tabelle 1 zusammengefasst sind.



Tabelle 1: Hypothesen zum Trend 2001–2006.

Mittelungszeitraum	Stickstoffdioxid (NO ₂)	Stickoxide (NO _x)	Verhältnis NO ₂ /NO _x	Ozon (O ₃)
Jahresmittelwert	Hypothese 1	Hypothese 1a	Hypothese 1b	Hypothese 1c
Wintermittelwert	Hypothese 1 _{Winter}	Hypothese 1a _{Winter}	Hypothese 1b _{Winter}	Hypothese 1c _{Winter}
Sommermittelwert	Hypothese 1 _{Sommer}	Hypothese 1a _{Sommer}	Hypothese 1b _{Sommer}	Hypothese 1c _{Sommer}

Hypothese 2: Die mittleren NO₂-Konzentrationen im Zeitraum 2004–2006 unterscheiden sich signifikant von den mittleren NO₂-Konzentrationen im Zeitraum 1998–2000.

Diese Hypothese betrifft den Vergleich von zwei unabhängigen Perioden und wurde deshalb mit Hilfe des t-Tests überprüft. Zum Vergleich wurde auch der Mann-Kendall-Test auf den Zeitraum 1998–2006 angewandt (vgl. Abbildung 3, Mitte). Die Resultate dieser Tests sind im Abschnitt 2.4 dargestellt.

Neben der Hypothese für NO₂ wurde eine analoge Hypothese für das Verhältnis von NO₂ zu NO_x (Hypothese 2a) getestet.

Tabelle 2: Hypothesen zum Unterschied zwischen dem Zeitraum 1998–2000 und dem Zeitraum 2004–2006.

Mittelungszeitraum	Stickstoffdioxid (NO ₂)	Verhältnis NO ₂ /NO _x
Jahresmittelwert	Hypothese 2	Hypothese 2a

Hypothese 3: Im Zeitraum 1990–2000 besteht ein signifikanter (abnehmender) Trend in den Jahresmittelwerten der NO₂-Konzentrationen.

Diese Hypothese, die zum Vergleich der aktuellen Situation mit den 1990er-Jahren diente, wurde zusätzlich zu NO₂ auch für NO_x, das Verhältnis NO₂ zu NO_x und Ozon (Hypothesen 3a–3c) getestet. Die Hypothesen wurden jeweils für Jahresmittelwerte, Wintermittelwerte und Sommermittelwerte getestet (Tabelle 3). Die Resultate sind in Abschnitt 2.5 dargestellt.

Tabelle 3: Hypothesen zum Trend 1990–2000.

Mittelungszeitraum	Stickstoffdioxid (NO ₂)	Stickoxide (NO _x)	Verhältnis NO ₂ /NO _x	Ozon (O ₃)
Jahresmittelwert	Hypothese 3	Hypothese 3a	Hypothese 3b	Hypothese 3c
Wintermittelwert	Hypothese 3 _{Winter}	Hypothese 3a _{Winter}	Hypothese 3b _{Winter}	Hypothese 3c _{Winter}
Sommermittelwert	Hypothese 3 _{Sommer}	Hypothese 3a _{Sommer}	Hypothese 3b _{Sommer}	Hypothese 3c _{Sommer}

Beim Test dieser Hypothesen ist zu berücksichtigen, dass die Immissionskonzentrationen von vielen Faktoren, insbesondere auch von den meteorologischen Verhältnissen, beeinflusst werden. Diese möglichen Einflüsse werden im folgenden Abschnitt behandelt.



2.2 Meteorologische Verhältnisse

Die NO₂- bzw. NO_x-Belastung und ihr zeitlicher Verlauf werden nicht nur von den Emissionen sondern auch von den meteorologischen Ausbreitungsbedingungen beeinflusst. Diese sind für das Ausmaß der Verdünnung und die Akkumulation von bodennah emittierten Schadstoffen verantwortlich. Ferntransport spielt bei NO₂ aufgrund seiner (im Vergleich zu anderen Schadstoffen wie Ozon, Schwefeldioxid, Feinstaub und Kohlenstoffmonoxid) geringen atmosphärischen Lebensdauer von ca. 12 Stunden nur eine untergeordnete Rolle. Das NO₂/NO_x-Verhältnis und damit die NO₂-Belastung kann aber von der Ozonkonzentration abhängen, die die Geschwindigkeit der Oxidation von NO zu NO₂ bestimmt.

Den Zusammenhang zwischen in der vorliegenden Studie untersuchten Jahres- bzw. Sommer- und Wintermittelwerte und den meteorologischen Verhältnissen oder der Ozonbelastung zu untersuchen, würde den Rahmen dieser Arbeit weit übersteigen. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die Witterungssituation in den Jahren 1998–2000 und 2004–2006 gegeben. Ziel ist zu dokumentieren, ob deutliche Unterschiede bei den Ausbreitungsbedingungen in diesen Vergleichsperioden mitverantwortlich für die beobachteten Unterschiede zwischen den beiden Perioden (Hypothese 2) sein können.

Das Jahr 1998 begann mit einem sehr warmen und niederschlagsarmen Winter. Der ebenfalls überdurchschnittlich warme Sommer wurde von einem außerordentlich regenreichen Juli unterbrochen. Sehr viel Niederschlag fiel im Herbst 1998, der Dezember 1998 und der Jänner 1999 waren warm und trocken.

Der Februar 1999 gestaltete sich, bei durchschnittlichen Temperaturen, extrem schneereich. Es folgten ein warmer Frühling und Sommer, wobei der August sehr regenreich war. Die Monate nach dem sehr warmen September 1999 wiesen durchschnittliche Temperaturen und Niederschlagsmengen auf.

Im Jahr 2000 folgten auf einen kalten Jänner bis Juni überdurchschnittlich warme und trockene Monate. Der Juli 2000 war dagegen kühl, der August und September 2000 wieder von überdurchschnittlichen Temperaturen gekennzeichnet, ebenso der Winter ab November 2000.

Das Jahr 2004 begann zumeist mit überdurchschnittlichen Temperaturen und sehr hohen Schneemengen im Osten Österreichs. Bis April lagen die Temperaturen über dem langjährigen Mittel. Der Sommer war von wechselhaftem Wetter gekennzeichnet, vor allem der Juni wies hohe Regenmengen auf. Der Herbst 2004 und der folgende Winter bis Jänner 2005 waren ungewöhnlich warm und im Großteil Österreichs trocken.

Februar und März sowie der Frühling 2005 waren sehr kalt und eher trocken. Der Sommer wies leicht überdurchschnittliche Temperaturen, gebietsweise aber sehr hohe Regenmengen auf. Es folgten mit September und Oktober sehr warme Herbstmonate und ein durchschnittlich temperierter Winterbeginn.

Außerordentlich kalt gestalteten sich dann Jänner bis März 2006, wobei vor allem in Ostösterreich hohe Schneemengen fielen. Der Frühling 2006 war durchschnittlich temperiert, der Sommer sehr warm, gebietsweise aber sehr regenreich. Es folgte ein außerordentlich warmer und trockener Herbst und Winter.

Bedeutung der Witterungssituation



**keine extremen
Witterungsverläufe**

Insgesamt zeigen die in den folgenden Kapiteln verglichenen Dreijahresperioden 1998–2000 und 2004–2006 keine extremen Witterungsverläufe. Winter mit günstigen und ungünstigen Ausbreitungsbedingungen wechselten einander ab. Die Sommer waren zumeist warm, aber häufig auch regenreich, was extremer Ozonbildung entgegenwirkte.

Das Jahr 2003 fällt durch außerordentlich hohe Sommertemperaturen und dadurch bedingt die höchste bisher gemessene Ozonbelastung auf. Es ist im Vergleich der Dreijahresperioden (Hypothese 2) nicht enthalten, jedoch in der Trendauswertung (Hypothese 1).

Die Jahresmittelwerte der NO₂-Belastung lassen sich nur sehr beschränkt mit Jahresmittelwerten der Ozonbelastung in Beziehung setzen. Im Grunde müsste für jeden einzelnen Zeitpunkt das konkrete Zusammenwirken von NO_x-Emissionen, Ausbreitungsbedingungen und Ozonkonzentration untersucht werden.

**Ozonkonzentrationen 1998–2000
und 2004–2006**

In Tabelle 4 werden die Mittelwerte der Ozonkonzentration über die Zeiträume 1998–2000 und 2004–2006 in den einzelnen Ozonüberwachungsgebieten (nur Messstellen unter 1.500 m) verglichen. Die mittlere Ozonkonzentration nahm tendenziell zu, am stärksten, um jeweils +3 µg/m³, in den Ozonüberwachungsgebieten 1 (Nordostösterreich), 4 (Pinzgau, Pongau, Steiermark nördlich des Alpenhauptkamms) und 6 (Vorarlberg); in den Gebieten 3 (Oberösterreich und nördliches Salzburg), 5 (Nordtirol) sowie 7 (Kärnten und Osttirol) und 8 (Lungau und oberes Murtal) stagnierte sie oder ging leicht zurück. Die Unterschiede in der mittleren Ozonbelastung zwischen den beiden Perioden sind insgesamt schwer zu interpretieren und dürften zumindest zum Teil auf ein Ansteigen der großräumigen Hintergrundbelastung zurückzuführen sein. Ein möglicher Zusammenhang zwischen veränderter Ozonbelastung und verändertem NO₂/NO_x-Verhältnis wird in Kapitel 2.5.2 diskutiert.

Tabelle 4: Mittelwerte der Ozonkonzentration 1998–2000 und 2004–2006 in den einzelnen Ozonüberwachungsgebieten (nur Messstellen unter 1.500 m), µg/m³.

Ozonüberwachungsgebiet	1998–2000	2004–2006
1	56	59
2	59	60
3	56	56
4	51	54
5	47	47
6	53	56
7 und 8	44	43

2.3 Hypothese 1: Trends 2001–2006

Die im Zeitraum 2001–2006 in Österreich an den durchgehend nach IG-L betriebenen Messstellen erfassten NO₂- und NO_x-Konzentrationen (Jahresmittelwerte bzw. Winter- und Sommermittel) wurden mit Hilfe des Mann-Kendall-Tests auf signifikante Trends überprüft. Das Ausmaß der Trends (mittlere Änderung der Konzentration pro Jahr) wurde mit Hilfe der Parameterschätzung nach Sen und der linearen Regression bestimmt. Das Vorgehen beim Mann-Kendall-Test und bei der Parameterschätzung nach Sen ist in Abschnitt 2.1 beschrieben.

In Abbildung 4 sind beispielhaft die NO₂-Jahresmittelwerte von vier verkehrsnahen Messstationen dargestellt, wobei drei dieser Messstationen einen signifikanten Trend nach oben aufweisen. Zum Vergleich sind sowohl die mit Hilfe der Parameterschätzung nach Sen bestimmten Trendgeraden als auch die mit linearer Regression bestimmten Geraden dargestellt. Es ist zu sehen, dass die beiden Methoden der Trendbestimmung in diesen Beispielen sehr ähnliche Resultate liefern.

Beispiele für Trends

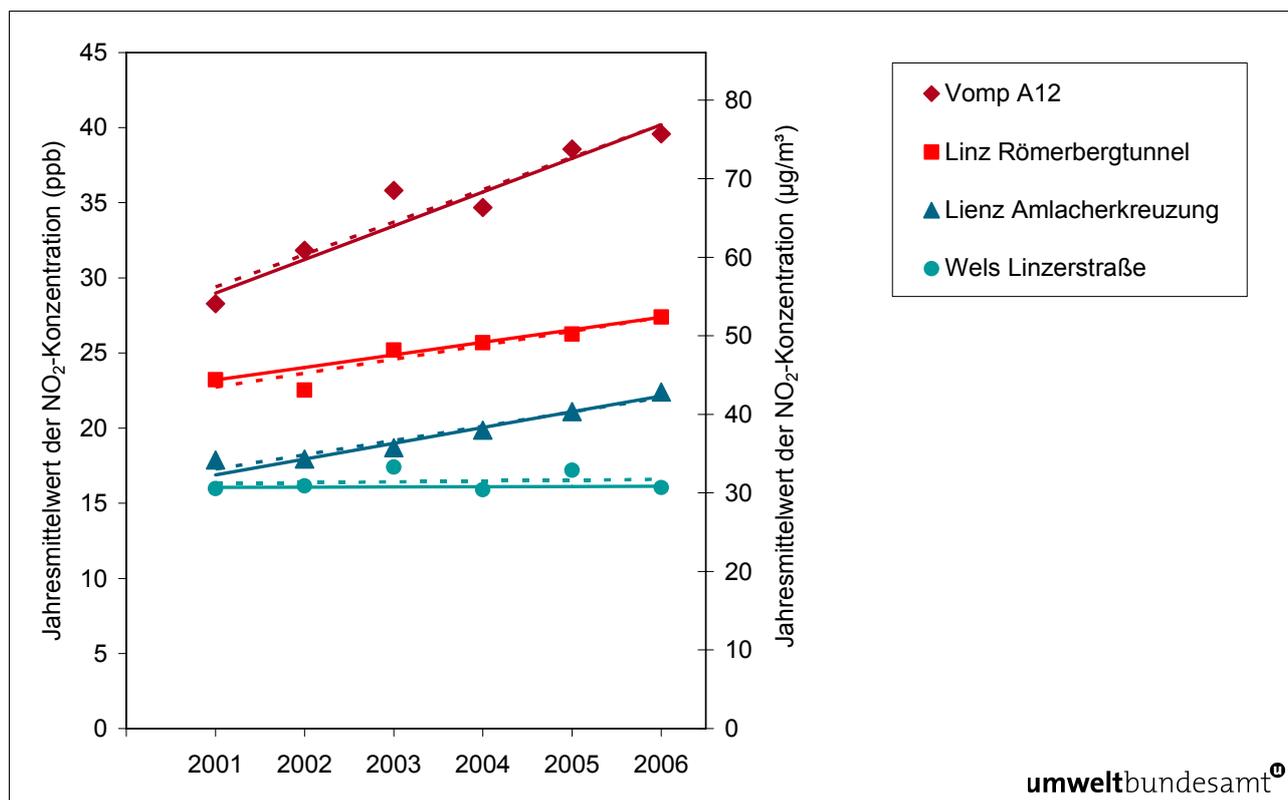
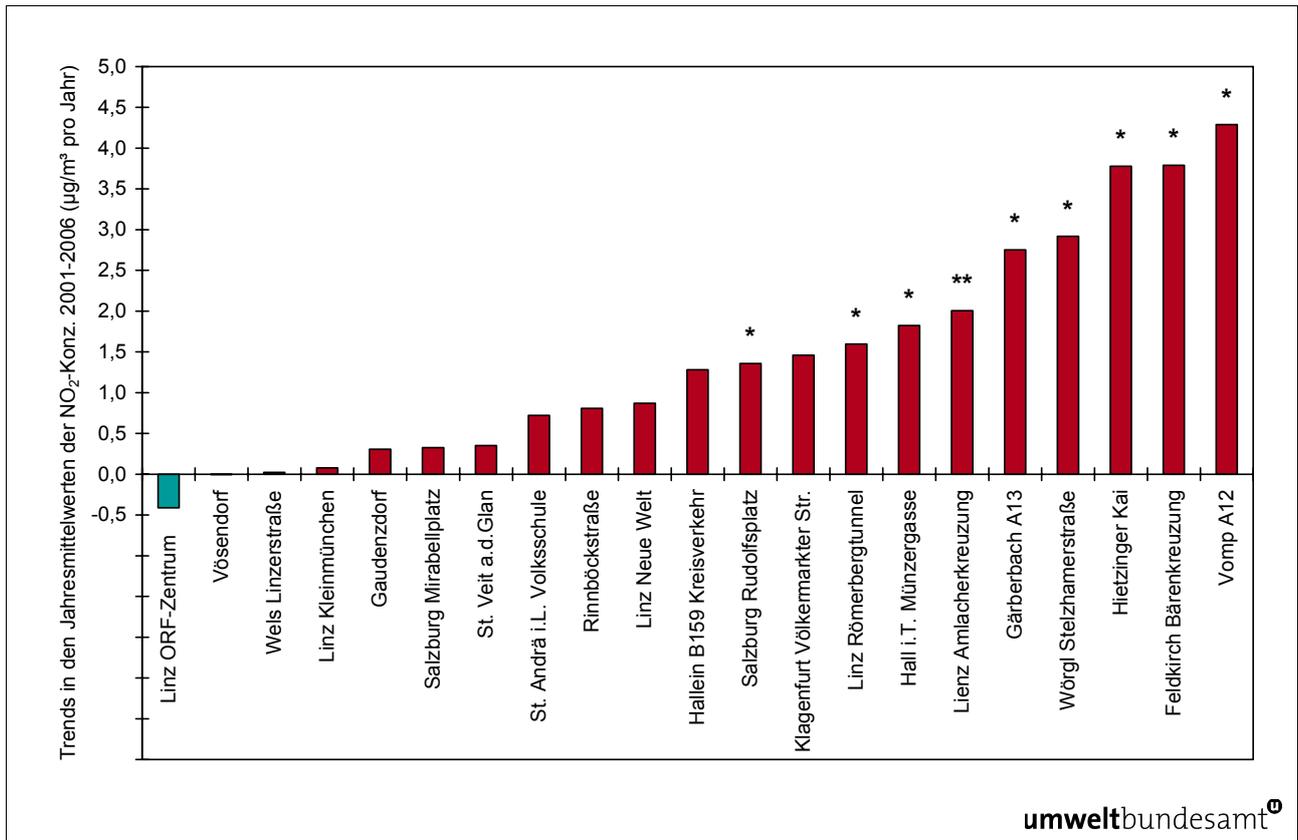


Abbildung 4: Jahresmittelwerte der NO₂-Konzentrationen an vier verkehrsnahen Messstellen. Die durchgezogenen Linien stellen den mit Hilfe der Parameterschätzung nach Sen (GILBERT 1987) bestimmten Trend dar, die gepunkteten Linien stellen den mit linearer Regression bestimmten Trend dar.

In Tabelle 19 im Anhang sind die Resultate des Mann-Kendall-Tests und die berechneten Trends (nach Sen sowie mit linearer Regression) für alle weiteren untersuchten Messstellen aufgelistet.

Zur Veranschaulichung sind in Abbildung 5 die Trends aller verkehrsnahen Messstationen (nach Eol-Klassifikation, siehe ER 1997) dargestellt.

Trends in µg/m³ pro Jahr



- * signifikanter Trend (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$)
- ** hoch signifikanter Trend (Signifikanzniveau $\alpha = 0,01$).

Abbildung 5: Trends in den Jahresmittelwerten der NO₂-Konzentrationen an verkehrsnahen österreichischen Messstellen 2001–2006, bestimmt mit der Parameterschätzung nach Sen.

Es zeigt sich, dass nahezu alle verkehrsnahen Messstellen seit 2001 eine Zunahme der NO₂-Jahresmittelwerte aufweisen. In Linz ORF-Zentrum spielen industrielle Emissionen – die in diesem Zeitraum in Linz deutlich abgenommen haben – neben jenen des Verkehrs eine Rolle. In Vösendorf führten die Bauarbeiten und Verkehrsumleitungen im Zuge der Errichtung der S1 in den letzten Jahren zu Variationen der NO_x-Belastung, die eine Trendanalyse erschweren.

Auffällig ist, dass hohe Jahresmittelwerte vor allem an Messstellen mit großer absoluter Belastung registriert werden und mit hoher statistischer Signifikanz verbunden sind. Dieser Befund untermauert die Hypothese, dass gerade an stark verkehrsbeeinflussten Messstellen die NO₂-Belastung signifikant steigt.

Überblick: Trends an verschiedenen Messstellen

Für die restlichen, nicht in Abbildung 5 dargestellten Messstationen sind die Resultate in Tabelle 19 im Anhang tabellarisch aufgelistet. Einen Überblick über die Resultate, aufgeteilt nach Lage der Messstelle, gibt Abbildung 6. Für verkehrsnahen Messstellen, Messstellen in Großstädten, in kleinen Städten und in Dörfern bzw. ländlichen Gegenden ist jeweils der Anteil der untersuchten Messstellen dargestellt, die einen abnehmenden bzw. einen zunehmenden Trend aufweisen. Darüber hinaus ist dargestellt, welcher Anteil der Messstellen einen signifikanten Trend aufweist. Die Resultate werden für Jahresmittelwerte sowie für Sommer- bzw. Wintermittelwerte separat angegeben.

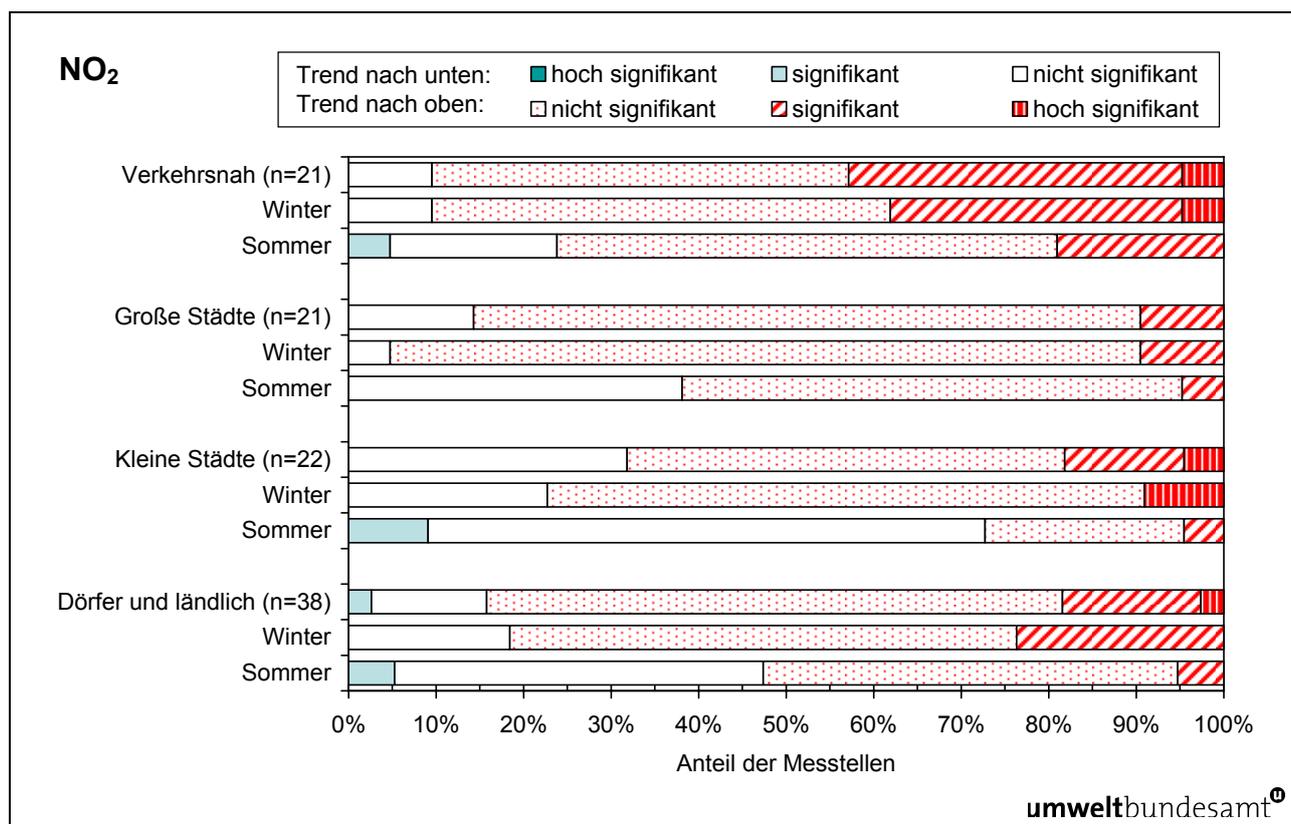


Abbildung 6: Zusammenfassung der Tests auf signifikante Trends in den Jahresmittelwerten, Wintermittelwerten und Sommermittelwerten von NO₂ im Zeitraum 2001–2006 an österreichischen Messstellen. Große Städte: über 80.000 EinwohnerInnen. Kleine Städte: 10.000–80.000 EinwohnerInnen.

Die überwiegende Zahl der österreichischen NO₂-Messstellen zeigt zunehmende Trends. Unter den verkehrsnahen Messstellen sind mit 40 % deutlich mehr Messstellen, die einen statistisch signifikanten Trend aufweisen, als unter den übrigen Messstellen mit ca. 15 %. Demgegenüber gibt es bei den Jahresmittelwerten nur eine einzige Messstelle (Payerbach), die einen statistisch signifikant abnehmenden Trend (auf sehr niedrigem Konzentrationsniveau) aufweist.

Jene ländliche Messstelle mit einem statistisch hoch signifikant steigenden Trend der Jahresmittelwerte ist Kramsach Angerberg oberhalb des Inntals, deren Belastung von den Emissionen der Inntalautobahn A12 dominiert wird.

Die Wintermittelwerte zeigen kein wesentlich anderes Bild als die Jahresmittelwerte; demgegenüber finden sich bei der Analyse der Trends der Sommermittelwerte weniger Messstellen mit steigenden Trends oder mit statistisch signifikant steigenden Trends.

Analog zu den Tests für die NO₂-Konzentrationen (Hypothese 1) wurden Tests für die NO_x-Konzentrationen durchgeführt (Hypothese 1a). Die Resultate für die einzelnen Stationen sind ebenfalls in Tabelle 19 im Anhang aufgelistet. Die Anteile der Messstationen mit abnehmenden bzw. zunehmenden Trends sind in Abbildung 7 zusammengefasst.

NO_x-Trends an verschiedenen Messstellen

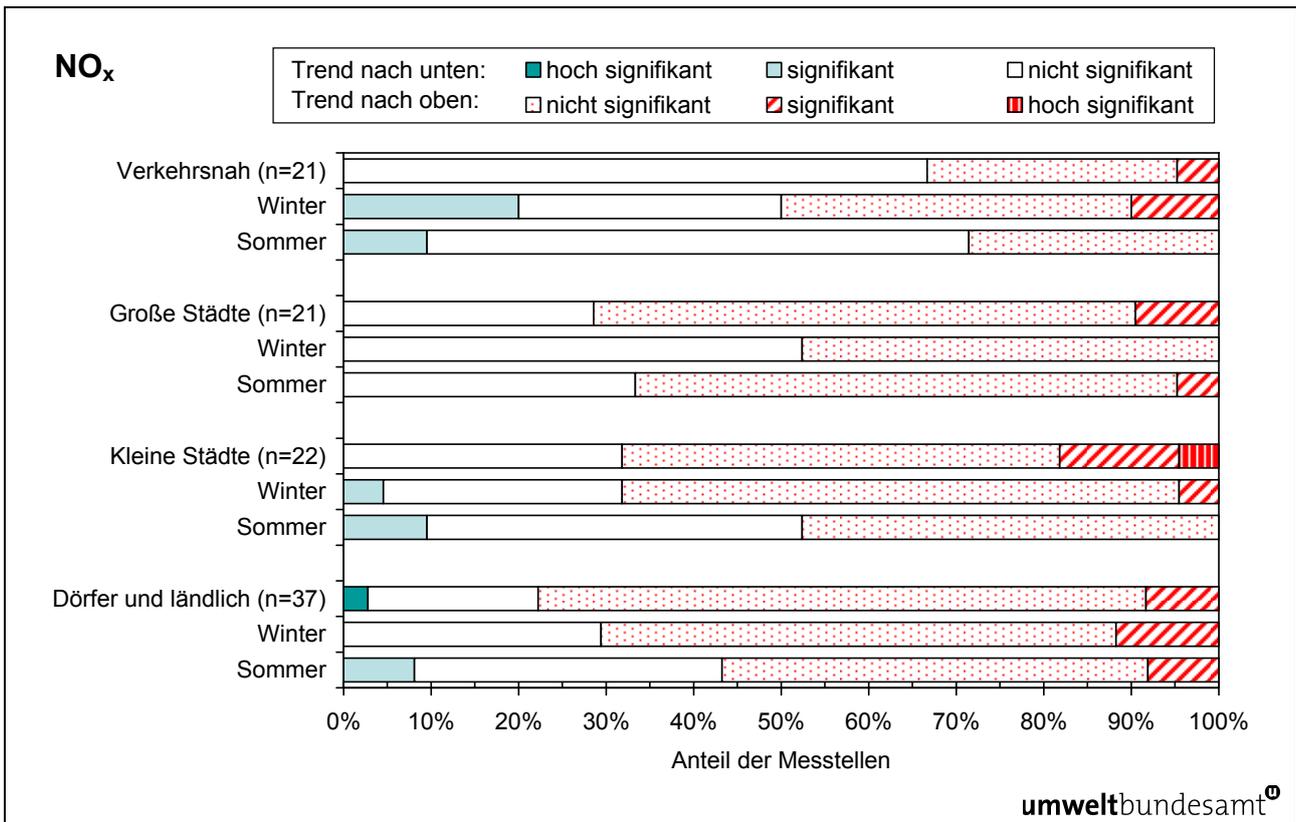


Abbildung 7: Zusammenfassung des Tests auf Trends in den Jahresmittelwerten, Wintermittelwerten und Sommermittelwerten von NO_x im Zeitraum 2001–2006 an österreichischen Messstellen. Große Städte: über 80.000 EinwohnerInnen. Kleine Städte: 10.000–80.000 EinwohnerInnen.

Im österreichweiten Vergleich halten sich zunehmende und abnehmende Trends in etwa die Waage. Anders als bei NO₂ weisen gerade die verkehrsnahen Messstellen mehrheitlich (etwa 65 %) abnehmende Trends auf. Demgegenüber nimmt an der überwiegenden Zahl der städtischen wie ländlichen Messstellen (über 70 %) die mittlere NO_x-Belastung seit 2001 zu.

Insgesamt sind statistisch signifikante Trends unter den NO_x-Zeitreihen weniger häufig als bei NO₂, allerdings sind statistisch signifikant zunehmende Trends wesentlich häufiger zu beobachten als abnehmende Trends. Statistisch signifikant zunehmende Trends werden häufiger an nicht verkehrsnahen als an verkehrsnahen Messstellen beobachtet.

Den einzigen statistisch hoch signifikanten zunehmenden Trend weist die Messstelle Villach auf, den einzigen statistisch hoch signifikanten abnehmenden Trend Payerbach (auf niedrigem Konzentrationsniveau).

Trends im Verhältnis NO₂ zu NO_x

Weiters wurden Tests für das Verhältnis der NO₂- zu NO_x-Konzentrationen durchgeführt (Hypothese 1b). Die Resultate für die einzelnen Stationen sind in Tabelle 20 im Anhang aufgelistet. Die Anteile der Messstationen mit abnehmenden bzw. zunehmenden Trends sind in Abbildung 8 dargestellt.

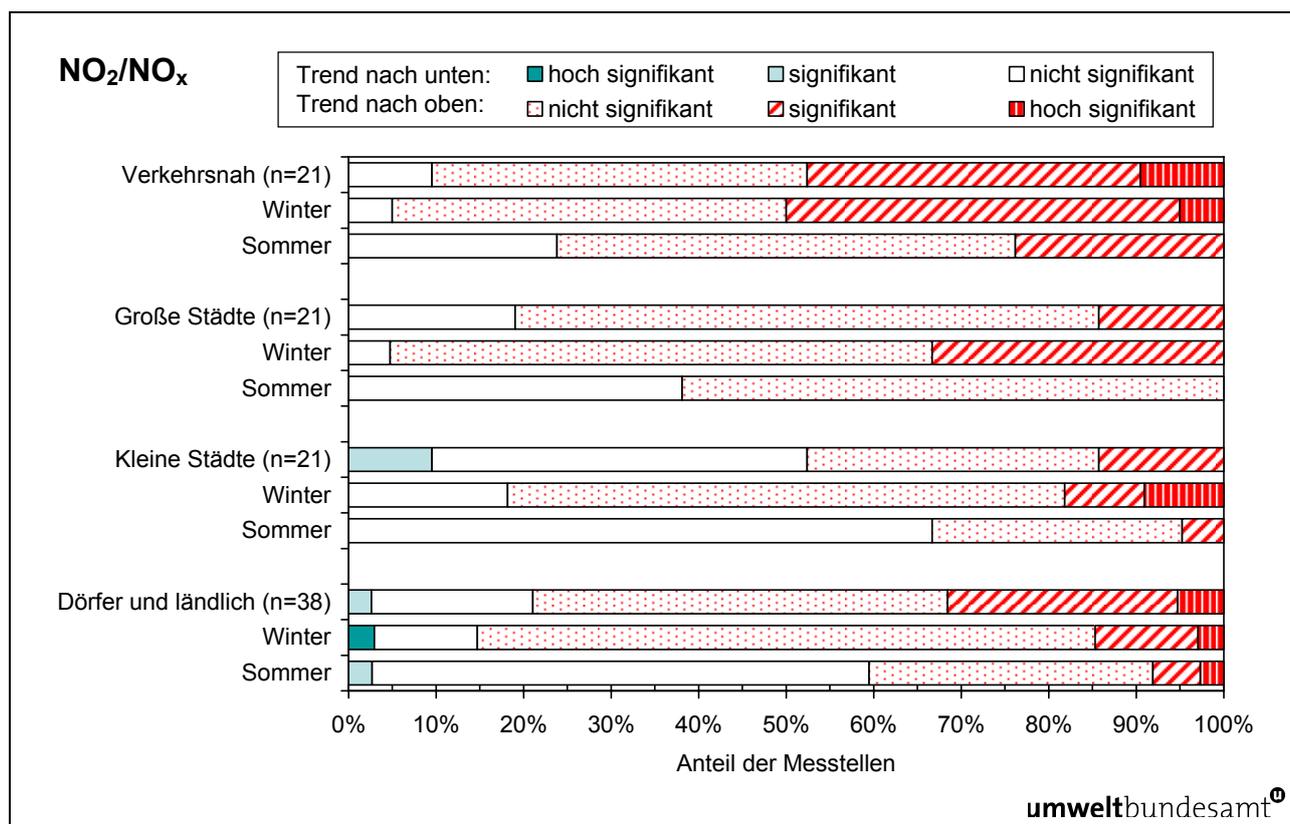


Abbildung 8: Zusammenfassung des Tests auf Trends im Verhältnis NO₂ zu NO_x in den Jahresmittelwerten, Wintermittelwerten und Sommermittelwerten im Zeitraum 2001–2006 an österreichischen Messstellen. Große Städte über 80.000 EinwohnerInnen. Kleine Städte: 10.000–80.000 EinwohnerInnen.

Das NO₂/NO_x-Verhältnis nimmt an der ganz überwiegenden Anzahl der österreichischen Messstellen im Jahresmittel zu – an etwa 90 % der verkehrsnahen Messstellen und an ca. 70 % aller übrigen Messstellen. Statistisch signifikante Zunahmen betreffen ebenfalls bevorzugt die verkehrsnahen Messstellen (ca. 45 %), gefolgt von den ländlichen Messstellen (30 %). Statistisch hoch signifikant zunehmende Trends der Jahresmittelwerte werden an den Messstellen Salzburg Rudolfsplatz, Wien Rinnböckstraße (Großstadt verkehrsnah) sowie Grünbach (ländlich) beobachtet.

Im Winter weisen weitaus mehr Messstellen zunehmende Trends beim NO₂/NO_x-Verhältnis auf als im Sommer.

Schließlich wurden auch Tests auf Trends in den Ozon-Konzentrationen durchgeführt (Hypothese 1c). Die Resultate für die einzelnen Stationen sind in Tabelle 20 im Anhang gegeben. Die Anteile der Messstationen mit Trends nach unten bzw. oben sind in Abbildung 9 dargestellt. Bei Ozon wird zusätzlich zwischen den Kategorien „Dörfer und ländlich“ sowie „Hochgebirge“ (über 1.500 m) unterschieden. Verkehrsnahen Messstellen sind in der Abbildung nicht separat ausgewiesen, da Ozon im betrachteten Zeitraum nur an zwei verkehrsnahen Messstellen (Salzburg Mirabellplatz und Villach Tirolerbrücke) gemessen wurde. Die Resultate dieser beiden Messstellen wurden in den Resultaten für „große Städte“ bzw. „kleine Städte“ berücksichtigt.

Trends bei Ozon

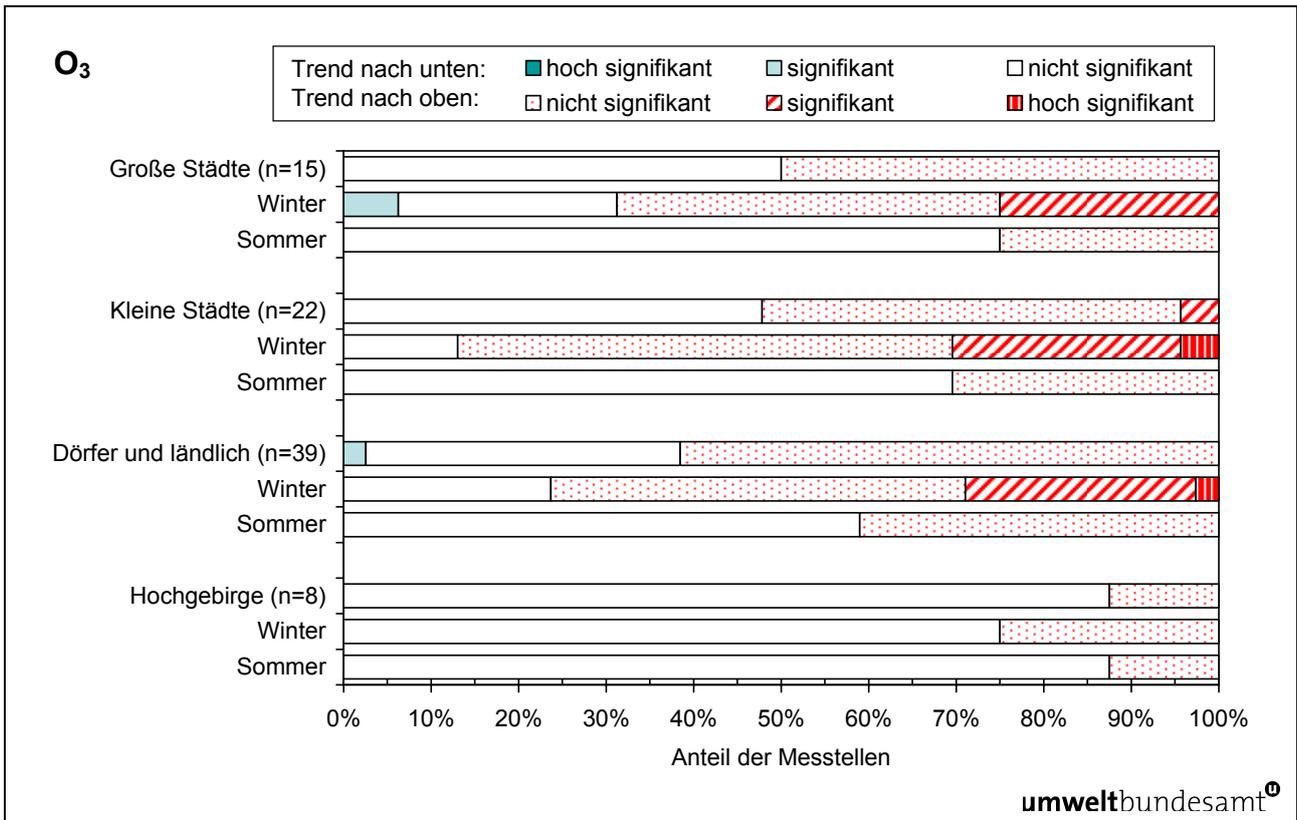


Abbildung 9: Zusammenfassung des Tests auf Trends in den Jahresmittelwerten, Wintermittelwerten und Sommermittelwerten von Ozon im Zeitraum 2001–2006 an österreichischen Messstellen. Große Städte: über 80.000 EinwohnerInnen. Kleine Städte: 10.000–80.000 EinwohnerInnen. Hochgebirge: Messstellen über 1.500 m Meereshöhe.

Bei den Ozon-Jahresmittelwerten zeigen sich im Zeitraum 2001–2006 kaum statistisch signifikanten Trends. Zunahmen und Abnahmen halten sich in etwa die Waage. Der Verlauf der Ozon-Jahresmittelwerte weist gerade in den letzten Jahren extreme Schwankungen auf, 2003 traten die bisher höchsten Jahresmittelwerte auf, gefolgt 2004 von deutlich unterdurchschnittlichen Werten. Diese starken Variationen von Jahr zu Jahr sind für die niedrige statistische Signifikanz aller Trends verantwortlich.

2.4 Hypothese 2: Vergleich 1998–2000 mit 2004–2006

Für die Periode 1998–2006 wurde zunächst ein Mann-Kendall-Test durchgeführt (analog zum vorherigen Abschnitt). Anschließend wurden die Perioden 1998–2000 und 2004–2006 mit Hilfe eines t-Tests verglichen. Der t-Test zeigt, ob sich die beiden Perioden signifikant unterscheiden oder nicht (Details zum t-Test siehe Abschnitt 2.1).

2.4.1 NO₂

Abbildung 10 gibt einen Überblick über den Anteil der Messstationen, bei denen Trends der NO₂-Konzentration nach unten bzw. nach oben festgestellt wurden. Die Resultate für alle Messstationen sind in Tabelle 21 im Anhang dargestellt.

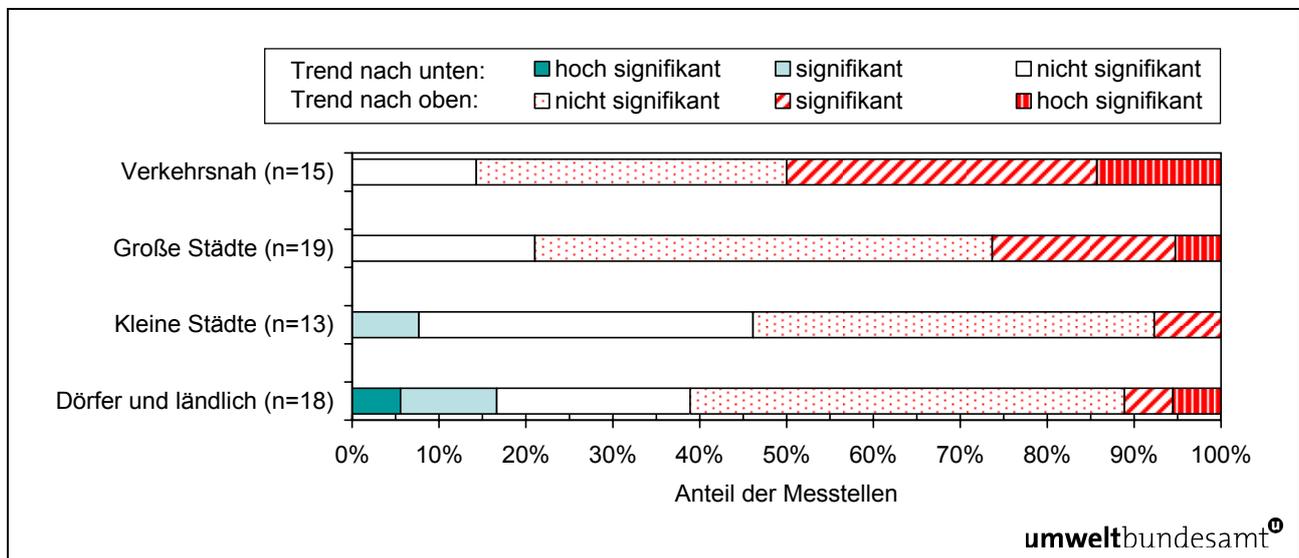


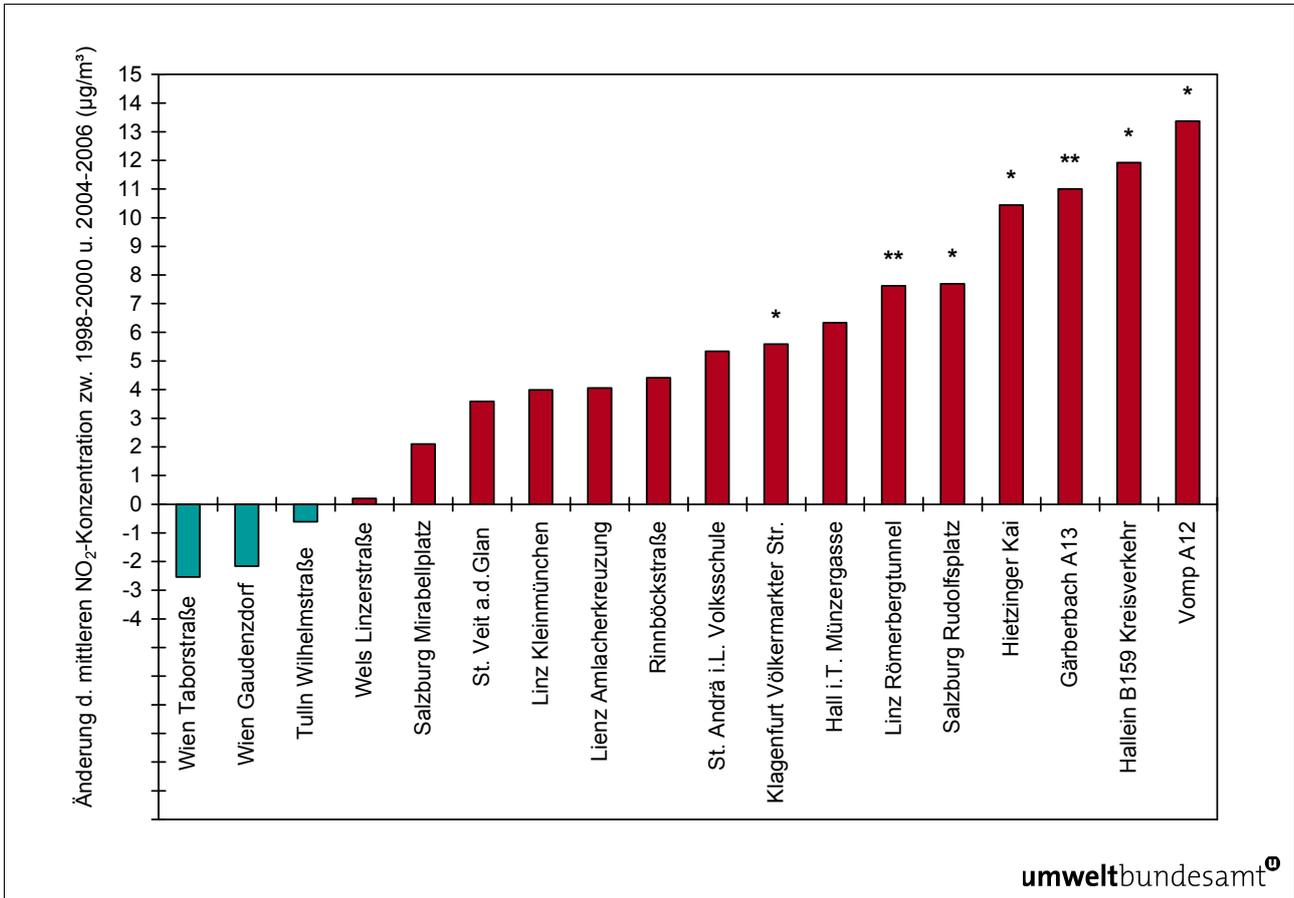
Abbildung 10: Zusammenfassung der Tests auf Trends in den Jahresmittelwerten von NO₂ im Zeitraum 1998–2006 an österreichischen Messstellen. Große Städte: über 80.000 EinwohnerInnen. Kleine Städte: 10.000–80.000 EinwohnerInnen.

Bereits im Zeitraum 1998–2006 weist die überwiegende Zahl der österreichischen Messstellen eine Zunahme der NO₂-Jahresmittelwerte auf, wobei die Großstädte und die verkehrsnahen Messstellen (mit über 80 %) am stärksten betroffen sind. Diese Standorte weisen auch eine vergleichsweise hohe Zahl statistisch signifikant steigender Trends (50 % der verkehrsnahen und 25 % der übrigen großstädtischen Messstellen) auf, hingegen keine statistisch signifikant abnehmenden Trends. Statistisch hoch signifikant zunehmende Trends der NO₂-Jahresmittelwert registrierten die Messstellen Hallein B159 Kreisverkehr¹, Salzburg Rudolfsplatz und Vomp A12 (verkehrsnah), Wien Floridsdorf (Großstadt Hintergrund) sowie St. Georgen (ländlich), eine statistisch hoch signifikante Abnahme nur Heidenreichstein (auf sehr niedrigem Niveau).

¹ Frühere Bezeichnung: Hallein Hagerkreuzung (identer Standort).

**Vergleich
der Perioden
mittels t-Test**

Als nächstes wurden spezifisch die Perioden 1998–2000 und 2004–2006 mit Hilfe eines t-Tests verglichen (Hypothese 2). In Abbildung 11 ist die Differenz in den NO₂-Konzentrationen zwischen den beiden Perioden angegeben – für alle verkehrsnahen Messstellen, die in diesen Perioden betrieben wurden. Messstellen, für die der t-Test einen signifikanten Unterschied ergab, sind mit einem Stern gekennzeichnet.



* signifikante Änderung (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$, t-Test unter Verwendung der Jahresmittelwerte)

** hoch signifikante Änderung (Signifikanzniveau $\alpha = 0,01$, t-Test unter Verwendung der Jahresmittelwerte)

Abbildung 11: Änderung der mittleren NO₂-Konzentration an verkehrsnahen Messstellen (µg/m³). Verglichen wurde der Mittelwert der Jahre 1998–2000 mit dem Mittelwert der Jahre 2004–2006.

Die überwiegende Anzahl der verkehrsnahen Messstellen zeigt eine signifikante Zunahme der NO₂-Belastung im Untersuchungszeitraum. Statistisch signifikante Änderungen fallen mit den numerisch hohen Zunahmen zusammen.

In Hall i. T. wird die statistische Signifikanz durch eine relativ hohe Variabilität von Jahr zu Jahr (JMW 1998: 38 µg/m³, 1999: 43 µg/m³; 2004: 44 µg/m³, 2005: 49 µg/m³) gedrückt.

Sowohl in Wien Gaudenzdorf wie in der Taborstraße kommen die (nicht signifikanten) rückläufigen Trends durch eine Abnahme bereits zwischen 1998 und 1999 zustande (Gaudenzdorf 1998: 43 µg/m³, 1999: 36 µg/m³), danach stagniert die NO₂-Belastung etwa auf dem Niveau von 1999.

Die Resultate für alle anderen Messstellen sind in Tabelle 21 im Anhang dargestellt. Zusammengefasst sind diese Resultate in Abbildung 12. In diesen Abbildungen ist dargestellt, welcher Anteil der untersuchten Messstationen positive bzw. negative Änderungen zwischen den Perioden 1998–2000 und 2004–2006 aufweist.

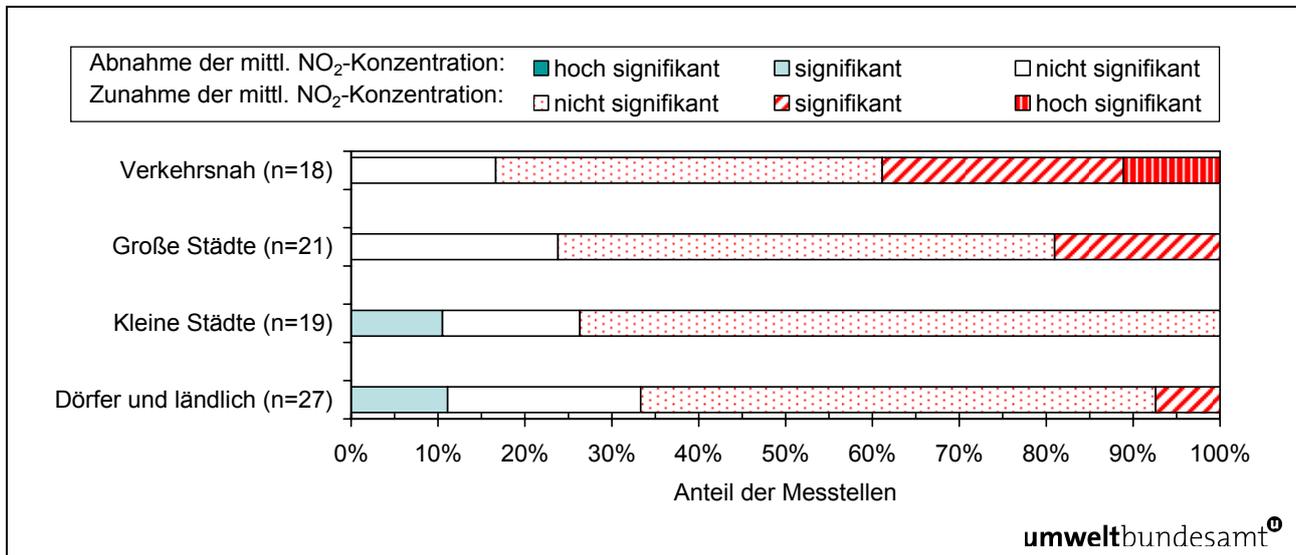


Abbildung 12: Zusammenfassung der Tests auf Änderungen zwischen 1998–2000 und 2004–2006 in den Jahresmittelwerten der NO₂-Konzentration im Zeitraum 1998–2006 an österreichischen Messstellen. Große Städte: über 80.000 EinwohnerInnen. Kleine Städte: 10.000–80.000 EinwohnerInnen.

Etwa 70 % der österreichischen Messstellen zeigen ansteigende NO₂-Trends, unter den verkehrsnahen Messstellen sind es 85 %. Statistisch signifikant steigende Trends finden sich (mit 40 %) auch bevorzugt unter den verkehrsnahen Standorten. Hoch signifikant steigende Trends werden an den Messstellen Linz Römerberg und Gärberbach A13 beobachtet.

2.4.2 NO₂/NO_x-Verhältnis

Die Resultate für das Verhältnis NO₂/NO_x sind in Tabelle 21 im Anhang dargestellt. Zusammengefasst sind diese Resultate in Abbildung 13.

Vergleich der Perioden bezüglich Verhältnis NO₂/NO_x

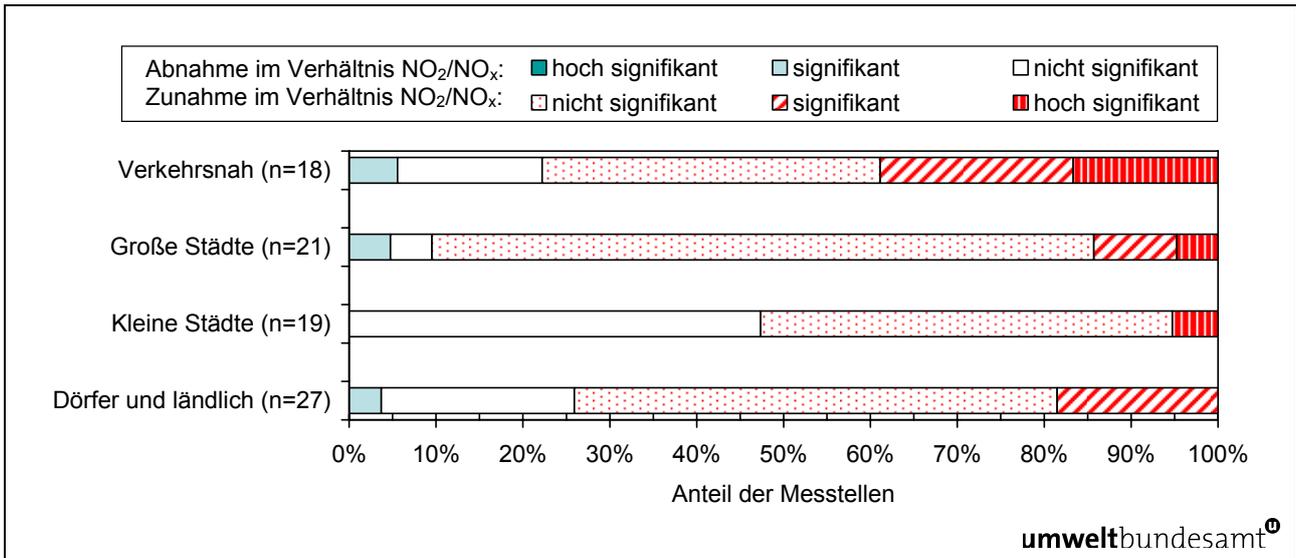


Abbildung 13: Zusammenfassung der Tests auf Änderungen zwischen 1998–2000 und 2004–2006 im Verhältnis NO₂/NO_x an österreichischen Messstellen. Große Städte: über 80.000 EinwohnerInnen. Kleine Städte: 10.000–80.000 EinwohnerInnen.

Auch das NO₂/NO_x-Verhältnis nimmt an der überwiegenden Zahl der österreichischen Messstellen zu, wobei sich keine so eindeutige Relation zu unterschiedlichen Standorttypen wie bei NO₂ zeigt. Signifikante Zunahmen werden bevorzugt an verkehrsnahen Messstellen (40 %), aber auch an ländlichen Standorten beobachtet; statistisch hoch signifikante Zunahmen zeigen die Messstellen St. Veit a. d. Glan, Leoben Göss, Hall i. T., Wien Liesing und Wien Rinnböckstraße.

**Verhältnis
NO₂/NO_x zu
NO_x-Konzentration**

Das NO₂/NO_x-Verhältnis zeigt für ein größeres Datenkollektiv eine charakteristische Abhängigkeit von der NO_x-Konzentration. In der Regel sind hohe NO_x-Konzentrationen mit niedrigen NO₂/NO_x-Verhältnissen verbunden und umgekehrt. In Abbildung 14 ist die Abhängigkeit des NO₂/NO_x-Verhältnisses der Jahresmittelwerte aller österreichischer Messstellen von der NO_x-Konzentration (µg/m³ als NO₂) für den Zeitraum 1998–2000 dargestellt, in Abbildung 15 für den Zeitraum 2004–2006. Jeder Punkt repräsentiert den Jahresmittelwert an einer Messstelle in einem Jahr. Eingetragen ist jeweils die logarithmische Regressionskurve.

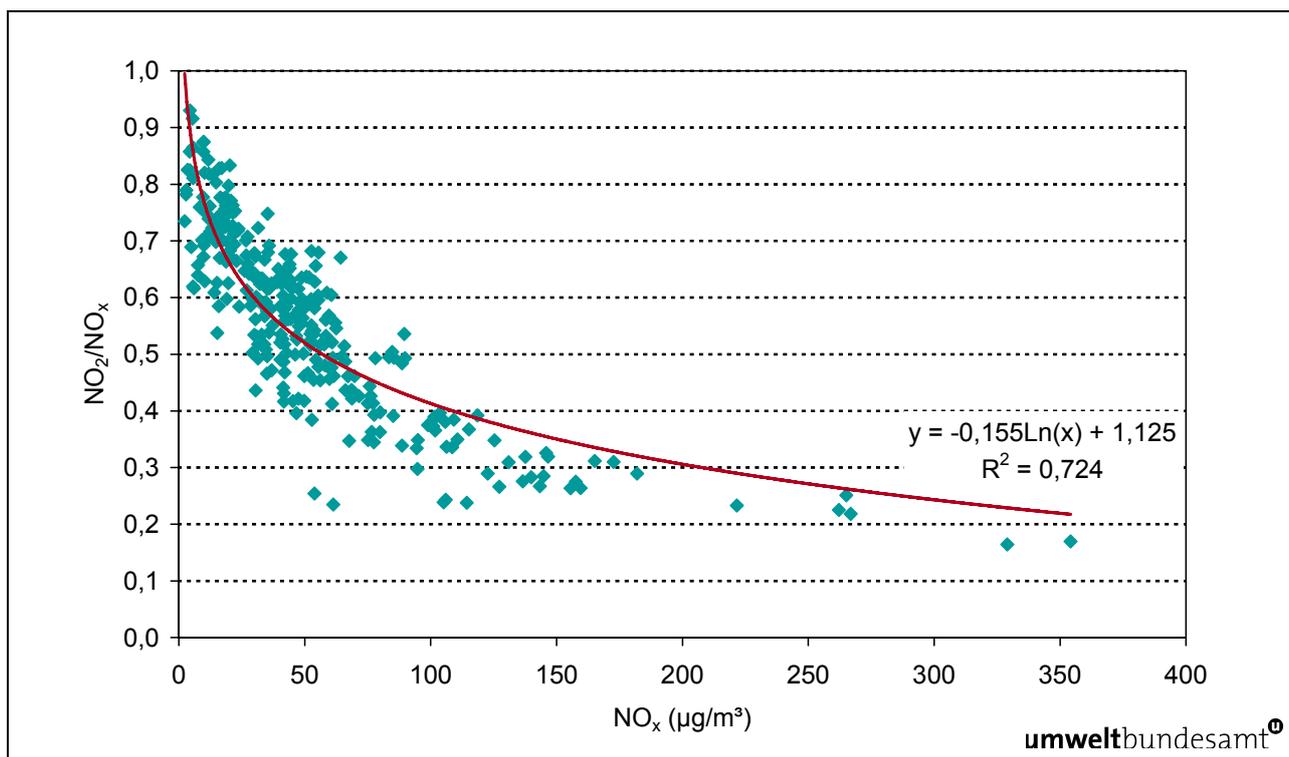


Abbildung 14: Abhängigkeit des NO₂/NO_x-Verhältnisses der Jahresmittelwerte aller österreichischer Messstellen von der NO_x-Konzentration, 1998–2000.

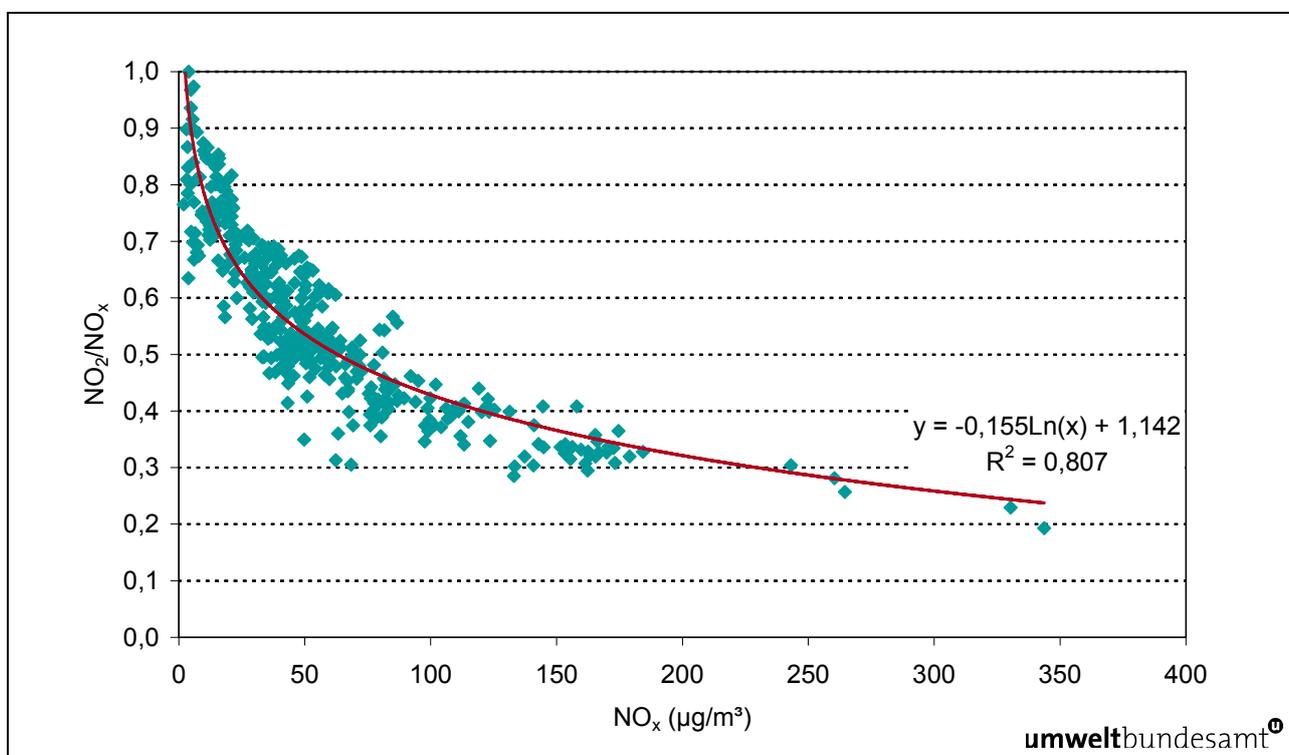


Abbildung 15: Abhängigkeit des NO₂/NO_x-Verhältnisses der Jahresmittelwerte aller österreichischer Messstellen von der NO_x-Konzentration, 2004–2006.

Die Messstellen mit den höchsten NO_x-Konzentrationen sind jeweils Wien Hietzinger Kai und Vomp A12. Die Ausreißer im linken unteren Bereich stellen die Werte der industrienahen Messstelle Wietersdorf dar.

Die Regressionskurven unterscheiden sich in den beiden Zeiträumen durch den Offset (siehe Gleichung in der jeweiligen Abbildung), der von 1,12 im Zeitraum 1998–2000 auf 1,14, d. h. um 2 %, zunimmt.

Um die Unterschiede der Abhängigkeit des NO₂/NO_x-Verhältnisses der Jahresmittelwerte aller österreichischer Messstellen von der NO_x-Konzentration deutlicher darzustellen, wird das NO₂/NO_x-Verhältnis in Tabelle 5 angegeben. Gemittelt wurde für Klassen der NO_x-Konzentration bis 50 µg/m³, 50–100 µg/m³, 100–150 µg/m³, 150–200 µg/m³ und über 200 µg/m³.

Tabelle 5: NO₂/NO_x-Verhältnisse der Jahresmittelwerte aller österreichischer Messstellen in Abhängigkeit von der NO_x-Konzentration, Vergleich 1998–2000 und 2004–2006.

NO _x	1998–2000	2004–2006
bis 50 µg/m ³	0,65	0,67
> 50–100 µg/m ³	0,49	0,48
> 100–150 µg/m ³	0,33	0,38
> 150–200 µg/m ³	0,29	0,33
> 200 µg/m ³	0,21	0,25

**NO₂/NO_x-Verhältnis
nimmt an belasteten
Messstellen zu**

Außer in der NO_x-Klasse zwischen 50 und 100 µg/m³ nahm das NO₂/NO_x-Verhältnis für alle Klassen zu, bei NO_x-Jahresmittelwerten über 100 µg/m³ stärker als bei niedrigen NO_x-Werten. Im NO_x-Wertebereich zwischen 100 und 150 µg/m³ betrug die Zunahme 5 %, bei höheren NO_x-Werten 4 %.

Dieser Befund ist ein weiteres Indiz für eine Zunahme des NO₂/NO_x-Verhältnisses vor allem an den höher belasteten Messstellen.

Tabelle 6 gibt das NO₂/NO_x-Verhältnis der Tagesmittelwerte an der Messstelle Wien Hietzinger Kai in Abhängigkeit von der NO_x-Konzentration im Vergleich der Perioden 1998–2000 und 2004–2006 an.

Das NO₂/NO_x-Verhältnis nimmt für alle NO_x-Konzentrationsklassen um 3–6 % zu.

Tabelle 6: NO₂/NO_x-Verhältnis der Tagesmittelwerte an der Messstelle Wien Hietzinger Kai in Abhängigkeit von der NO_x-Konzentration, Vergleich 1998–2000 und 2004–2006.

NO _x	1998–2000	2004–2006
bis 50 µg/m ³	0,38	0,43
> 50–100 µg/m ³	0,33	0,36
> 100–150 µg/m ³	0,26	0,31
> 150–200 µg/m ³	0,22	0,28
> 200–250 µg/m ³	0,19	0,24
> 250–300 µg/m ³	0,15	0,21
> 300–350 µg/m ³	0,14	0,18
> 250 µg/m ³	0,12	0,16

2.4.3 Relation zwischen NO₂, NO_x und Ozon

Um einen möglichen Einfluss der Ozonkonzentration auf das NO₂/NO_x-Verhältnis zu untersuchen, wird im Folgenden die Relation zwischen NO₂, NO_x und Ozon auf Tagesmittelwert-Basis in Wien analysiert. Die Zunahme des NO₂/NO_x-Verhältnisses könnte auch auf eine Zunahme der Ozonkonzentration und damit eine verstärkte Oxidationskapazität der bodennahen Atmosphäre zurückgehen. Neben dem NO₂/NO_x-Verhältnis wird auch „O_x“ – die Summe von NO₂ und O₃ – untersucht.

Verglichen werden die Wiener Messstellen Laaerberg (wenig verkehrsbeeinflusst), Taborstraße (verkehrsnahe innerstädtisch) und Hietzinger Kai (stark verkehrsbeeinflusst), wobei die Ozonkonzentration anhand der Messungen vom Laaerberg beurteilt wird.

Die Ozonkonzentration lag im Mittel über den Zeitraum 1998–2000 bei 24 ppb, im Mittel über 2004–2006 bei 25 ppb. Die NO₂- und die NO_x-Konzentration veränderten sich an den Messstellen Laaerberg und Taborstraße zwischen den beiden Vergleichszeiträumen kaum (Unterschied maximal 1 ppb). Am Hietzinger Kai ging die NO_x-Konzentration um 4 ppb (3 %) zurück; dagegen nahm die NO₂-Konzentration am Hietzinger Kai um 5 ppb (16 %) zu.

Die Abhängigkeit der NO₂-Konzentration, des NO₂/NO_x-Verhältnisses sowie der O_x-Konzentration von der Ozonkonzentration in den beiden Vergleichszeiträumen 1998–2000 und 2004–2006 wird durch die Klassifizierung anhand der Ozon-Tagesmittelwerte in drei Klassen – 0 bis 20 ppb, 20 bis 40 ppb sowie über 40 ppb – untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 für NO₂, in Tabelle 8 für das NO₂/NO_x-Verhältnis und in Tabelle 9 für O_x zusammengestellt.

**Abhängigkeit
von der
Ozonkonzentration**

Tabelle 7: NO₂-Konzentration in Abhängigkeit von der Ozonkonzentration, Laaerberg, Taborstraße und Hietzinger Kai, Vergleich 1998–2000 und 2004–2006, ppb.

O ₃ Laaerberg	Laaerberg		Taborstraße		Hietzinger Kai	
	1998–2000	2004–2006	1998–2000	2004–2006	1998–2000	2004–2006
bis 20 ppb	19	21	26	26	31	39
> 20–40 ppb	15	16	21	22	32	36
> 40 ppb	12	13	25	24	38	43

Tabelle 8: NO₂/NO_x-Verhältnis in Abhängigkeit von der Ozonkonzentration, Laaerberg, Taborstraße und Hietzinger Kai, Vergleich 1998–2000 und 2004–2006, %.

O ₃ Laaerberg	Laaerberg		Taborstraße		Hietzinger Kai	
	1998–2000	2004–2006	1998–2000	2004–2006	1998–2000	2004–2006
bis 20 ppb	56	58	48	49	21	25
> 20–40 ppb	72	74	66	65	30	34
> 40 ppb	77	80	69	70	35	40



Tabelle 9: O_x-Konzentration in Abhängigkeit der Ozonkonzentration, Laaerberg, Taborstraße und Hietzinger Kai, Vergleich 1998–2000 und 2004–2006, ppb.

O ₃ Laaerberg	Laaerberg		Taborstraße		Hietzinger Kai	
	1998–2000	2004–2006	1998–2000	2004–2006	1998–2000	2004–2006
bis 20 ppb	31	33	38	38	43	51
> 20–40 ppb	45	45	51	51	61	65
> 40 ppb	59	58	72	69	85	88

Sowohl die NO₂- und die O_x-Konzentration als auch das NO₂/NO_x-Verhältnis weisen an den Messstellen Laaerberg und Taborstraße keine deutliche Veränderung zwischen den beiden Vergleichszeiträumen auf.

Zunahme von NO₂ unabhängig von der Ozonkonzentration

Große Veränderungen zeigen sich dagegen am Hietzinger Kai, wo die NO₂- und die O_x-Konzentration für alle drei Ozon-Klassen zunehmen. Der Anstieg der NO₂-Konzentration fällt bei Tagesmittelwerten für Ozon unter 20 ppb mit +8 ppb noch stärker aus als bei Ozon-TMW über 40 ppb (+5 ppb). Auch die O_x-Konzentration nimmt bei niedrigen Ozonwerten stärker zu (+8 ppb) als bei hohen Ozonwerten (+3 ppb). Das NO₂/NO_x-Verhältnis nimmt bei allen drei Ozon-Klassen um jeweils 4–5 % zu.

Die NO₂- und die O_x-Konzentration sowie das NO₂/NO_x-Verhältnis am Hietzinger Kai, nicht aber am Laaerberg und an der Taborstraße, nehmen – bei etwa gleich bleibender Ozonkonzentration in den Vergleichszeiträumen 1998–2000 und 2004–2006 – zu. Diese Tatsache deutet darauf hin, dass die am Hietzinger Kai (und an anderen verkehrsnahen Messstellen) beobachtete Zunahme der NO₂-Konzentration bei etwa konstanter NO_x-Konzentration auf einen Anstieg der NO₂-Emissionen und nicht der oxidativen Kapazität der Atmosphäre zurückzuführen sind. Erhärtet wird dieser Befund durch die Tatsache, dass die NO₂-Konzentration am Hietzinger Kai bei niedrigen Ozonkonzentrationen stärker zunahm als bei hohen Ozonkonzentrationen.

Zunahme von NO₂, unabhängig von der NO_x-Konzentration

Die oben beschriebene Zunahme der NO₂-Konzentration und des NO₂/NO_x-Verhältnisses am Hietzinger Kai könnte auch „nur“ mit einer Verschiebung der Verteilung der NO_x-Konzentrationen zu niedrigeren Werten zusammen hängen. Dies würde – gemäß der in Abbildung 14 dargestellten Beziehung zwischen NO₂/NO_x-Verhältnis und NO_x-Konzentration – bereits eine Zunahme des NO₂/NO_x-Verhältnisses bewirken. Um dieser Frage nachzugehen, werden in Tabelle 10 die Tagesmittelwerte am Hietzinger Kai sowohl nach der NO_x-Konzentration am Hietzinger Kai als auch nach der Ozonkonzentration am Laaerberg für die Zeiträume 1998–2000 und 2004–2006 in jeweils drei Klassen gruppiert. Die Auswertung zeigt, dass der Anstieg des NO₂/NO_x-Verhältnisses für alle NO_x-Klassen und für alle Ozon-Klassen (um 2–7 %) erfolgt; die Zunahme des NO₂/NO_x-Verhältnisses am Hietzinger Kai ist also von der NO_x-Konzentration unabhängig.

Tabelle 10: Abhängigkeit des NO₂/NO_x-Verhältnisses am Hietzinger Kai von der NO_x-Konzentration am Hietzinger Kai und der Ozonkonzentration am Laaerberg, Vergleich 1998–2000 und 2004–2006.

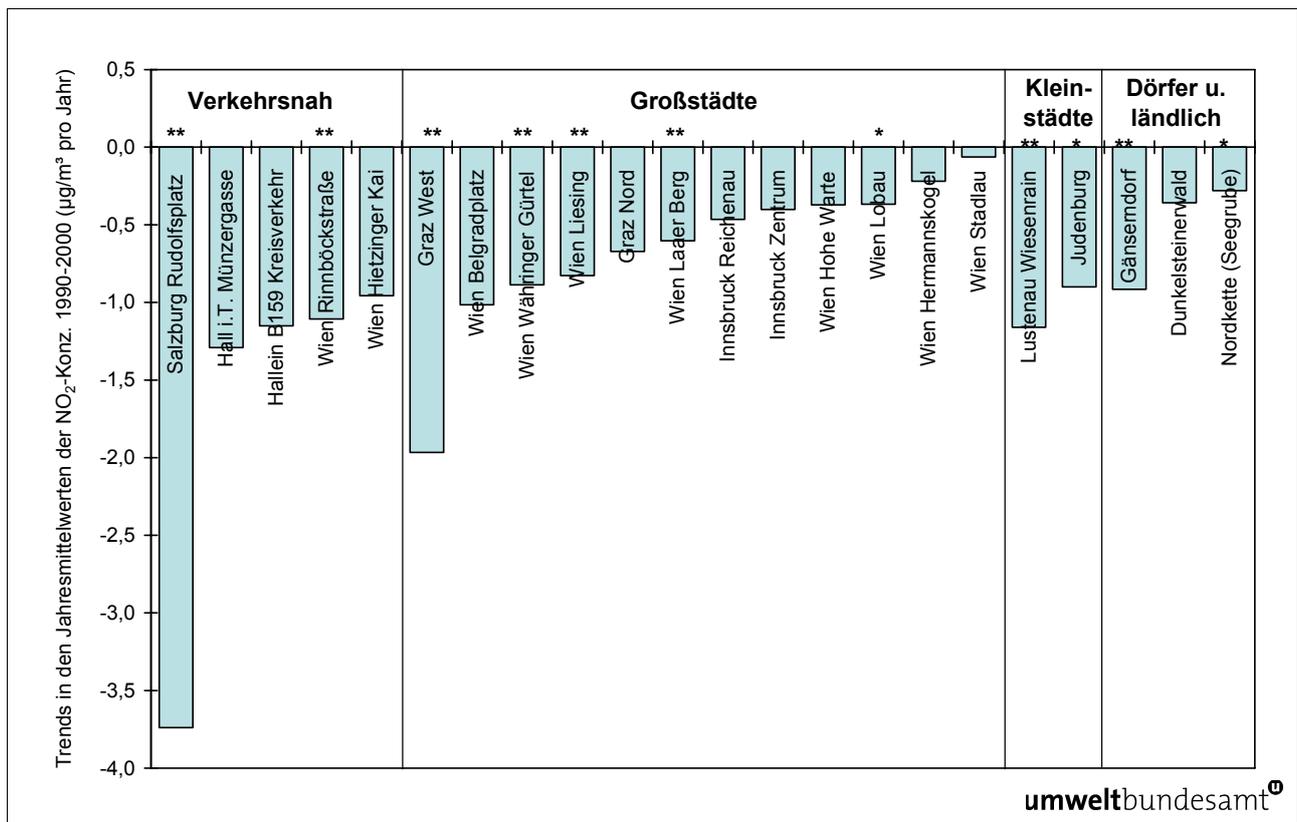
O ₃	1998–2000			2004–2006		
	NO _x bis 100 ppb	NO _x > 100–200 ppb	NO _x > 200 ppb	NO _x bis 100 ppb	NO _x > 100–200 ppb	NO _x > 200 ppb
bis 20 ppb	0,30	0,21	0,15	0,33	0,25	0,20
> 20–40 ppb	0,34	0,27	0,22	0,38	0,31	0,25
> 40 ppb	0,38	0,30	0,28	0,45	0,35	0,30

2.5 Hypothese 3: Trends 1990–2000

2.5.1 NO₂, NO_x und Ozon

Die Jahresmittelwerte der Konzentrationen im Zeitraum 1990–2000 wurden mit Hilfe des Mann-Kendall-Tests auf Trends überprüft, das Ausmaß der Trends wurde mit Hilfe der Parameterschätzung nach Sen bestimmt. Abbildung 16 zeigt beispielhaft die Trends in den NO₂-Konzentrationen. Über den gesamten Zeitraum wurden insgesamt 22 Messstellen kontinuierlich betrieben.

Trends in den NO₂-Konzentrationen



* signifikanter Trend (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$)

** hoch signifikanter Trend (Signifikanzniveau $\alpha = 0,01$)

Abbildung 16: Trends in den Jahresmittelwerten der NO₂-Konzentrationen an österreichischen Messstellen 1990–2000 (µg/m³ pro Jahr), bestimmt mit der Parameterschätzung nach Sen.

In den Neunzigerjahren nahmen die NO₂-Jahresmittelwerte in ganz Österreich ab, wobei die meisten Messstellen mit entsprechend langen Zeitreihen statistisch signifikante Trends zeigen. Keine signifikanten Trends kennzeichnen allerdings einige verkehrsnahen Messstellen (Hall i. T., Hallein B159 Kreisverkehr, Wien Hietzinger Kai), an denen die insgesamt beobachtete Abnahme durch starke Variationen von Jahr zu Jahr überlagert wird.

Die Trends in den Konzentrationen von NO₂, NO_x, im Verhältnis NO₂ zu NO_x und in der Ozonkonzentration im Zeitraum 1990–2000 sind in Abbildung 17 zusammengefasst. Die Trends für einzelne Stationen sind in Tabelle 23 im Anhang aufgelistet.

Trends bei NO₂, NO_x und Ozon

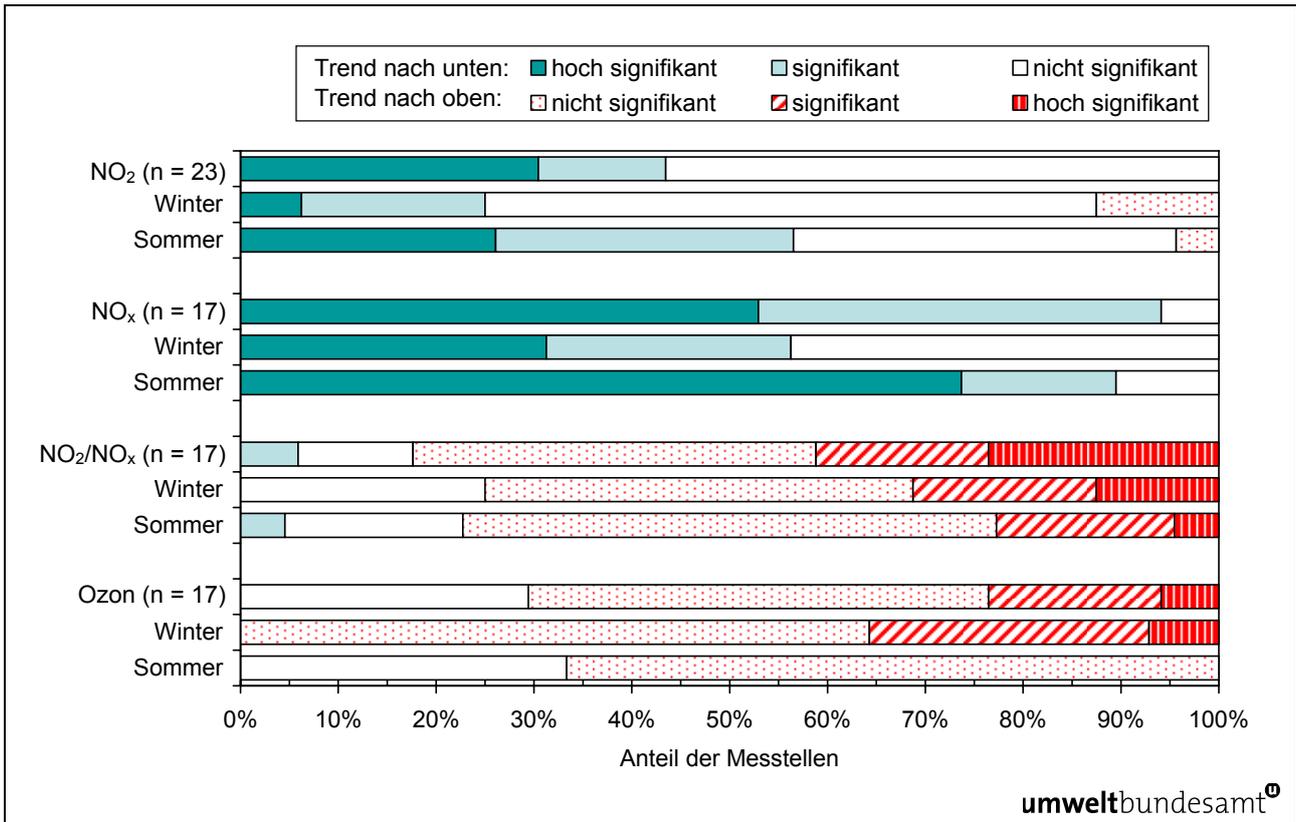


Abbildung 17: Zusammenfassung der Trends in den Jahresmittelwerten, Wintermittelwerten und Sommermittelwerten von NO₂, NO_x, im Verhältnis NO₂ zu NO_x, und der Ozonkonzentration an österreichischen Messstellen 1990–2000.

Noch in stärkerem Maß als bei NO₂ sind bei NO_x signifikante Trends nach unten festzustellen (vergleiche auch UMWELTBUNDESAMT 2006a). Beim Verhältnis von NO₂ zu NO_x überwiegen positive Trends.

Bei der mittleren Ozonkonzentration sind in den meisten Fällen positive Trends zu erkennen, besonders im Winter (UMWELTBUNDESAMT 2007b).

2.5.2 NO₂/NO_x-Verhältnis

Vergleich der Zeiträume 1992–1994 und 1998–2000

Das NO₂/NO_x-Verhältnis betrug, gemittelt über alle Jahre und Messstellen, 1992–1994 54 %, 1998–2000 56 %.

Abbildung 18 stellt – analog zu Abbildung 14 – die Abhängigkeit des NO₂/NO_x-Verhältnisses der Jahresmittelwerte von der NO_x-Konzentration für den Zeitraum 1992–1994 dar. Die logarithmische Regressionslinie hat grundsätzlich eine ähnliche Form wie 1998–2000. Zu berücksichtigen ist, dass mehrere verkehrsnahen Messstellen, die seit 1998 in Betrieb sind, in Abbildung 18 nicht enthalten sind.

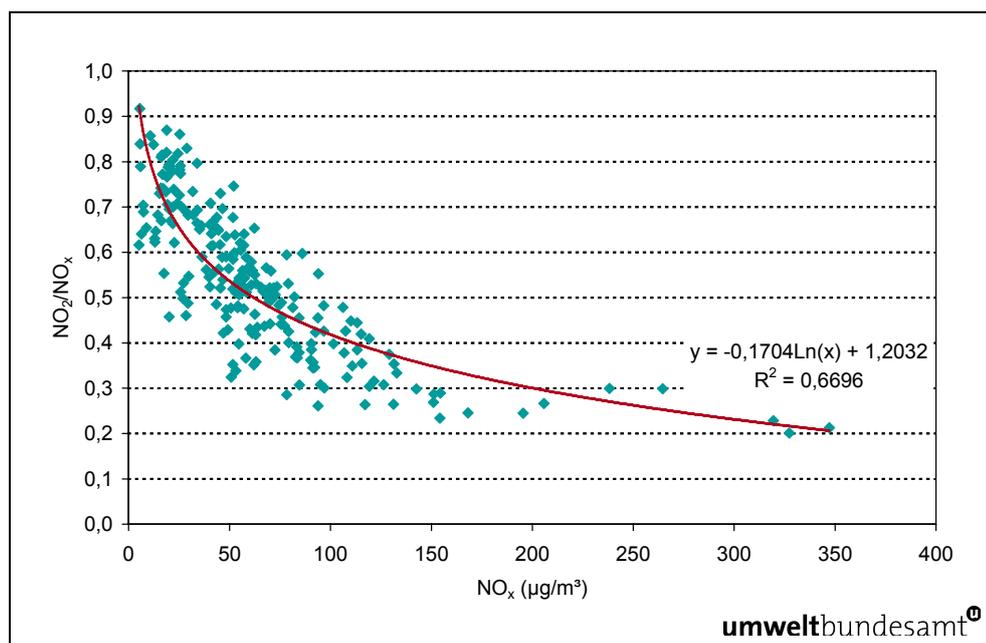


Abbildung 18: Abhängigkeit des NO₂/NO_x-Verhältnisses der Jahresmittelwerte aller österreichischer Messstellen von der NO_x-Konzentration, 1992–1994.

Von Interesse ist die Frage, ob sich das mittlere NO₂/NO_x-Verhältnis im Verlauf der Neunzigerjahre infolge sinkender NO_x-Konzentration und/oder gestiegener mittlerer Ozonkonzentrationen verändert hat.

Tabelle 11 zeigt die Relation zwischen mittlerer NO₂/NO_x-Verhältnisses und NO_x-Konzentration. Sie stellt, analog zu Tabelle 5, das NO₂/NO_x-Verhältnis für Klassen der NO_x-Konzentration von 50 µg/m³ im Vergleich über die Zeiträume 1992–1994 und 1998–2000 dar. In den einzelnen NO_x-Klassen verändert sich das mittlere NO₂/NO_x-Verhältnis zwischen –4 % (für NO_x-Jahresmittelwerte über 200 µg/m³) und +3 % (für NO_x-Jahresmittelwerte zwischen 150 und 200 µg/m³). Das Verhalten der NO₂/NO_x-Verhältnisse ist somit insgesamt uneinheitlich. Daraus lässt sich schließen, dass sich die Abhängigkeit des NO₂/NO_x-Verhältnisses von der NO_x-Konzentration nicht wesentlich verändert hat.

Verhältnis NO₂/NO_x zur NO_x- Konzentration

Tabelle 11: NO₂/NO_x-Verhältnisse der Jahresmittelwerte aller österreichischer Messstellen in Abhängigkeit von der NO_x-Konzentration, Vergleich 1992–1994 und 1998–2000.

NO _x	1992–1994	1998–2000
bis 50 µg/m ³	0,67	0,65
> 50–100 µg/m ³	0,48	0,49
> 100–150 µg/m ³	0,36	0,33
> 150–200 µg/m ³	0,26	0,29
> 200 µg/m ³	0,25	0,21

Die Beziehung zwischen NO₂/NO_x-Verhältnis, NO_x- und Ozonkonzentration wird – analog zur Auswertung in Tabelle 10 – in Tabelle 12 für die Tagesmittelwerte am Hietzinger Kai für die Zeiträume 1992–1994 und 1998–2000 untersucht. Die Tagesmittelwerte (TMW) werden sowohl nach der NO_x-Konzentration am Hietzinger Kai als



auch nach der Ozonkonzentration am Laaerberg in jeweils drei Klassen gruppiert. Das NO₂/NO_x-Verhältnis nahm am Hietzinger Kai zwischen 1992–1994 und 1998–2000 im Mittel von 25 auf 27 % zu.

In den einzelnen Klassen ist keine systematische Veränderung des NO₂/NO_x-Verhältnisses zu erkennen. Dies deutet insgesamt darauf hin, dass sich das emissionsseitige NO₂/NO_x-Verhältnis in diesem Zeitraum nicht verändert hat.

Die Zunahme des mittleren NO₂/NO_x-Verhältnisses am Hietzinger Kai um 2 % zwischen den Vergleichszeiträumen 1992–1994 und 1998–2000 könnte damit mit der Zunahme der mittleren Ozonkonzentration am Laaerberg von 22 auf 24 ppb erklärt werden.

Tabelle 12: Abhängigkeit des NO₂/NO_x-Verhältnisses am Hietzinger Kai von der NO_x-Konzentration am Hietzinger Kai und der Ozonkonzentration am Laaerberg, Vergleich 1992–1994 und 1998–2000.

O ₃	1992–1994			1998–2000		
	NO _x bis 100 ppb	NO _x > 100– 200 ppb	NO _x > 200 ppb	NO _x bis 100 ppb	NO _x > 100– 200 ppb	NO _x > 200 ppb
bis 20 ppb	0,32	0,21	0,15	0,30	0,21	0,15
> 20–40 ppb	0,36	0,28	0,22	0,34	0,27	0,22
> 40 ppb	0,39	0,33	0,26	0,38	0,30	0,28

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich der im Verlauf der Neunzigerjahre beobachtete Anstieg des immissionsseitigen NO₂/NO_x-Verhältnisses auf das Zusammenwirken gesunkener NO_x-Konzentrationen und gesteigener Ozonkonzentrationen zurückführen lässt. Eine Veränderung des emissionsseitigen NO₂/NO_x-Verhältnisses ist in diesem Zeitraum nicht zu erkennen.



3 EMISSIONSFAKTOREN

3.1 Vorgehen

Die Schadstoffemissionen einzelner Fahrzeuge hängen – neben dem Fahrzeugtyp – entscheidend von der konkreten Fahrsituation ab (z. B. Geschwindigkeit, Belastung des Motors). Deshalb ist es wichtig, Daten für reale Fahrsituationen (z. B. innerorts, außerorts, Autobahn, Berücksichtigung von Kaltstarts etc.) zu verwenden. Die Emissionen bei diesen realeren Fahrsituationen und damit auch die daraus abgeleiteten Emissionsfaktoren unterscheiden sich oft maßgeblich von den im jeweiligen Europäischen Typprüfzyklus bestimmten Emissionen bzw. Emissionsfaktoren.

Die bisher verwendeten Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr in Österreich basieren im Wesentlichen auf dem „Handbook Emission Factors for Road Transport“ (BMLFUW et al. 2004). Es beinhaltet bei schweren Nutzfahrzeugen (SNF) Messungen bis EURO III, bei Otto-PKW ebenfalls bis EURO 3 und bei Diesel-PKW bis EURO 2. Mittlerweile wurden in einem umfassenden EU-Projekt (ARTEMIS) sowie in verschiedenen nationalen und internationalen Arbeiten neue Messdaten geschaffen. Für NO₂-Emissionen der österreichischen Fahrzeugflotte existierte bisher keine Zusammenstellung der Emissionsfaktoren.

Die Emissionsfaktoren für NO_x wurden daher für die Studie auf Basis von aktuellen Messungen und durch Analyse weitere Studien aktualisiert. Zusätzlich wurde das Verhältnis der NO₂- zu den NO_x-Emissionen für alle Fahrzeugklassen bestimmt (HAUSBERGER 2007). Grundsätzlich wurde dabei wie folgt vorgegangen:

**aktualisierte
Emissionsfaktoren
für NO_x und NO₂**

- Die Emissionsfaktoren für NO_x und NO₂ basieren auf aktuellen ARTEMIS-Messungen (BOULTER et al., in Vorbereitung), Messdaten für PKW des Instituts für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU Graz (z. B. HAUSBERGER & KOFLER 2006) sowie „real world“-Fahrzyklen für leichte Nutzfahrzeuge (LNF) und Motorräder. Für SNF waren die entsprechenden Emissionsfaktoren schon seit 2005 verfügbar und im Handbuch für Emissionsfaktoren (BMLFUW et al. 2004) integriert.
- Aus Messdaten der D.A.CH.NL-S-Mitgliedsstaaten (Deutschland, Österreich, Schweiz, Niederlande, Schweden) wurden die Anteile von NO₂ am Gesamt-NO_x der KFZ-Kategorien nach Antrieb und EURO-Klassen getrennt bestimmt. Die Ergebnisse wurden mit verschiedenen Literaturstellen verglichen und gegebenenfalls nachjustiert.
- Aus dem Absolutwert für NO_x und dem Anteil an NO₂ wurde der Absolutwert für NO₂ für alle KFZ-Kategorien nach Antrieb und EURO-Klassen getrennt bestimmt.

Dabei wurden bei PKW, LNF und Motorrädern jeweils die Messungen in „real world“-Zyklen, vorzugsweise dem „Common Artemis Driving Cycle“ (CADC) aus dem Projekt ARTEMIS, als Datenbasis herangezogen. Eine ausführliche Beschreibung des Vorgehens und der Resultate ist in HAUSBERGER (2007) zu finden.

3.2 Emissionsfaktoren für NO_x

NO_x-Emissionen von Diesel-PKW

Für PKW wurden die Messungen im CADC-Zyklus ausgewertet. Für den Außerortsverkehr wurden die Messwerte im CADC-Zyklus direkt herangezogen. Für den Stadt- sowie den Autobahnverkehr wurden die CADC-Werte korrigiert, um sie der Geschwindigkeitsverteilung in Österreich besser anzupassen (Details siehe HAUSBERGER 2007).

Abbildung 19 zeigt den Vergleich der so berechneten Emissionsfaktoren (GLOBEMI 07.1) für Diesel-PKW mit den Werten nach dem Handbuch für Emissionsfaktoren und dem Datensatz aus ARTEMIS. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert aus innerorts, außerorts und Autobahn. Das Absolutniveau liegt bei Verwendung der ARTEMIS-Datensätze deutlich höher als im Handbuch für Emissionsfaktoren.

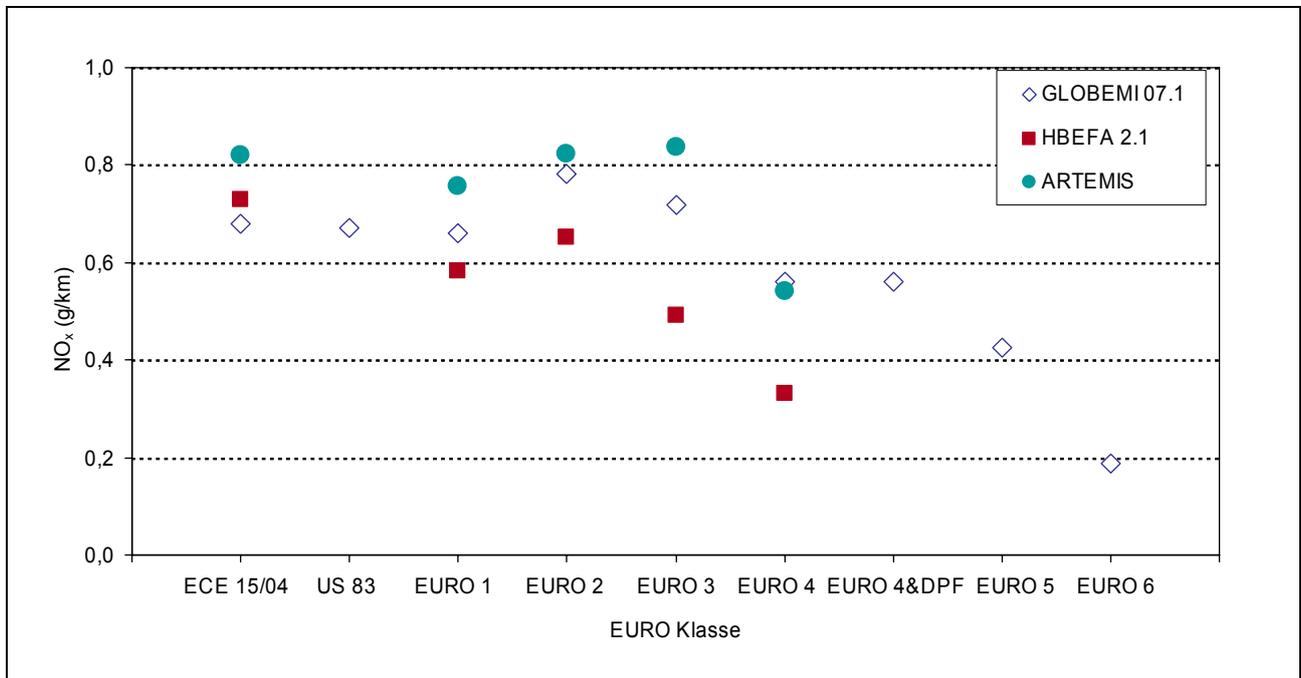


Abbildung 19: Vergleich der durchschnittlichen NO_x-Emissionsfaktoren für Diesel-PKW. Quelle für GLOBEMI 07.1: HAUSBERGER (2007), für HBEFA 2.1: Handbook Emission Factors for Road Transport (BMLFUW et al. 2004), für ARTEMIS: Daten des EU-Projekts ARTEMIS (BOULTER et al., in Vorbereitung).

NO_x-Emissionen von Otto-PKW

Analog zu den Diesel-PKW wurden die Emissionsfaktoren für PKW mit Ottomotoren abgeleitet. Wie schon bei den Diesel-PKW ergibt auch bei den Otto-PKW die neue Datenbasis deutlich unterschiedliche Emissionsfaktoren. Annähernd gleiche Werte ergeben sich ab EURO 3 auf bereits sehr niederem Niveau (Abbildung 20).

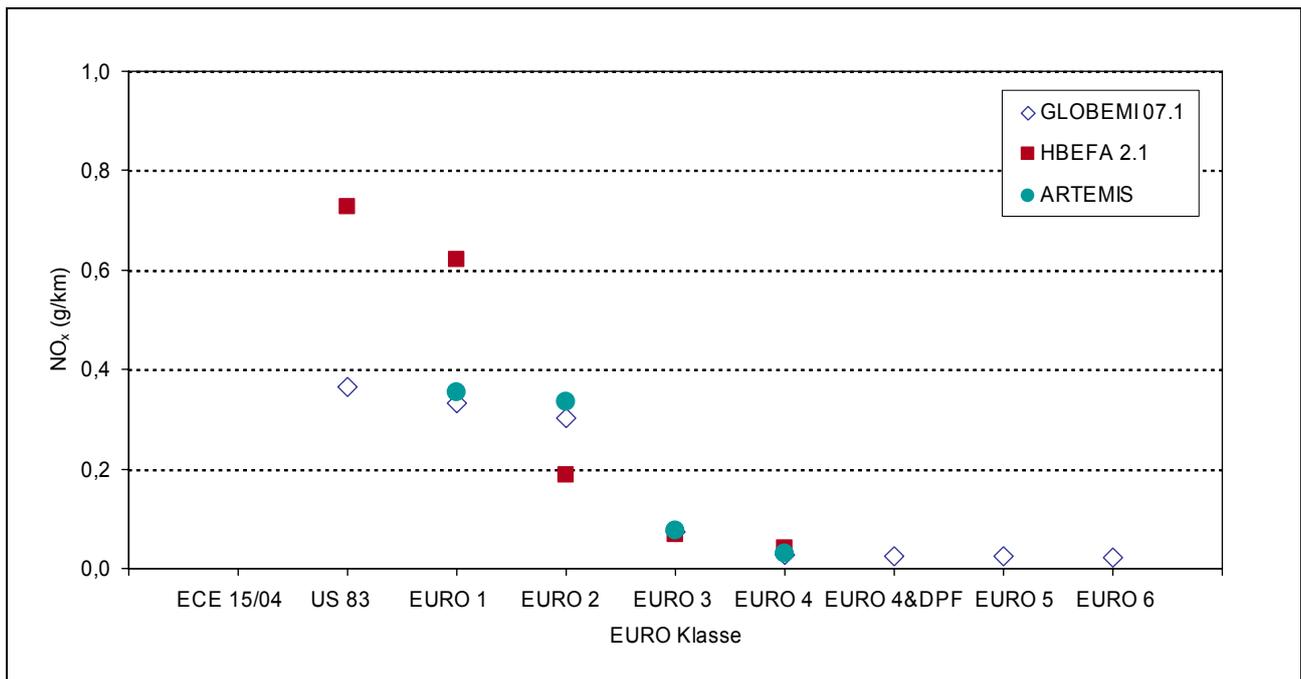


Abbildung 20: Vergleich der durchschnittlichen NO_x-Emissionsfaktoren für Otto-PKW. Quellen: für GLOBEMI 07.1: vorliegende Studie (HAUSBERGER 2007), für HBEFA 2.1: Handbook Emission Factors for Road Transport (BMLFUW et al. 2004), für ARTEMIS: Daten des EU-Projekts ARTEMIS (BOULTER et al., in Vorbereitung). Der Emissionsfaktor für ECE 15/04 beträgt 1,62 g/km (in der Skala der Abbildung nicht dargestellt).

Für leichte Nutzfahrzeuge (LNF) wurde mit den Werten aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren bis EURO 2 gerechnet, für das auch Messdaten als Grundlage dienen. Für EURO 3 und EURO 4 wird unterstellt, dass sich die Emissionsfaktoren im Verhältnis zu den Emissionsgrenzwerten im gleichen Maß geändert haben wie bei PKW. Die daraus abgeleiteten Emissionsfaktoren liegen tabellarisch vor (HAUSBERGER 2007).

NO_x-Emissionen von leichten Nutzfahrzeugen

Für schwere Nutzfahrzeuge (SNF) wurden die Emissionsfaktoren gemäß Handbuch für Emissionsfaktoren bzw. ARTEMIS beibehalten. Diese werden in GLOBEMI in g/kWh vorgegeben, die Emissionen [g/km] werden entsprechend dem Arbeitsbedarf in den Fahrzyklen [kWh/km] berechnet. Der Arbeitsbedarf hängt vom SNF-Typ, dem Leergewicht, der Beladung und dem Fahrzyklus ab. Die mit GLOBEMI berechneten Ergebnisse für ausgewählte SNF-Kategorien stehen für einige ausgewählte Beladungs- und Verkehrszustände zur Verfügung (HAUSBERGER 2007).

NO_x-Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen

Die Emissionsfaktoren für Motorräder wurden in ARTEMIS neu überarbeitet und basieren jetzt auf einem deutlich umfangreicheren Datenstand. Die daraus abgeleiteten Emissionsfaktoren (HAUSBERGER 2007) wurden für die vorliegende Studie verwendet.

NO_x-Emissionen von Zweirädern

3.3 Emissionsfaktoren für NO₂

Wie in Abschnitt 3.1 beschrieben, wurden aus eigenen Messungen und aus der verfügbaren Literatur die Anteile von NO₂ an den NO_x-Emissionen der KFZ ermittelt. Für Diesel-PKW standen zusätzlich zu den Daten aus der Literatur Messwerte an 28 Diesel-PKW mit Zulassung nach EURO 3 und EURO 4 zur Verfügung.

NO₂-Emissionen von Diesel-PKW

Abbildung 21 zeigt die für die Berechnung verwendeten Verhältnisse NO₂/NO_x für verschiedene Technologien und Testzyklen. Zum Beispiel weisen die NO_x-Emissionen von Fahrzeugen der Kategorie EURO 1 einen geringen Anteil an NO₂ auf (Abbildung 21, oben), die gesamten Emissionen von NO_x sind jedoch relativ hoch (Abbildung 21, unten). Die NO_x-Emissionen von Fahrzeugen der Kategorie EURO 4 mit Diesel-Partikelfilter weisen einen hohen Anteil an NO₂ auf (Abbildung 21, oben), die gesamten Emissionen von NO_x sind jedoch geringer (Abbildung 21, unten).

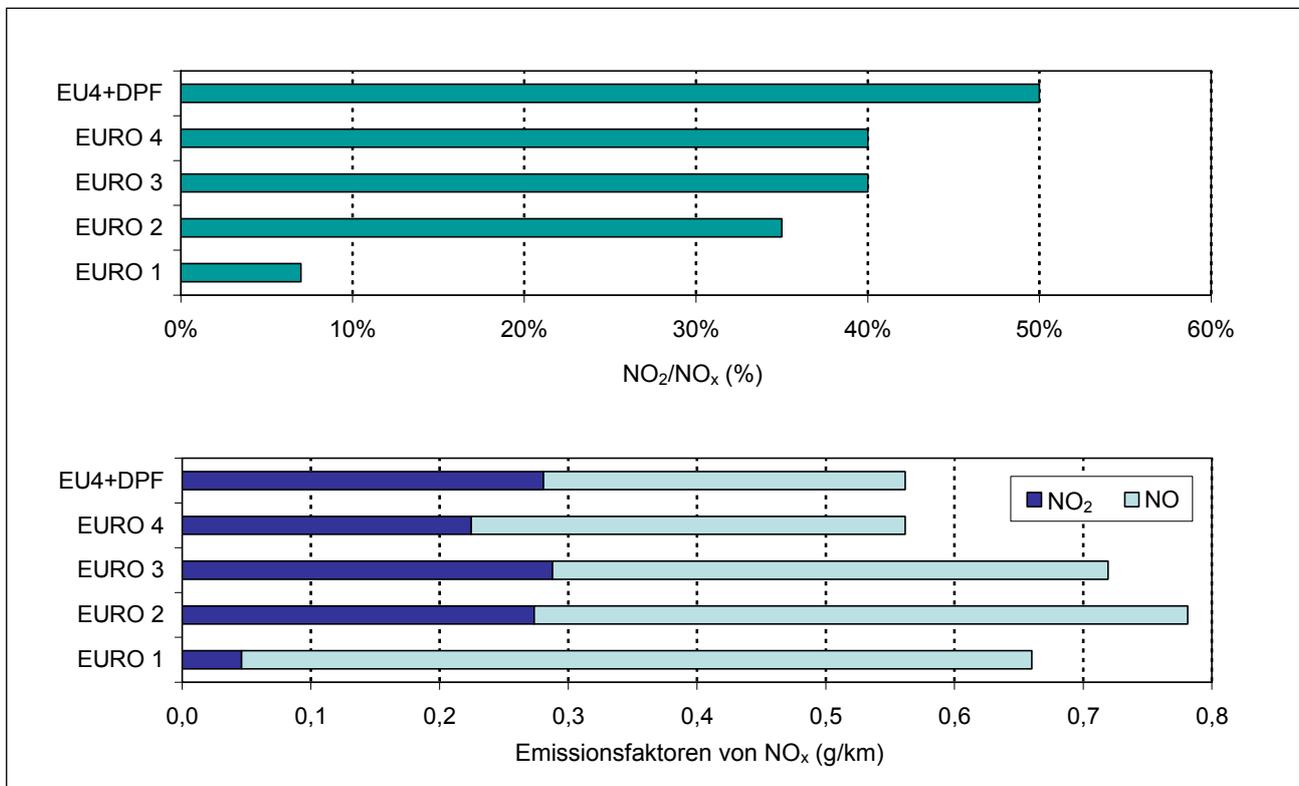


Abbildung 21: **Oben:** Für die Berechnung verwendete Verhältnisse von NO₂ zu NO_x für verschiedene Diesel-PKW-Kategorien (Quelle: HAUSBERGER 2007). **Unten:** Emissionsfaktoren für NO_x für verschiedene Diesel-PKW-Kategorien (vgl. Abbildung 19), aufgeteilt in die Anteile von NO₂ und NO.

Der Mittelwert über die Zyklen wurde zu gleichen Teilen aus den drei CAD-C-Teilen und dem NEDC mit Kaltstart gebildet. Bei den EURO 3 Diesel-PKW mit Diesel-Partikelfilter (DPF) ist zu beachten, dass alle vermessenen PKW ein Konzept des PSA-Konzerns hatten. Bei diesem wird die Filterregeneration mit Kraftstoffadditiv und nicht mit hohen NO₂-Anteilen im Abgas unterstützt. Dementsprechend sind die NO₂-Anteile dort niedriger als bei EURO 4 mit DPF. Bei letzteren regenerierte nur einer der gemessenen PKW mit Kraftstoffadditiv, die übrigen vier mit Oxidationskatalysator vor dem DPF bzw. beschichtetem DPF.

Aus den Messdaten und auch aus dem Vergleich mit Messdaten aus anderen Studien (Details siehe HAUSBERGER 2007) ergibt sich für die Diesel-PKW ab EURO 3 ein relativ eindeutiges Bild mit einem Anteil von etwa 40 % NO₂ am NO_x. Mit katalytisch beschichtetem Partikelfilter steigt der NO₂-Anteil im Mittel auf etwa 60 %. Ein Überblick über die in der Studie verwendeten NO₂/NO_x-Verhältnisse ist in Tabelle 13 zu sehen.

Bei Otto-PKW standen Daten der TU Graz von neun aktuell vermessenen PKW zur Verfügung. Darunter waren auch drei PKW mit Direkteinspritzung und Magerbetrieb. Abbildung 22 zeigt die durchschnittlichen Messergebnisse. Die mager betriebenen Motoren haben etwa 40 %, die konventionellen Otto-Motoren 30 % NO₂-Anteil an NO_x. Die NO₂-Anteile sind somit auf Niveau von Diesel-PKW, was wegen der ebenfalls katalytischen Abgasmachbehandlung nicht verwundert. Der höhere NO₂-Anteil bei Betrieb mit Luftüberschuss entspricht ebenfalls den Erwartungen.

Die NO₂-Absolutemissionen sind aber wegen der viel geringeren NO_x-Absolutemissionen von Otto-PKW gegenüber Diesel-PKW um etwa eine Größenordnung geringer (ab EURO 1). Für Otto-PKW ohne Kat ergeben sich etwa die Werte von Diesel-PKW gleicher Zulassungsjahrgänge.

NO₂-Emissionen von Otto-PKW

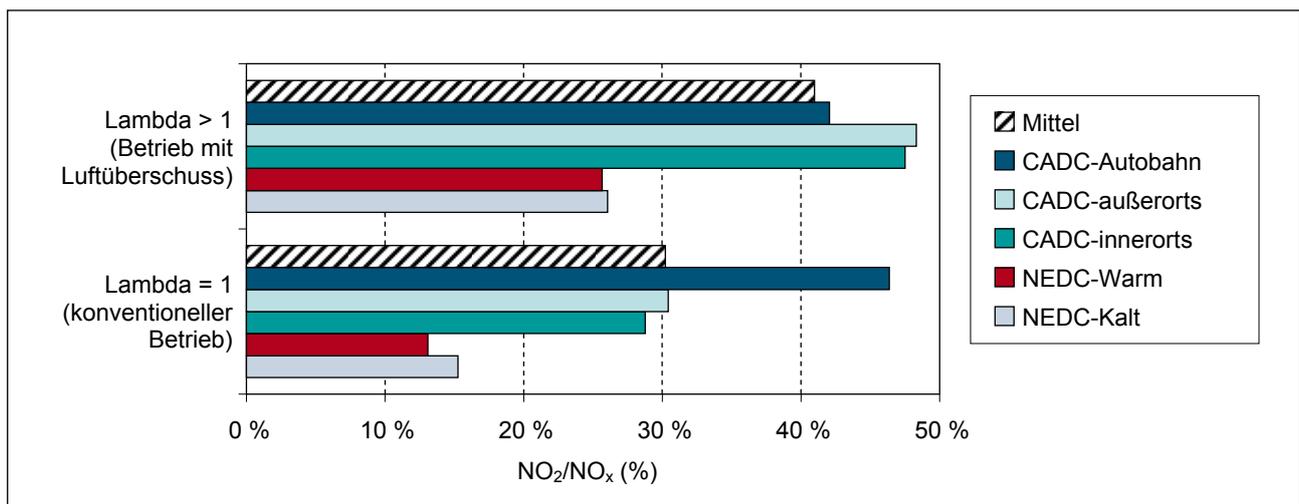


Abbildung 22: Mittleres Verhältnis von NO₂/NO_x der aktuell analysierten Messdaten der TU Graz zu Otto-PKW für fünf verschiedene Fahrzyklen sowie im Mittel der Fahrzyklen. Lambda > 1: Magerbetrieb (Betrieb mit Luftüberschuss). Lambda = 1: konventioneller Betrieb (Quelle: HAUSBERGER 2007).

Die in der Studie verwendeten Anteile von NO₂ an den NO_x-Emissionen von Otto-PKW sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Für LNF stehen keine Messdaten zum Anteil von NO₂ an den NO_x-Emissionen zur Verfügung. Es werden daher die entsprechenden Anteile von PKW übertragen. Von EURO 2 bis EURO 4 kamen bei Diesel-LNF Oxidationskatalysatoren zur Anwendung, für EURO 6 wurde der Einsatz von beschichteten Partikelfiltern angenommen. Bei ottomotorisch betriebenen LNF ist ab EURO 1 ein 3-Wegekatalysator im Einsatz, dies wird auch für die Zukunft unterstellt.

NO₂-Emissionen von leichten Nutzfahrzeugen

NO₂-Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen

Zu schweren Nutzfahrzeugen liegen aktuelle Daten vor: Im Rahmen des Projekts ARTEMIS wurden vom Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU Graz und von der Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik (FVT) mehrere LKW und drei Motoren vermessen. In einem Projekt zur Systematik eines Updates der SNF-Emissionsfaktoren, das kurz vor dem Abschluss steht, wurden im Auftrag von BMLFUW, Umweltbundesamt und BMVIT ein EURO IV-LKW (mit Abgasrückführung – AGR) sowie zwei EURO V LKW (mit Selective Catalytic Reduction – SCR) vermessen.

NO₂-Emissionen von Zweirädern

Zu NO₂-Emissionen von Mofas und Motorrädern waren keine Messdaten verfügbar. Entsprechend der jeweils verwendeten Abgasnachbehandlung wurden die NO₂-Anteile am NO_x aus den PKW-Messwerten geschätzt.

Die Verhältnisse von NO₂ zu NO_x für die verschiedenen Fahrzeugkategorien sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 13: In der Berechnung verwendete Anteile von NO₂ an NO_x für verschiedene Fahrzeugkategorien.

	PKW		LNF		SNF	Mofa	Motorrad
	Diesel	Otto	Diesel	Otto			
vor EURO 1	7 %	7 %/10 % ²⁾	7 %	10 %	7 %	7 %	7 %
EURO 1		25 %	7 %	25 %	7 %	20 %	30 %
EURO 2	35 %	30 %	30 %	30 %	7 %	30 %	50 %
EURO 3	40 %	30 %	35 %	30 %	7 %	50 %	50 %
EURO 4	40 %/50 % ¹⁾	30 %	40 %	30 %	12 %		
EURO 5	60 % ¹⁾	35 %	40 %	30 %	11 %		
EURO 6	60 % ¹⁾		60 %	10 %	15 %		

¹⁾ mit DPF

²⁾ "US 83"-Fahrzeugkategorie

3.4 Berechnung der Emissionsfaktoren der Fahrzeugflotte

Für die Standard-Anwendung in der Emissionsberechnung sind die Emissionswerte je Fahrzeugschicht im Allgemeinen wenig hilfreich, da zumeist unbekannt ist, welche Fahrleistungsanteile die einzelnen KFZ-Schichten lokal haben. Für die Anwendung werden daher durchschnittliche Flottenemissionsfaktoren berechnet, die sich aus den nach Fahrleistungsanteilen gewichteten Emissionsfaktoren der einzelnen KFZ-Schichten zusammensetzen.

Emissionsfaktoren für die Jahre 1990–2030

Diese flottendurchschnittlichen Emissionsfaktoren wurden mit dem Emissionsmodell GLOBEMI (HAUSBERGER 1997) berechnet. Für die österreichische Fahrzeugflotte der Jahre 1990–2030 wurden Emissionsfaktoren bestimmt, aufgeschlüsselt nach PKW, LNF und SNF. Eine genaue Beschreibung des Vorgehens sowie die Emissionsfaktoren in Tabellenform liegen vor (HAUSBERGER 2007).

Abbildung 23 zeigt die berechnete Entwicklung der Emissionsfaktoren der Fahrzeugflotte für den Innerortsverkehr. Die NO_x-Emissionsfaktoren sind von 1995–2004 eher mäßig gesunken (zusammen mit steigender Verkehrsleistung blieben die Absolutemissionen etwa konstant). Ursache sind die NO_x-Emissionswerte von

dieselbetriebenen PKW, SNF und LNF, die von EURO 1 bis EURO 3 im realen Verkehr relativ konstant blieben. Inwieweit EURO 5 und EURO 6 deutlich niedrigere Emissionsniveaus haben (wie hier unterstellt) ist nicht sicher vorhersehbar.

Der durchschnittliche NO_x-Emissionsfaktor für alle Straßenverkehrsmittel wird derzeit innerorts zu etwa 55 % von PKW, zu 35 % von SNF und zu 10 % von LNF bestimmt.

Die NO₂-Emissionsfaktoren im Innerortsverkehr sind seit 1995 steigend und werden die nächsten Jahre auch kaum abnehmen. Bei NO₂ dominiert der PKW mit etwa 80 % Anteil (davon ca. 75 Prozentpunkte von Diesel-PKW). LNF und SNF teilen sich die verbleibenden Anteile am NO₂. Der Einfluss der Diesel-PKW auf die NO₂-Emissionen wird in den nächsten Jahren mit dem steigenden Anteil von beschichteten Partikelfiltern voraussichtlich noch zunehmen.

**NO₂-
Emissionsfaktoren
steigen seit 1995**

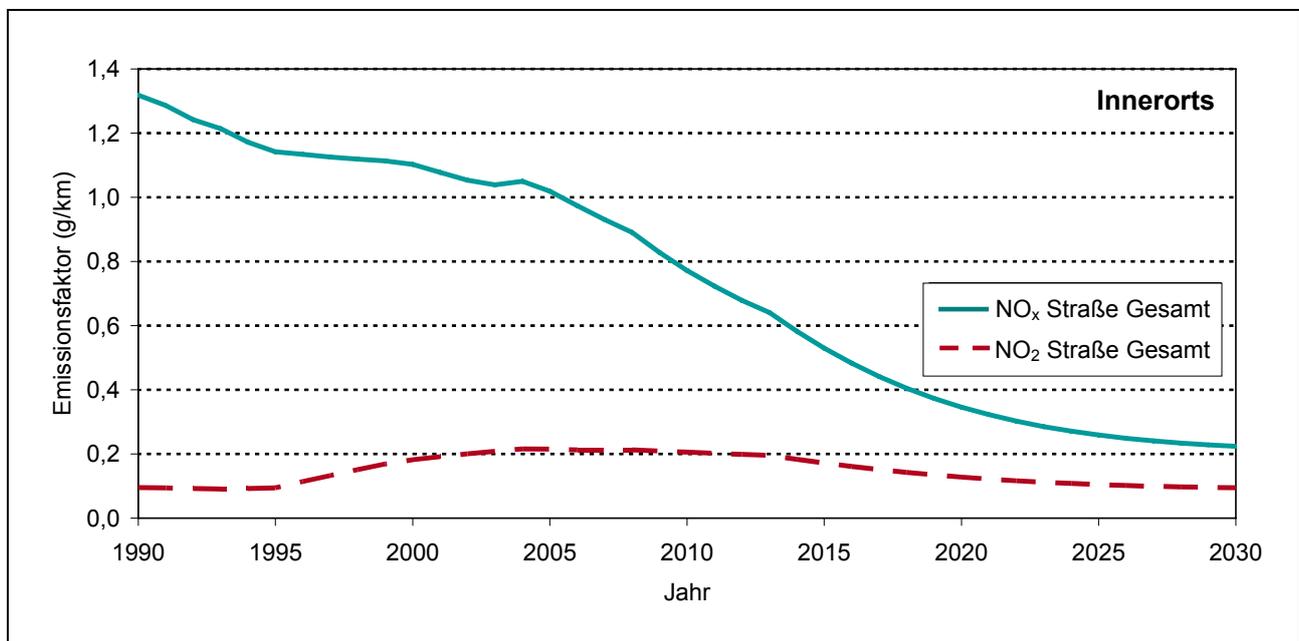


Abbildung 23: Entwicklung der Emissionsfaktoren für NO_x und NO₂ im Innerortsverkehr der Österreichischen Fahrzeugflotte (Quelle: HAUSBERGER 2007).

Deutlich stärker als innerorts sind die NO_x-Emissionsfaktoren im Außerortsverkehr gesunken (Abbildung 24). Auch die NO₂-Emissionsfaktoren nehmen hier nicht so stark zu wie innerorts. Ursache ist, dass sich die PKW im CAD-C-Außerortzyklus relativ ähnlich verhalten wie im Typprüfzyklus (NEDC) und so die Emissionsniveaus von EURO 1 bis EURO 4 sinkende Tendenz zeigen. Der Anteil von PKW am Außerort-NO_x-Emissionsfaktor beträgt derzeit etwa 45 %, der von SNF ebenfalls 45 %, LNF haben etwa 10 % Anteil. Auch hier ist mit einem steigenden Einfluss der Diesel-PKW in den nächsten Jahren zu rechnen.

**NO_x-
Emissionsfaktoren
außerorts stark
gesunken**

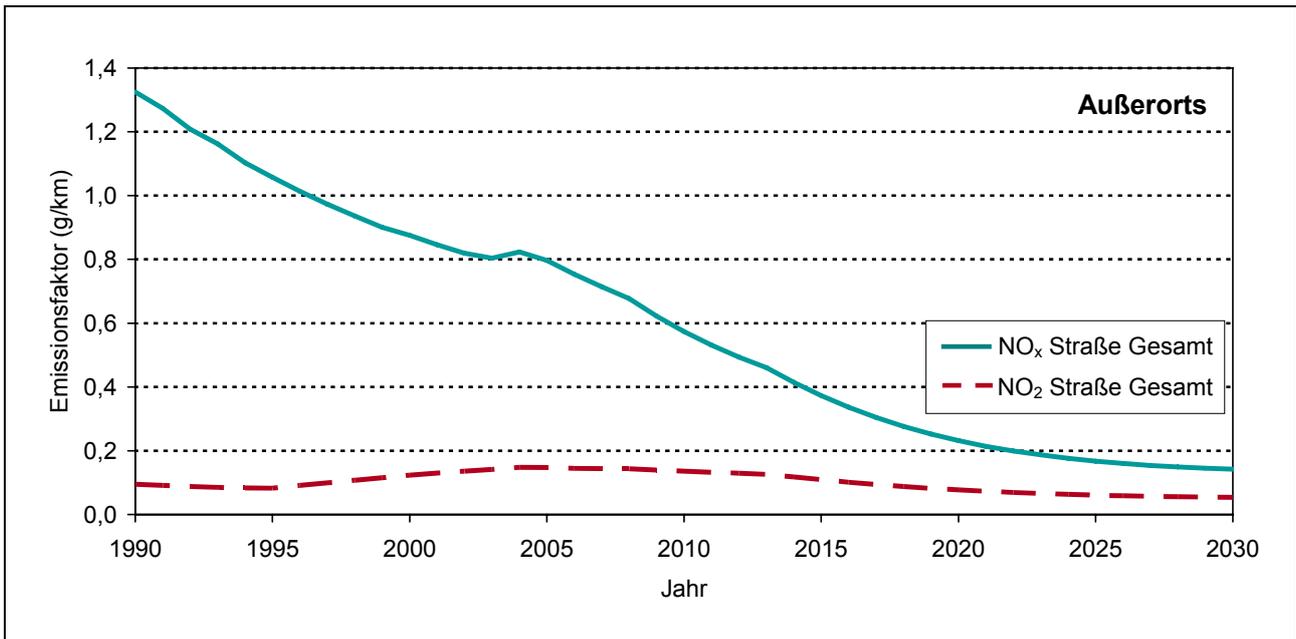


Abbildung 24: Entwicklung der Emissionsfaktoren für NO_x und NO₂ im Außerortsverkehr der Österreichischen Fahrzeugflotte (Quelle: HAUSBERGER 2007).

**Emissionsniveaus
der SNF
sinken stärker**

Im Autobahnverkehr (Abbildung 25) haben die SNF höhere Fahrleistungsanteile als innerorts und außerorts. Dementsprechend bestimmen derzeit die SNF zu etwa 55 %, die PKW „nur“ zu 40 % den Autobahn-Emissionsfaktor für NO_x. Bis 2020 sinken die Emissionsniveaus der SNF aber deutlich stärker als die der PKW und LNF (vorausgesetzt die SCR-Katalysatoren arbeiten weitgehend fehlerfrei). Bei den NO₂-Emissionen auf der Autobahn ist schon heute der PKW mit knapp 70 % dominant (60 Prozentpunkte vom Diesel-PKW). Bis 2015 könnten die PKW schon fast 80 % der NO₂-Emissionen auf Autobahnen verursachen.

**NO₂-Emissionsfaktor
erreicht 2008 das
Maximum**

Gemäß der vorliegenden Berechnung würde der NO₂-Emissionsfaktor der Flotte 2008 das Maximum erreichen und bis 2020 um etwa 20 % sinken. Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist, dass die NO_x-Emissionsniveaus der EURO 5- und EURO 6-PKW im realen Verkehr in ähnlichem Umfang abnehmen wie im Typprüfzyklus.

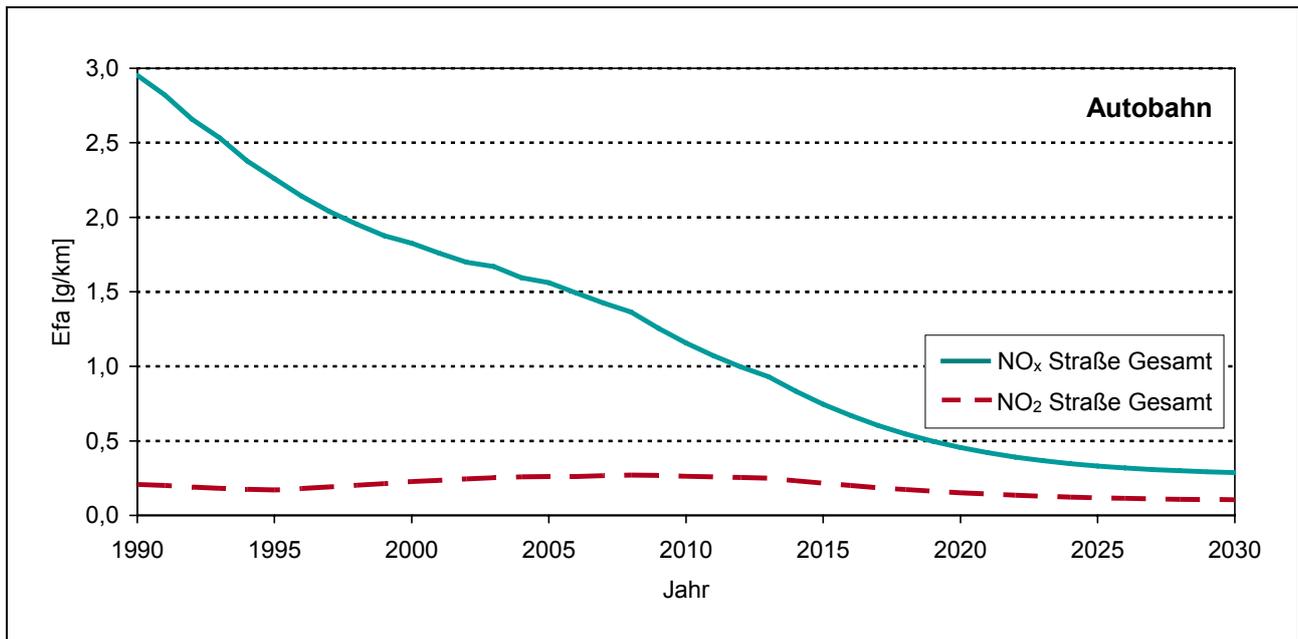


Abbildung 25: Entwicklung der Emissionsfaktoren für NO_x und NO₂ im Autobahnverkehr der Österreichischen Fahrzeugflotte (Quelle: HAUSBERGER 2007).



4 EMISSIONSBERECHNUNGEN

Für die zeitliche Entwicklung der NO_x- und NO₂-Emissionen aus dem Straßenverkehr wurden einzelne Straßenquerschnitte (Verkehrszählstellen) im Nahbereich von Luftgütemessstellen ausgewählt. Es wurden für die Situation in Österreich typische Straßenabschnitte ausgewählt, an denen es in den letzten Jahren zu Grenzwertüberschreitungen gekommen ist.

Verkehrszähldaten nach Fahrzeugkategorie

Für die Ziele der Studie war eine möglichst lange Zeitreihe für die Zähldaten sowie eine möglichst detaillierte Aufteilung der Verkehrsstärke auf Kraftfahrzeugkategorien wichtig. Wo letztere nicht vorlag, wurde die gesamte KFZ-Menge für die Berechnung herangezogen. Zeitreihen über mehrere Jahre waren von Autobahnmessstellen der Asfinag erhältlich (Daten veröffentlicht unter www.asfinag.at).

Für den Vergleich bzw. für die Prognose wurden die in Tabelle 14 aufgelisteten Verkehrszählstellen verwendet.

Tabelle 14: Verkehrszählstellen (ZSt.), vorhandene Kraftfahrzeugkategorien und zugehörige Immissionsmessstellen.

Straßenabschnitt	ZSt.-Nr.	ZSt.-Name	KFZ	LKW	PAB	SLZ	Immissionsmessst.
A12 bei Vomp	8046	Vomp	x	x	x	x	Vomp A12
A13	8045	Matrei/Brenner	x	x	x	x	Gärberbach
A10 bei Hallein	5066	Ofenauer Tunnel	x	x	x	x	Hallein A10
S6 bei Leoben	6128	Niklasdorf	x	x			Leoben Göss
Westeinfahrt Wien	1001	Wien Hadikgasse	x	x	x	x	Wien Hietzinger Kai
A23	1076	Wien-Praterbrücke	x	x	x	x	Wien Rinnböckstr.

KFZ..... enthält alle KFZ

LKW..... LKW-ähnliche Kraftfahrzeuge (PKW mit Anhänger, Busse, LKW ohne Anhänger, LKW mit Anhänger, Sattelzüge)

SV..... Schwerverkehr (LKW ohne PKW mit Anhänger)

PAB..... PKW mit Anhänger, Busse

SLZ..... LKW mit Anhänger, Sattelzüge

Einige Verkehrszählstellen, z. B. jene an der A13 und A23, sind von den Immissionsmessstellen, die für den Vergleich herangezogen wurden, weiter entfernt. Der Vergleich ist trotzdem aufschlussreich, da sich an den genannten Autobahnabschnitten die Verkehrszahlen zwischen den Verkehrs- und den Immissionsmessstellen nicht stark unterscheiden. Es kann auch angenommen werden, dass sich die für die vorliegende Studie wichtige Verkehrsentwicklung zwischen den Standorten nur wenig unterscheidet.

NO_x- und NO₂-Emissionen

Aus den Zähldaten wurden für alle Fahrzeugkategorien mittels der neu bestimmten Emissionsfaktoren (Kapitel 3; HAUSBERGER 2007) die Emissionen von NO_x und NO₂ in Gramm je Kilometer und Tag ermittelt. Die Emissionsfaktoren bzw. Verkehrsstärken wurden dem Betrachtungsjahr entsprechend ausgewählt.

Mit Ausnahme der Zählstelle 6128 (Niklasdorf) konnte mit detaillierten Zähldaten pro Fahrzeugkategorie gerechnet werden. An den beiden genannten Zählstellen wurde der KFZ-Durchschnittsemissionsfaktor zur Berechnung herangezogen.



Für die Westeinfahrt Wien wurden die Emissionsfaktoren für Innerortsverkehr verwendet, für die A23 (Stadtautobahn mit oft zähflüssigem Verkehr) wurden die Emissionsfaktoren für Autobahn und innerorts zu je 50 % gewichtet verwendet. Für die restlichen Zählstellen, die an Autobahnen bzw. Schnellstraßen gelegen sind, wurden jeweils die Emissionsfaktoren für Autobahnen verwendet.

Für die Situation außerorts lagen keine Verkehrsdaten von entsprechenden Straßenabschnitten in der Nähe von Immissionsmessstellen vor. Die Entwicklung der Immissionen außerorts wird jedoch in Abschnitt 6.3 diskutiert.

Für die ausgewählten Messstellen wurden für jedes Jahr mit vollständigen Verkehrsdaten die entsprechenden Emissionen berechnet. Die Daten zu Verkehrsentwicklung und die berechneten Emissionen sind, zusammen mit der Immissionsentwicklung, im folgenden Kapitel grafisch dargestellt (Abbildung 28 bis Abbildung 33).

5 VERGLEICH EMISSIONEN – IMMISSIONEN

5.1 Gegenüberstellung

In diesem Kapitel werden die berechneten Emissionen von NO_x und NO₂ den an nahe gelegenen Messstellen aufgezeichneten Immissionen gegenübergestellt.

ausgewählte Straßenabschnitte

Abbildung 28 bis Abbildung 33 zeigen die Entwicklung von durchschnittlichem täglichem Verkehr (DTV), NO_x-Emissionen und -Immissionen sowie NO₂-Emissionen und -Immissionen an folgenden Messstellen:

- A12 bei Vomp im Vergleich mit den NO_x-Immissionsdaten der Messstelle Vomp Raststätte,
- A13 im Vergleich mit den NO_x-Immissionsdaten der Messstelle Gärberbach,
- A10 im Vergleich mit den NO_x-Immissionsdaten der Messstelle Hallein A10,
- S6 bei Niklasdorf im Vergleich mit den NO_x-Immissionsdaten der Messstelle Leoben Göss,
- A23 im Vergleich mit den NO_x-Immissionsdaten der Messstelle Wien Rinnböckstraße,
- Hadikgasse/Hietzinger Kai im Vergleich mit den NO_x-Immissionsdaten der Messstelle Wien Hietzinger Kai.

Die genannten Straßenabschnitte wurden gewählt, da von diesen sowohl kontinuierliche Verkehrszählungen als auch Immissionsmessdaten zur Verfügung stehen. Die Lage aller Immissionsmessstellen entspricht den in der Messkonzeptverordnung (Messkonzept-VO) und in der 1. Tochterrichtlinie (1. TRL) vorgegebenen Kriterien. Die Messstellen sind in Abbildung 26 und Abbildung 27 dargestellt.



Abbildung 26: Messstellen Gärberbach A13 (links oben), Vomp A12 (rechts oben), Hallein A10 (unten) (Quelle: Umweltbundesamt, Amt der Salzburger Landesregierung).



Abbildung 27: Messstellen Wien Hietzinger Kai (links oben), Wien Rinnböckstraße (rechts oben), Blick von der Messstelle Leoben Göss auf den Ortsteil Göss (unten) (Quelle: Magistratsabteilung 22 Wien, Amt der Steiermärkischen Landesregierung).

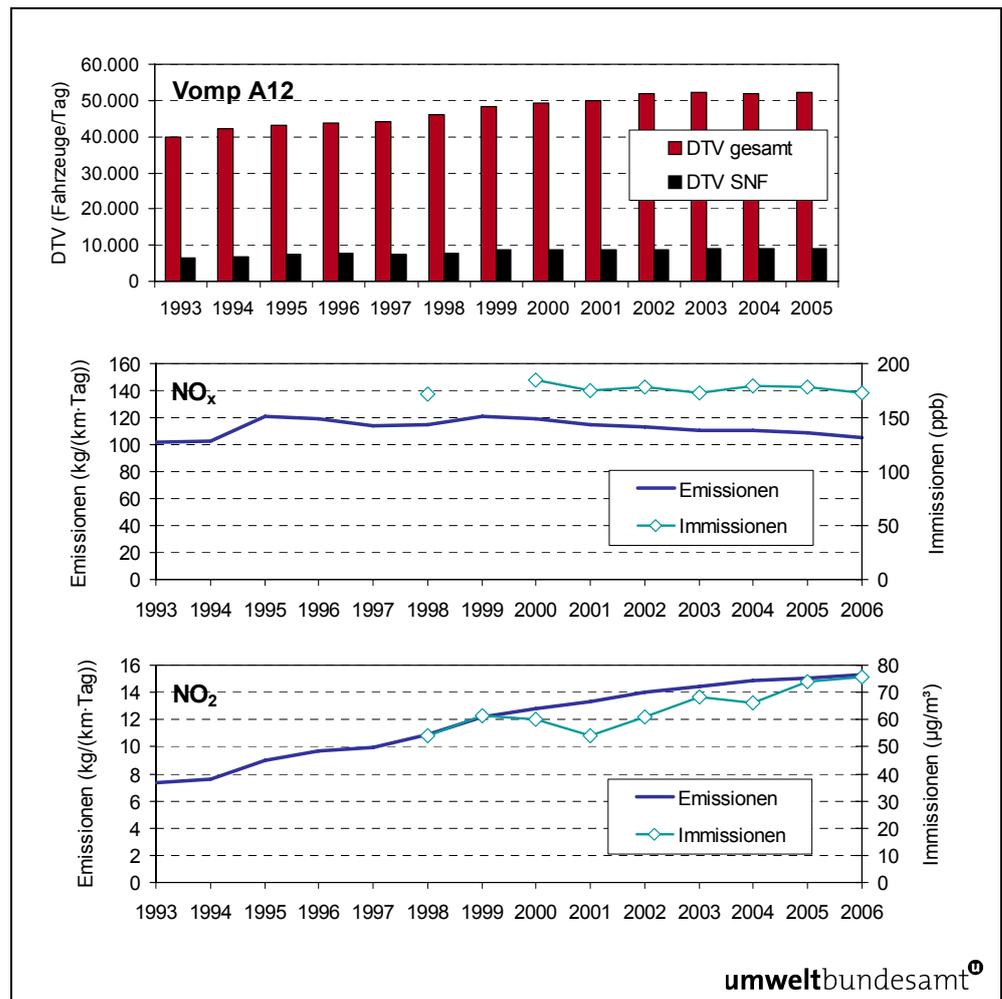


Abbildung 28: Entwicklung des durchschnittlichen täglichen Verkehrs (DTV, oben), NO_x-Emissionen und -Immissionen (Mitte) sowie NO₂-Emissionen und -Immissionen an der A12 bei Vomp (unten).

Die an der A12 gemessenen Immissionen von NO₂ und NO_x folgen im Wesentlichen den Emissionen. Allerdings weisen die Emissionen auf der A12 ein etwas anderes Verhalten auf als die NO₂- und NO_x-Konzentrationen an der Immissionsmessstelle Vomp A12, u. a. war der Anstieg der NO₂-Emissionen in den letzten Jahren geringer als bei den Immissionen. Der Unterschied könnte darin begründet liegen, dass die Immissionskonzentrationen auch von anderen Quellen – Verkehr auf anderen Straßen, Hausbrand und Industrie – bestimmt werden.

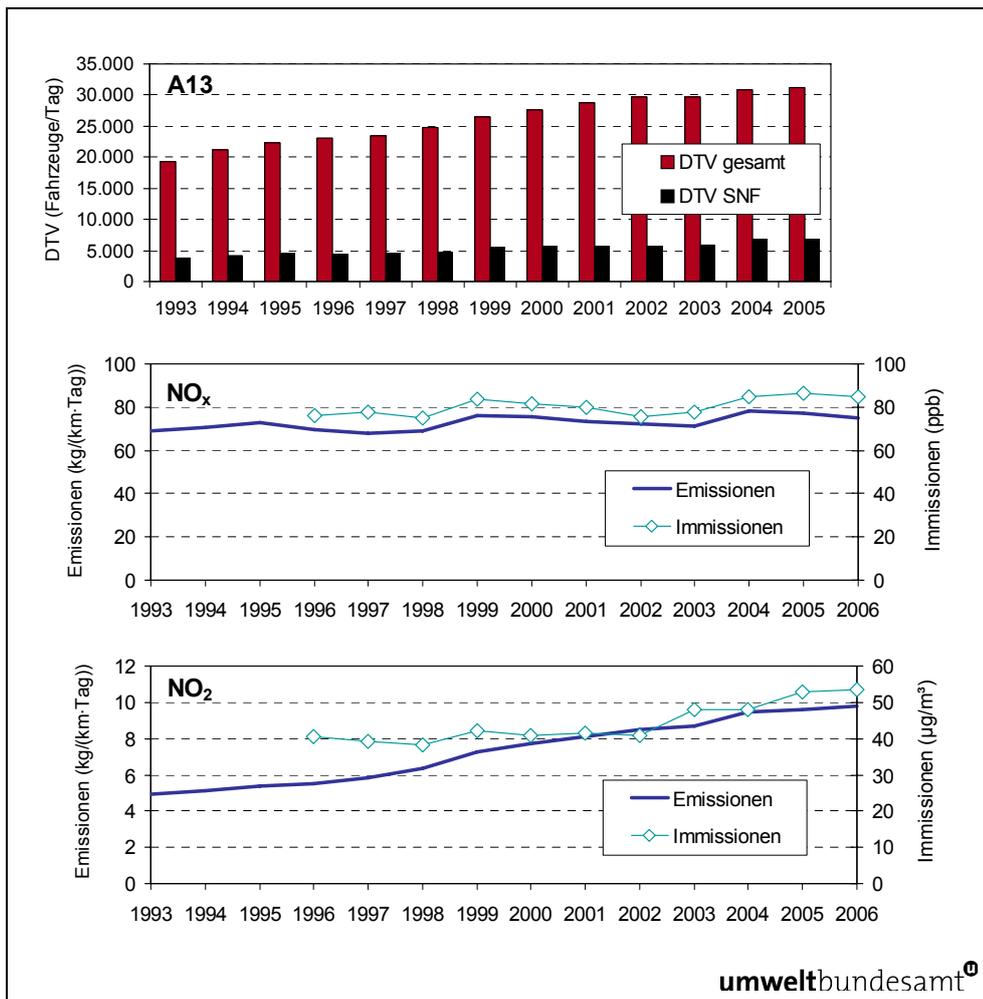


Abbildung 29: Entwicklung von DTV (oben), NO_x-Emissionen und -Immissionen (Mitte) sowie NO₂-Emissionen und -Immissionen an der A13 (Brennerautobahn, unten). Die Verkehrs- und Emissionsdaten beziehen sich auf die Zählstelle Matrei, die Immissionsdaten auf die Messstelle Gärberbach.

In Gärberbach A13 (Abbildung 29) und Hallein A10 (Abbildung 30) zeigen die Emissionen und die Immissionskonzentrationen von NO_x einen sehr ähnlichen Verlauf. Die Immission wird in Gärberbach weitgehend von den Emissionen der A13 (und diese vom LKW-Verkehr) dominiert. Das seit 4.4.2005 auf der A10 bei Hallein geltende Tempolimit² von 100 km/h für PKW und LNF wurde bei der Berechnung der Emissionen nicht berücksichtigt.

Bei der Entwicklung der NO₂-Immissionen in Gärberbach dürfte neben dem emissionsseitigen NO₂/NO_x-Verhältnis auch die Ozonkonzentration eine Rolle spielen, worauf der Anstieg bei NO₂ 2003 hindeutet. Dieses Phänomen ist auch an der A12 (Abbildung 28) zu erkennen.

autobahnahe NO₂-Emissionen folgen den Emissionen

² http://www.salzburg.gv.at/themen/nuw/umwelt/luftreinhaltung/luft_massnahmenplaene/tempo-limit.htm.

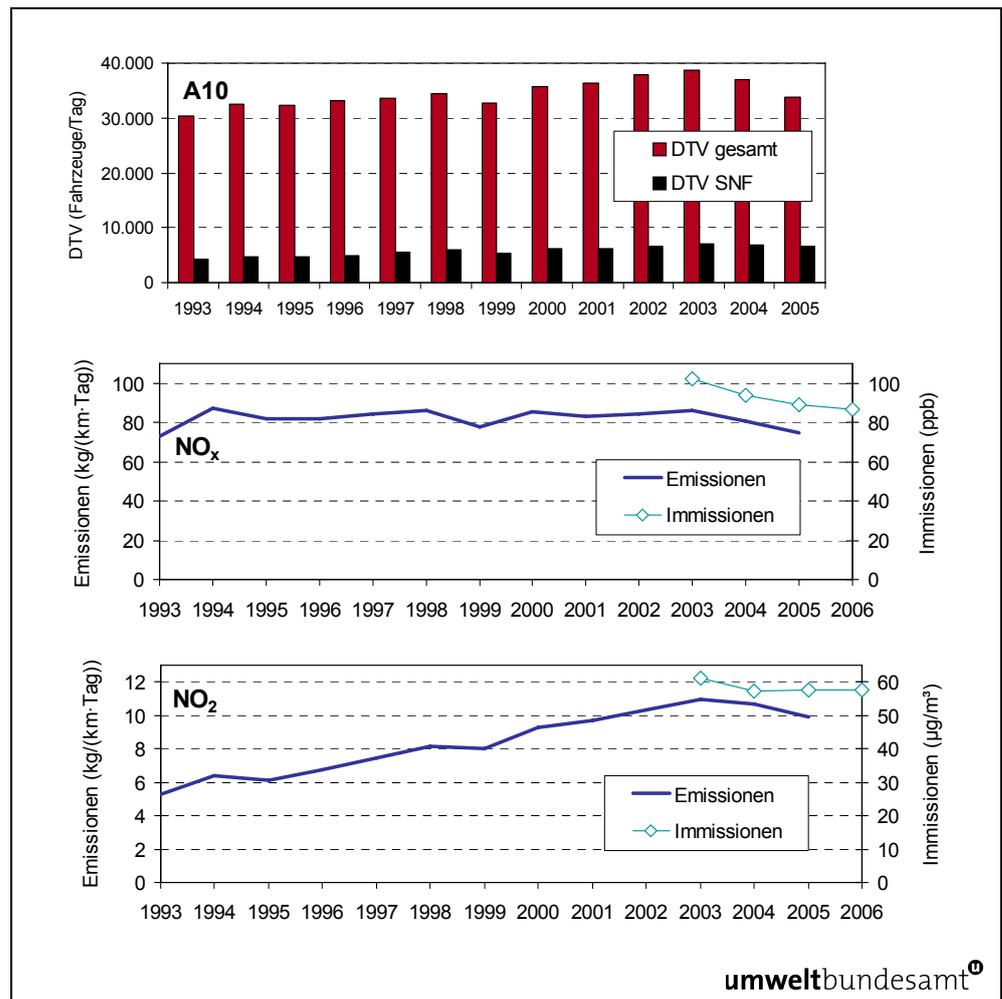


Abbildung 30: Entwicklung von DTV (oben), NO_x-Emissionen und -Immissionen (Mitte) sowie NO₂-Emissionen und -Immissionen an der A10 (Tauernautobahn, unten). Die Verkehrs- und Emissionsdaten beziehen sich auf die Zählstelle Ofenauer Tunnel, die Immissionsdaten auf die Messstelle Hallein A10.

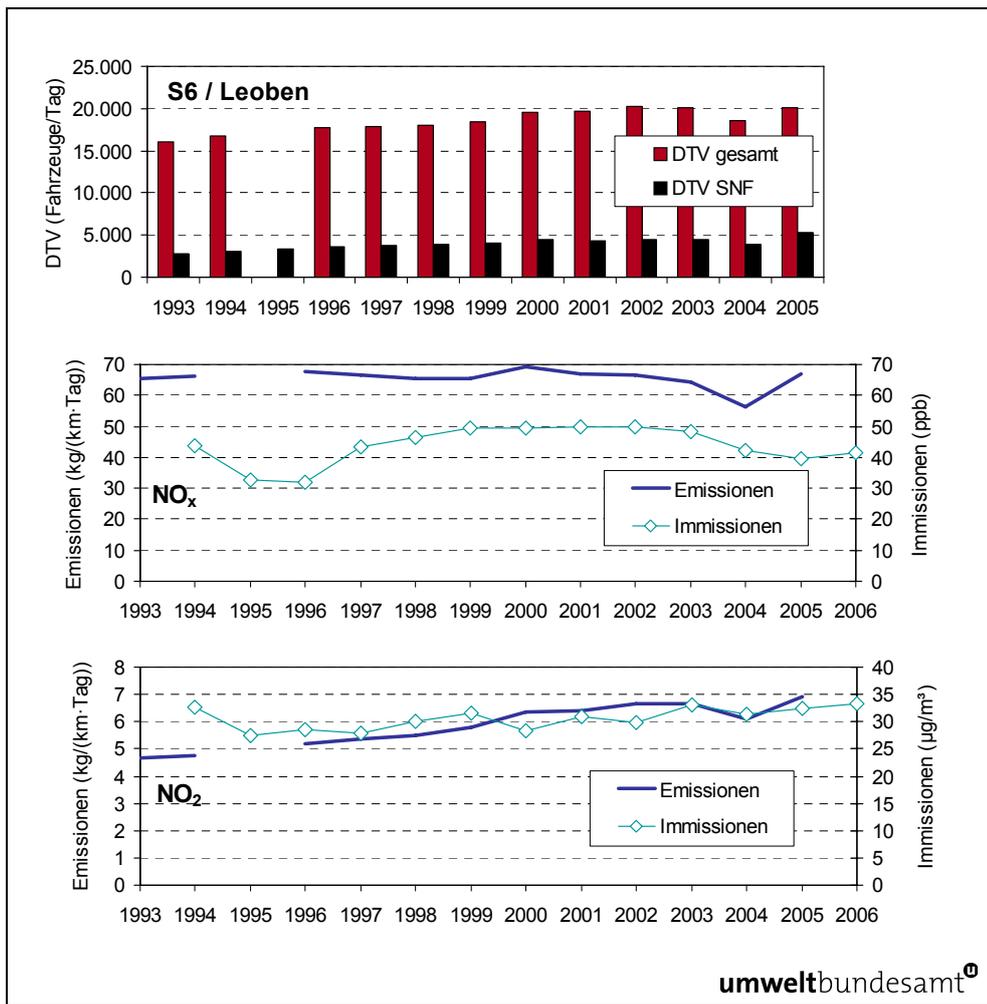


Abbildung 31: Entwicklung von DTV (oben), NO_x-Emissionen und -Immissionen (Mitte) sowie NO₂-Emissionen und -Immissionen an der S6 bei Leoben (unten). Die Verkehrs- und Emissionsdaten beziehen sich auf die Zählstelle Nicklasdorf, die Immissionsdaten auf die Messstelle Leoben Göss (nicht direkt an der S6).

Mit Ausnahme der Jahre 1996 und 2005 weisen die NO_x-Emissionen auf der S6 bei Niklasdorf und die NO_x-Konzentrationen der Messstelle Göss einen deutlich parallelen Verlauf auf. Unterschiede könnten u. U. durch den Einfluss industrieller Emissionen in Leoben (voestalpine in Donawitz, Sägewerk in Göss in der Nähe der Messstelle), aber auch durch die Verkehrsentwicklung auf anderen Straßen bedingt sein.

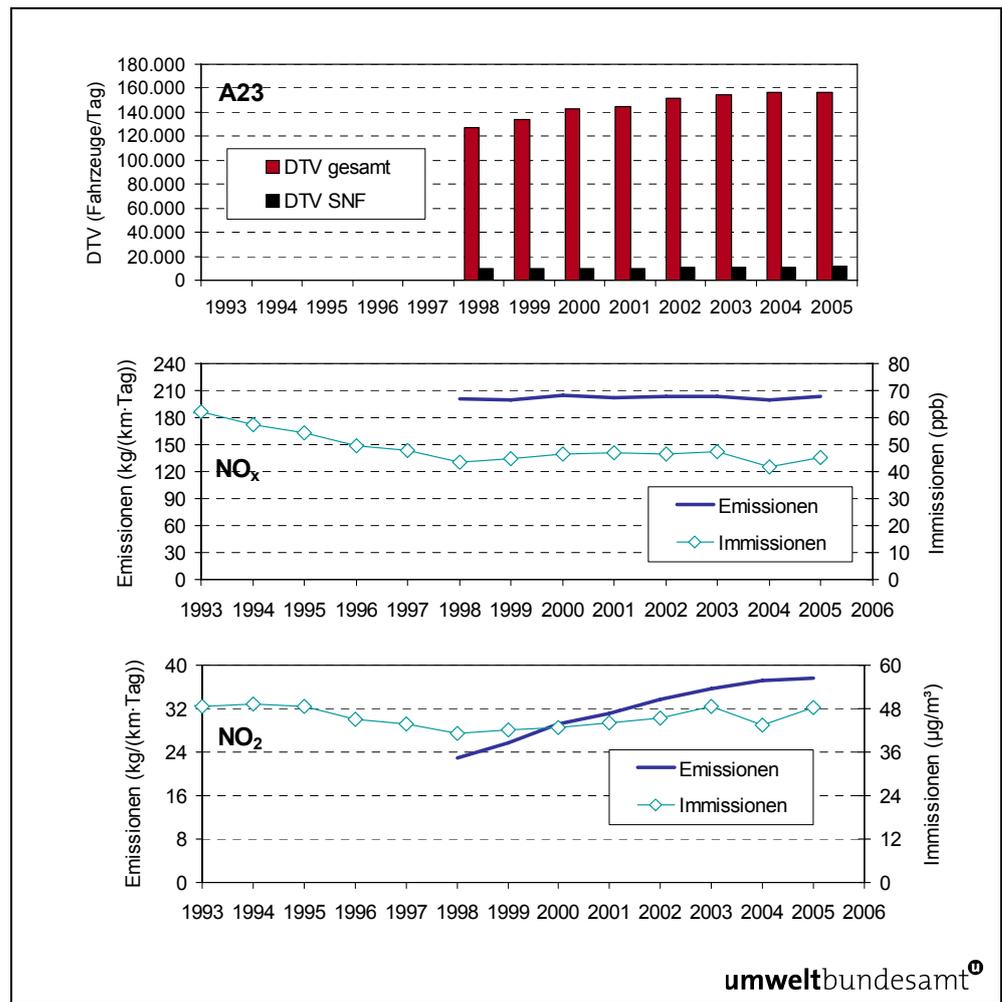


Abbildung 32: Entwicklung von DTV (oben), NO_x-Emissionen und -Immissionen (Mitte) sowie NO₂-Emissionen und -Immissionen an der A23 (Südosttangente Wien, unten). Die Verkehrs- und Emissionsdaten beziehen sich auf die Zählstelle Praterbrücke, die Immissionsdaten auf die Messstelle Rinnböckstraße.

Die Messstelle Wien Rinnböckstraße weist, obwohl sie etwa 150 m von der A23 entfernt liegt, eine sehr ähnliche Entwicklung der NO_x-Immission auf wie die NO_x-Emissionen auf der A23. Deutliche Unterschiede weisen dagegen die Trends von NO₂ auf, wo die Messungen an der Rinnböckstraße die steigenden Emissionen nicht widerspiegeln. Eine mögliche Erklärung dafür wäre, dass aufgrund der größeren Entfernung zwischen A23 und Messstelle das auf der A23 emittierte NO_x bereits weitgehend in NO₂ umgewandelt ist und sich die Veränderung des emissionsseitigen NO₂/NO_x-Verhältnisses in den letzten Jahren an der Rinnböckstraße nur geringfügig auswirkte.

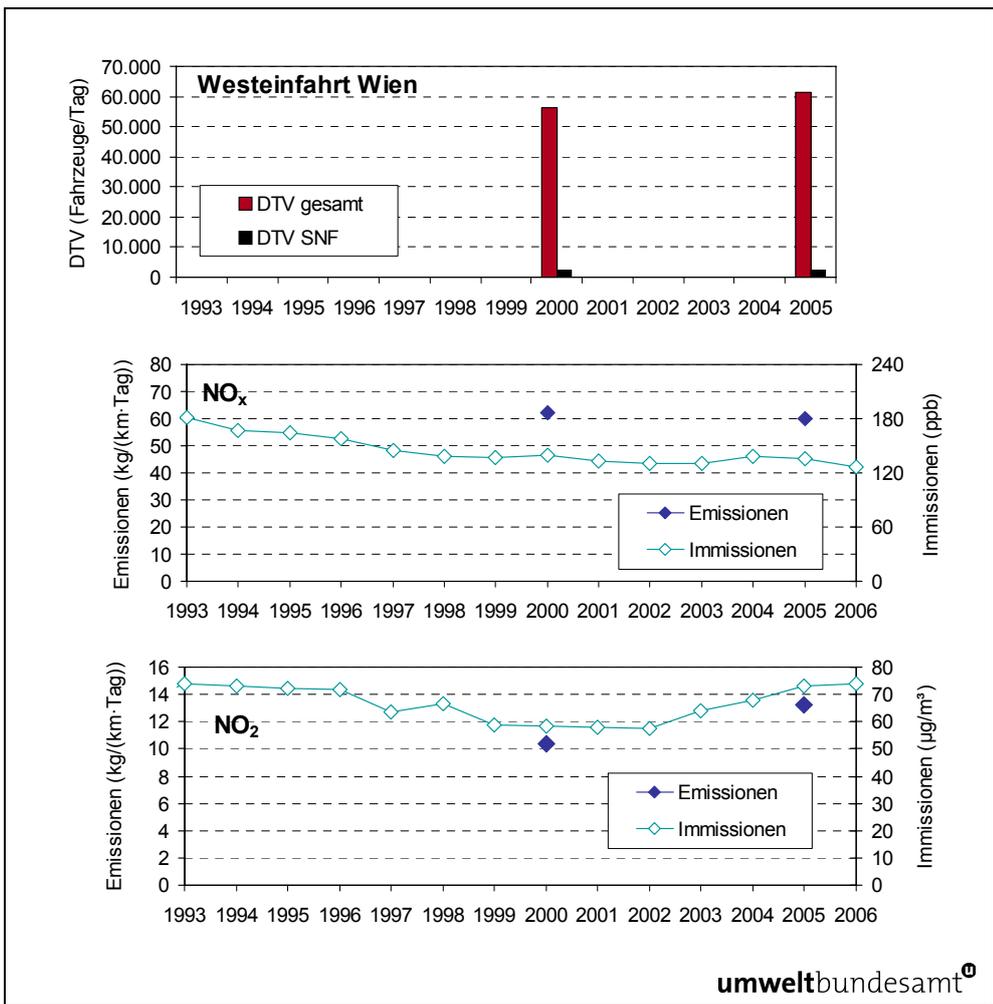


Abbildung 33: Entwicklung von DTV (oben), NO_x-Emissionen und -Immissionen (Mitte) sowie NO₂-Emissionen und -Immissionen an der Westeinfahrt in Wien (unten). Die Verkehrs- und Emissionsdaten beziehen sich auf die Zählstelle Hadikgasse, die Immissionsdaten auf die Messstelle Hietzinger Kai.

Die nur für zwei Jahre verfügbaren Emissionsdaten erlauben keinen Trendvergleich. Die Veränderung der NO_x- wie der NO₂-Emissionen zwischen 2000 und 2005 spiegelt sich aber in den an der Messstelle Hietzinger Kai erfassten Konzentrationen wider.

Die in Abbildung 28 bis Abbildung 33 sichtbaren Trends werden in Tabelle 15 zusammengefasst. Für jene Zeiträume, in denen sowohl Verkehrs- als auch Immissionsdaten vorhanden sind, ist angegeben, ob signifikante positive oder negative Trends von DTV, Emissionen und Immissionen vorliegen.

Trends von DTV, Emissionen und Immissionen

Tabelle 15: Trends im DTV, Emissionen und Immissionen in jenen Zeiträumen, aus denen sowohl Verkehrs- als auch Immissionsdaten vorliegen. An der A12 ist dies der Zeitraum 1998–2005, an der A13, S6 und A23 der Zeitraum 1996–2005.

Straßenabschnitt	Zeitraum	DTV	Emissionen		Immissionen	
			NO _x	NO ₂	NO _x	NO ₂
A12	1998–2005	positiv**	negativ**	positiv**	negativ	positiv*
A13	1996–2005	positiv**	positiv	positiv**	positiv	positiv*
S6 (Leoben)	1996–2005	positiv**	negativ	positiv**	positiv	positiv*
A23	1996–2005	positiv**	positiv	positiv**	positiv	positiv*
A10	Zeitreihen nur für drei Jahre vorhanden					
Westeinfahrt Wien	Emissionsdaten nur für zwei Jahre vorhanden					

* signifikanter Trend (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$)

** hoch signifikanter Trend (Signifikanzniveau $\alpha = 0,01$)

signifikante Trends bei DTV und NO₂

Die Resultate in Tabelle 15 zeigen, dass an den vier betrachteten Straßenabschnitten sowohl DTV als auch NO₂-Emissionen hoch signifikant zunahmen und die NO₂-Immissionen jeweils signifikant zunahmen. Trends in den NO_x-Emissionen bzw. -Immissionen waren nicht signifikant – mit einer Ausnahme (hoch signifikanter negativer Trend an der A12).

5.2 Entwicklung im Verhältnis NO₂/NO_x

Analog zu Kapitel 2.4, in dem immissionsseitige Unterschiede zwischen den Perioden 1998–2000 und 2004–2006 untersucht wurden, werden in diesem Abschnitt Unterschiede in den Emissionen zwischen diesen beiden Perioden analysiert. In Tabelle 16 sind die Veränderungen im emissionsseitigen und im immissionsseitigen NO₂/NO_x-Verhältnis zwischen den Vergleichszeiträumen 1998–2000 und 2004–2006 dargestellt.

Verhältnis NO₂/NO_x nimmt zu

Das emissionsseitige NO₂/NO_x-Verhältnis nimmt auf den Autobahnen A12, A13 und A10 um 2–3 % zu, auf der S6 und der A23 – aufgrund eines höheren PKW-Anteils – um 6 %. Statistische Signifikanz weisen die Zunahmen auf der A13 und S6 auf, der Anstieg auf der A12 ist hochsignifikant.

Immissionsseitig nahm das NO₂/NO_x-Verhältnis um 4–9 % zu, am stärksten an den Messstellen Wien Rinnböckstraße und Leoben Göss. Statistische Signifikanz zeigen dabei die Messstellen Vomp A12, Gärberbach A13 und Wien Rinnböckstraße (A23), hohe Signifikanz Leoben Göss und Wien Hietzinger Kai.

Zu berücksichtigen ist, dass die Messstellen Leoben Göss sowie die Messstellen in Wien in einem erheblichen Ausmaß von NO_x- bzw. NO₂-Emissionen aus anderen Quellen – v. a. dem Verkehr auf anderen Straßen – beeinflusst werden. Nachdem das niederrangige Straßennetz tendenziell einen höheren PKW-Anteil als die Autobahnen aufweist, ist dort mit einem stärkeren Anstieg der NO₂-Emissionen zu rechnen. Dieser Umstand kann den – verglichen mit den Messstellen in unmittelbarer Nähe von außerorts gelegenen Autobahnen – quantitativ stärkeren Anstieg des NO₂/NO_x-Verhältnisses an den Messstellen Leoben Göss und Wien Rinnböckstraße erklären.



Tabelle 16: NO₂/NO_x-Verhältnisse an ausgewählten Straßenabschnitten. Mittelwerte 1998–2000 und 2004–2006. Emissionsseitig sind nur Daten bis 2005 vorhanden.

Straßenabschnitt	Verhältnis NO ₂ /NO _x (Emissionen)			Verhältnis NO ₂ /NO _x (Immissionen)		
	1998–2000	2004–2005	Sign.	1998–2000	2004–2005	Sign.
A12	0,10	0,12	**	0,17	0,21	*
A13	0,10	0,13	*	0,26	0,31	*
A10	0,10	0,13		1)		
S6 (Leoben)	0,13	0,19	*	0,32	0,41	**
A23	0,17	0,23		0,49	0,56	**
Westeinfahrt Wien	1)	0,15 ²⁾		0,23	0,28	*

1) keine Daten in diesem Zeitraum vorhanden

2) nur Daten für ein Jahr vorhanden

Sign. Signifikanzniveau, t-Test auf signifikanten Unterschied zwischen den beiden Perioden

5.3 Empirischer Zusammenhang Emissionen – Immissionen

Die Auswertungen in Kapitel 2.3 und 5 weisen darauf hin, dass die steigende NO₂-Konzentration an verkehrsnahen Messstellen in Österreich hauptsächlich durch den zunehmenden Anteil von NO₂ an den NO_x-Emissionen des Verkehrs bedingt ist. Die wichtigsten Indizien dafür sind einerseits die hohe Anzahl von signifikanten NO₂-Trends an verkehrsnahen Messstellen (Abbildung 6) und andererseits der ähnliche zeitliche Verlauf von verkehrsbedingten Emissionen und verkehrsnahen Immissionen (Abbildung 28 bis Abbildung 33).

Grundsätzlich ist der Zusammenhang zwischen Emissions- und Immissionskonzentrationen komplex und abhängig von Faktoren wie der Meteorologie, chemischer Umwandlung in der Atmosphäre und der Topographie. Deshalb ist für eine mechanistische Analyse eine atmosphärische Modellierung unter besonderer Berücksichtigung chemischer Umwandlungsprozesse wünschenswert. Diese ist jedoch sehr aufwändig und benötigt umfangreiche Inputdaten.

Die Resultate in Abbildung 28 bis Abbildung 33 zeigen jedoch, dass an einigen verkehrsnahen Messstellen in Österreich ein direkter empirischer Zusammenhang zwischen Emissionen und Immissionen besteht. Für solche Messstellen wurde ein einfacher linearer Zusammenhang angenommen und mittels linearer Regression bestimmt. Dieser Zusammenhang ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

**linearer
Zusammenhang
Emissionen –
Immissionen**

Tabelle 17: Empirischer Zusammenhang zwischen Emissions- und Immissionskonzentrationen (Jahresmittelwerten) von NO₂ an ausgewählten Straßenabschnitten.

Straßenabschnitt	Zusammenhang	r ²
A12 (1998–2005)	Immission (µg/m ³) = 12,2 µg/m ³ + Emission (kg/(km·Tag)) · 3,73 (µg/m ³)/(kg/(km·Tag))	0,61
A13 (1996–2005)	Immission (µg/m ³) = 22,6 µg/m ³ + Emission (kg/(km·Tag)) · 2,67 (µg/m ³)/(kg/(km·Tag))	0,65
A10	kein Zusammenhang, da Zeitreihen nur für drei Jahre vorhanden	
S6 (1996–2005)	Immission (µg/m ³) = 19,6 µg/m ³ + Emission (kg/(km·Tag)) · 1,79 (µg/m ³)/(kg/(km·Tag))	0,37
A23 (1998–2005)	Immission (µg/m ³) = 32,0 µg/m ³ + Emission (kg/(km·Tag)) · 0,39 (µg/m ³)/(kg/(km·Tag))	0,62
Westeinfahrt Wien	kein Zusammenhang, da Emissionsdaten nur für zwei Jahre vorhanden	

r² Bestimmtheitsmaß der linearen Regression



In der Tabelle ist zu sehen, dass an den drei Autobahnabschnitten A12, A13 und A23 lineare Zusammenhänge mit einem Bestimmtheitsmaß um 0,6 abgeleitet werden. An der A23 fällt auf, dass die Steigung der Geraden (d. h. die zusätzliche Immission pro zusätzliche Emission (in kg/(km·Tag)) geringer ist als an den anderen beiden Autobahnabschnitten. Dies ist dadurch zu erklären, dass sich die Messstelle an der A23 in größerer Entfernung von der Fahrbahn befindet (in der Rinnböckstraße, ca. 150 m von der A23). Die Korrelation zwischen Emissionen und Immissionen an der S6 ist gering, da sich hier die Immissionsmessstelle in Leoben Göss in noch größerer Entfernung befindet.

Die linearen Zusammenhänge sind geeignet, um Immissionen vorherzusagen, solange die Änderungen der Emissionen nach oben bzw. nach unten relativ gering sind (wie dies auch in den kommenden Jahren zu erwarten ist – siehe Kapitel 6). Eine genauere Interpretation, z. B. der einzelnen Achsenabschnitte in Tabelle 17, erscheint jedoch nicht sinnvoll, da bei diesem empirischen Zusammenhang die folgenden Annahmen getroffen bzw. Vereinfachungen gemacht wurden:

Annahmen und Vereinfachungen

- Es wurde ein linearer Zusammenhang zwischen Emissionen und Immissionen angenommen. Dieser Zusammenhang kann sich je nach Konzentrationsbereich ändern.
- Wechselwirkungen mit der Höhe der NO_x- und der Ozonkonzentration wurden nicht berücksichtigt.
- Meteorologische Einflussfaktoren wurden nicht berücksichtigt.
- Chemische Umwandlungsprozesse wurden nicht berücksichtigt.
- Jahreszeitliche Unterschiede wurden nicht berücksichtigt.

Diese Vereinfachungen sind vertretbar, da die ausgewählten Verkehrsstellen nahe an den Quellen liegen und deshalb die genannten Effekte geringer als an anderen Standorten sind. Um Auswirkungen der Emissionen auf Immissionen an weiteren Standorten zu bestimmen, die nicht im unmittelbaren Nahbereich von stark befahrenen Straßen liegen, ist eine atmosphärische Modellierung nötig.

6 EMISSIONS- UND IMMISSIONSSZENARIEN

6.1 Verkehrsprognose

Für die in Kapitel 4 beschriebenen Straßenabschnitte wurden Verkehrsprognosen für alle Jahre bis 2020 erstellt. Dabei wurden die Verkehrsdaten des Jahres 2005 in der bestehenden Qualität/Aufteilung fortgeschrieben, d. h. der DTV der einzelnen Fahrzeugkategorien wurde in jedem Jahr mit einer für die Kategorie spezifischen Wachstumsrate multipliziert. Als Grundlage für die Prognose dienten eigene Berechnungen des Umweltbundesamt. Dabei wurde nicht einfach der Trend der letzten Jahre fortgeschrieben, da dies zweifelsohne zu einer Emissionsüberschätzung führen würde; vielmehr wurden absehbare verkehrsreduzierende Maßnahmen mit berücksichtigt.

Da für die einzelnen Straßenabschnitte keine separaten Verkehrsprognosen zur Verfügung standen, wurden dieselben Wachstumsraten für alle Straßenabschnitte verwendet. Um die Sensitivität der Emissions- und der Immissionsresultate gegenüber der Verkehrsprognose zu dokumentieren, sind in Abbildung 37 (Kapitel 6.3) auch Resultate unter Annahme eines doppelten Verkehrswachstums und unter Annahme eines Nullwachstums angegeben.

**Verkehrsprognose
für alle
Straßenabschnitte**

6.2 Emissionsprognose

Aus den Verkehrsprognosedaten für alle Fahrzeugkategorien wurden – wie bereits in Kapitel 4 aus den Verkehrszählungen – mittels Emissionsfaktoren (HAUSBERGER 2007) die Emissionen (NO_x, NO₂) in Gramm je Kilometer und Tag ermittelt. Die Emissionsfaktoren bzw. Verkehrsstärken wurden dem Prognosejahr entsprechend ausgewählt. Die Resultate – prognostizierte Verkehrsdaten und Emissionen – sind im folgenden Abschnitt zusammen mit den prognostizierten Immissionen dargestellt.

6.3 Immissionsprognose

Aus den Resultaten der Emissionsprognose (Kapitel 6.2) und dem empirischen Zusammenhang zwischen Emissionen und Immissionen (Kapitel 5.3) wurde eine Immissionsprognose erstellt. In den folgenden Abbildungen sind die Resultate für die Autobahnabschnitte A12, A13 und A23 dargestellt. Für diese wurde eine akzeptable Korrelation zwischen Emissionen und Immissionen von NO₂ gefunden (Tabelle 17). Für die restlichen Straßenabschnitte wird der qualitative Verlauf weiter unten diskutiert.

**Immissions-
prognose für
Autobahnabschnitte**

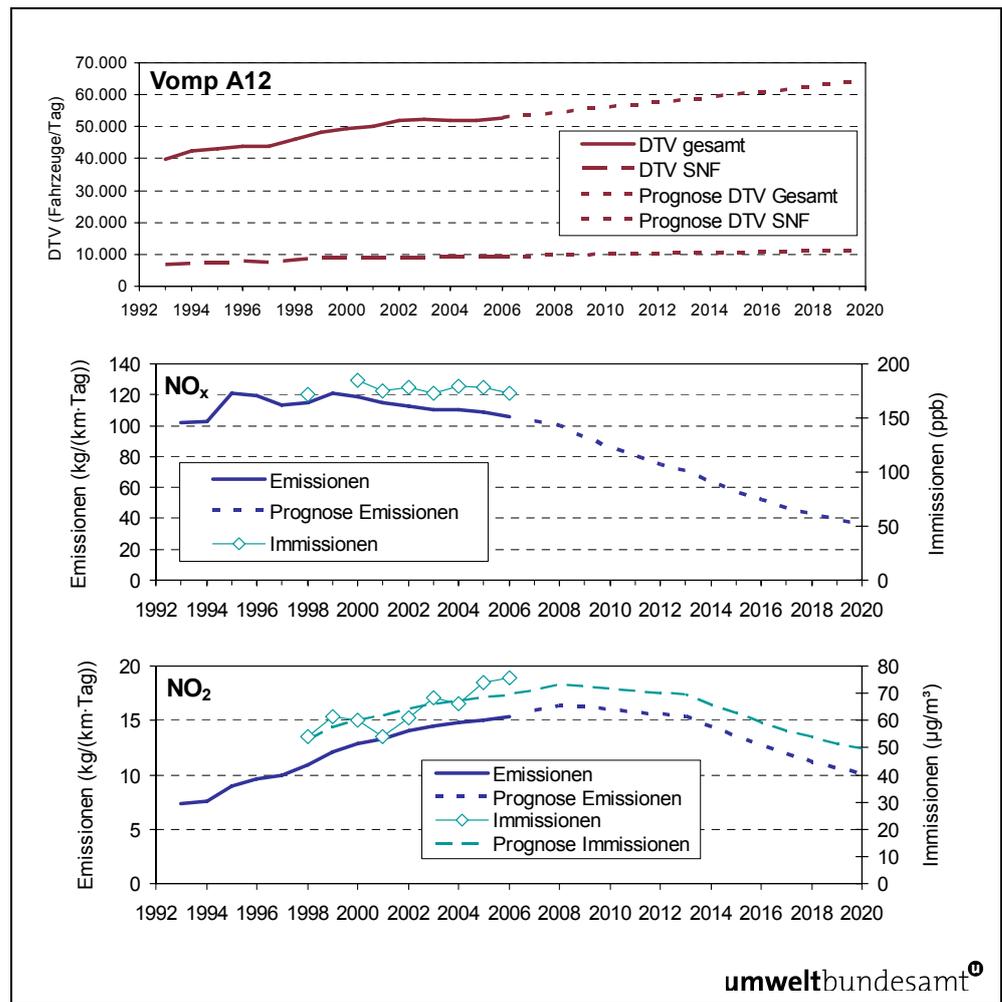


Abbildung 34: Prognose des DTV (oben), der Emissionen von NO_x (Mitte) sowie der Emissionen und Immissionen von NO₂ (unten) ohne zusätzliche Maßnahmen an der A12 bei Vomp.

NO₂-Emissionen und Immissionen bleiben annähernd gleich

An der A12 ergibt die Verkehrsprognose einen kontinuierlichen Anstieg des Verkehrs (rund 1,5 % pro Jahr). Aufgrund der stark abnehmenden Emissionsfaktoren für NO_x (siehe Kapitel 3) nehmen aber die prognostizierten NO_x-Emissionen bis 2020 um rund zwei Drittel ab. Anders ist die Situation bei NO₂: Da die Emissionsfaktoren der österreichischen Fahrzeugflotte in den nächsten Jahren auf ähnlichem Niveau bleiben werden, ist bis 2012 mit Emissionen und Immissionen auf dem heutigen Niveau oder knapp darüber zu rechnen. Erst danach nehmen gemäß der Prognose auch die Emissionen und Immissionen von NO₂ ab.

Maßnahmen noch nicht berücksichtigt

Es ist zu beachten, dass die Prognose auf einem empirischen Zusammenhang zwischen Emissionen und Immissionen und auf einer einheitlichen Wachstumsrate des Verkehrs beruht (siehe Abschnitt 6.1). **Maßnahmen, die z. B. im Rahmen eines Programms nach IG-L oder des österreichischen NEC-Programms vorgesehen sind, sowie andere zukünftige Maßnahmen sind noch nicht berücksichtigt.** So können sich je nach den in Zukunft umgesetzten Maßnahmen sowohl die Emissionen als auch die Immissionen stärker reduzieren als in Abbildung 34 angegeben (zu möglichen Maßnahmen siehe Kapitel 7).



Die unterstellten Emissionsfaktoren setzen als eine Maßnahme allerdings voraus, dass die Testzyklen in der europäischen Typprüfung an die realen Fahrzustände angepasst werden. Als Folge würden die Emissionsniveaus der zukünftigen KFZ-Technologien im realen Verkehr ähnlich abnehmen wie im Typprüfzyklus. Ohne diese Maßnahme können in Zukunft auch deutlich höhere Emissions- und Immissionswerte als hier gezeigt auftreten.

Die Situation an der A13 (Abbildung 35) ist im Hinblick auf Verkehr, NO_x und NO₂ praktisch analog zur Situation an der A12.

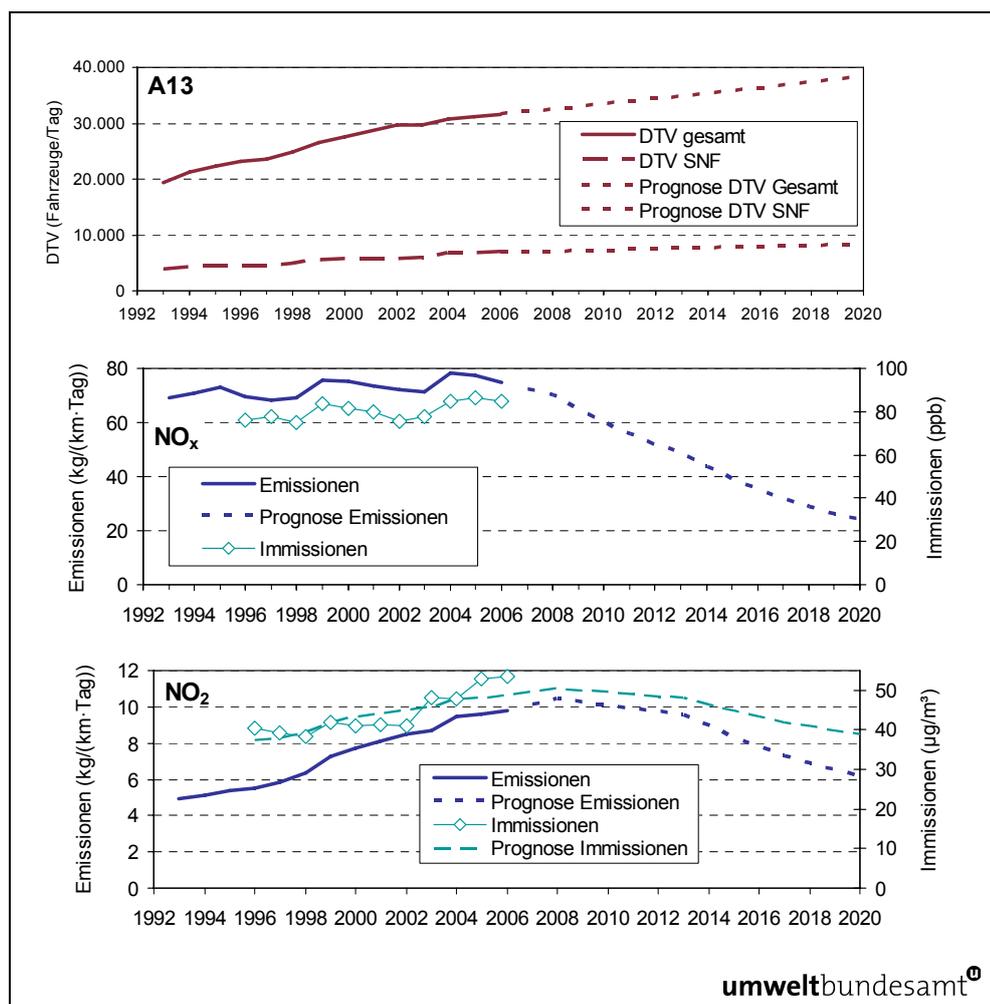


Abbildung 35: Prognose des DTV (oben), der Emissionen von NO_x (Mitte) sowie der Emissionen und Immissionen von NO₂ (unten) ohne zusätzliche Maßnahmen an der A13.

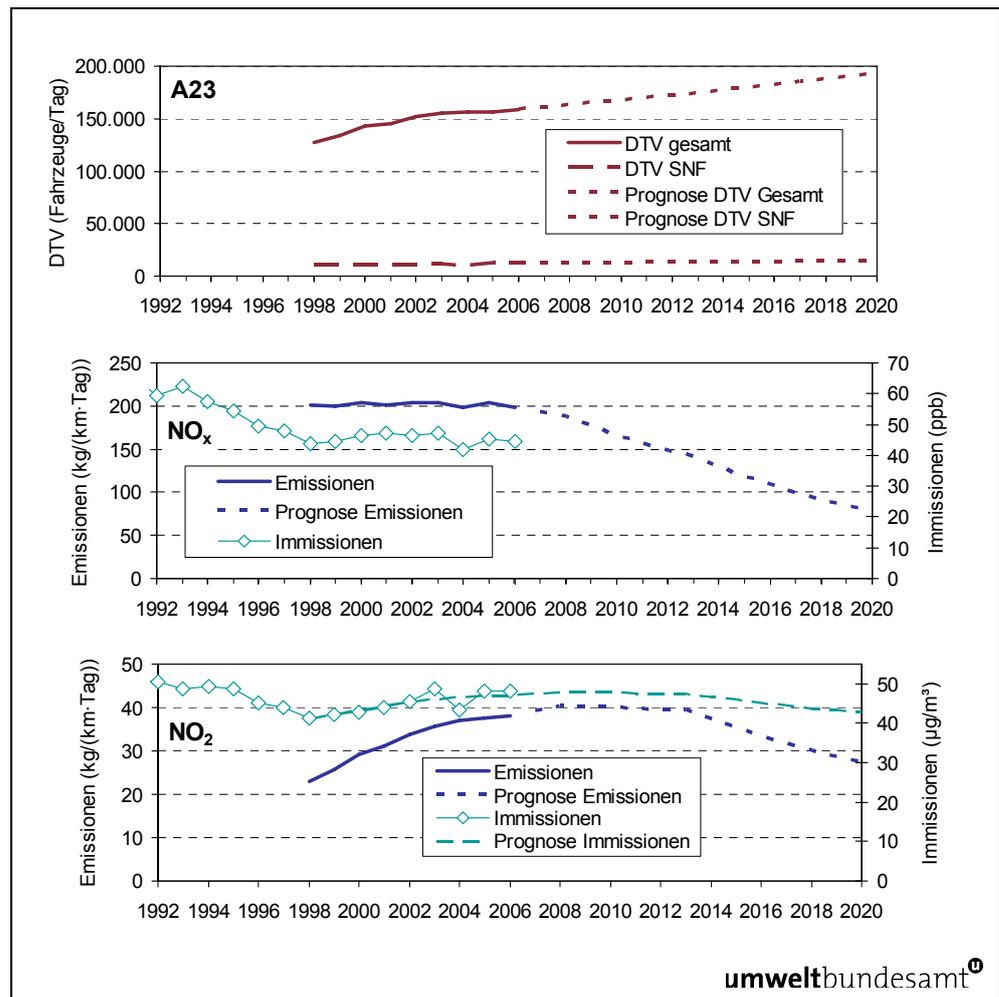


Abbildung 36: Prognose des DTV (oben), der Emissionen von NO_x (Mitte) sowie der Emissionen und Immissionen von NO₂ (unten) ohne zusätzliche Maßnahmen an der A23.

Auch an der A23 (Abbildung 36) nehmen die prognostizierten NO_x-Emissionen aufgrund der stark abnehmenden Emissionsfaktoren für NO_x in den kommenden Jahren rasch ab. Es fällt auf, dass die Immissionskonzentration von NO₂ in den Neunzigerjahren einen von den Emissionen des Verkehrs abweichenden Verlauf hatte. Dies kann auf weitere Quellen zurückgeführt werden, insbesondere da die Messstelle Rinnböckstraße in etwas größerer Entfernung zur Fahrbahn steht. Deshalb ist zu berücksichtigen, dass die dort gemessenen Immissionen auch in Zukunft einen etwas anderen Verlauf aufweisen könnten. Trotzdem ist auch an der Messstelle Rinnböckstraße in den kommenden Jahren mit Konzentrationen im Bereich der heutigen Werte zu rechnen.

qualitative Prognose für andere Straßenabschnitte

Für die anderen in Kapitel 5 behandelten Straßenabschnitte wurde keine analoge Prognose erstellt, da die entsprechenden Verkehrs- bzw. Immissionsdaten nur über kurze Zeiträume vorhanden sind (siehe Abschnitt 5.3). Qualitativ lässt sich jedoch sagen, dass die Entwicklung an diesen Straßenabschnitten ähnlich verlaufen wird, da andere Quellen außer dem Verkehr dort eine geringe Rolle spielen und sich die Fahrzeugflotte und auch die Verkehrszahlen dort nicht grundsätzlich anders entwickeln werden.

Ebenso ist zu erwarten, dass sich an Straßenabschnitten außerorts (für die keine Zählstellendaten vorhanden waren) die Situation ähnlich entwickelt. Auch dort ist in den nächsten Jahren mit NO₂-Konzentrationen auf ähnlichem Niveau wie derzeit zu rechnen. Im Fall einer Zunahme des Verkehrs sind auch weiter ansteigende Konzentrationen zu erwarten. Dies ist dadurch begründet, dass die Emissionsfaktoren außerorts einen ähnlichen Verlauf wie jene auf Autobahnen aufweisen (Abbildung 24, Abbildung 25).

Da die Emissionsfaktoren für NO₂ in den nächsten Jahren auf ähnlichem Niveau bleiben werden³, ist für die Entwicklung der NO₂-Emissionen und -Immissionen die weitere Verkehrsentwicklung entscheidend. In Abbildung 37 und Tabelle 18 ist dargestellt, wie sich die Konzentrationen von NO₂ an ausgewählten Messstellen entwickeln. Anstatt der verwendeten Verkehrsprognose wird dabei ein Nullwachstum bzw. ein doppeltes Wachstum angenommen. Dies dient auch zur Überprüfung der Sensitivität der erhaltenen Resultate gegenüber der verwendeten Verkehrsprognose.

Sensitivität gegenüber Verkehrsprognose

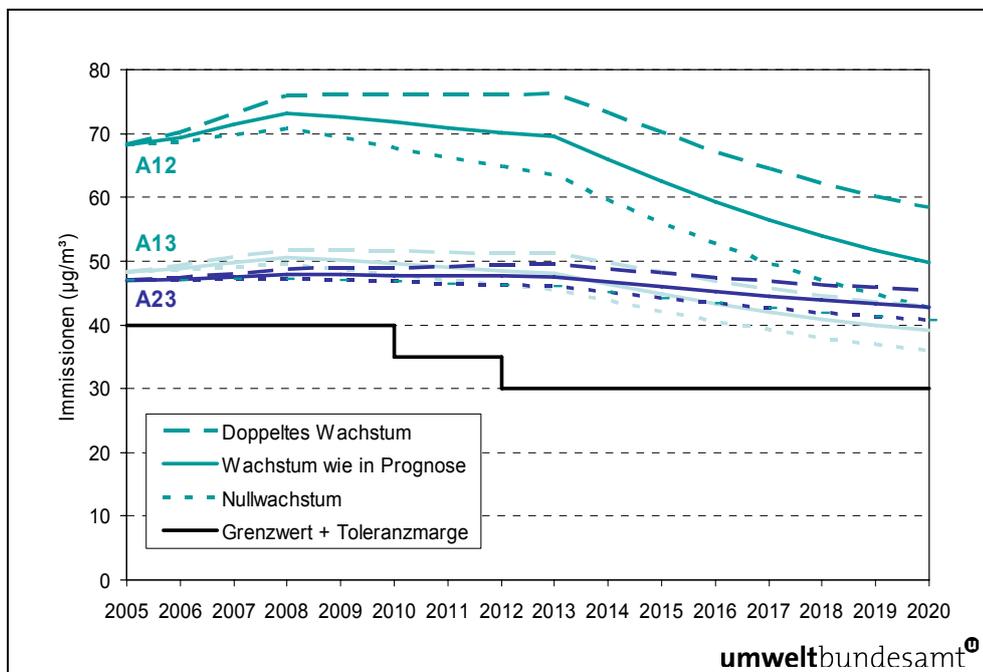


Abbildung 37: Prognose der NO₂-Immissionskonzentration (Jahresmittelwerte in µg/m³) an den Messstellen Vomp A12, Gärberbach A13 bzw. Wien Rinnböckstraße (A23) mit der verwendeten Verkehrsprognose, unter Annahme eines verdoppelten Wachstums des Verkehrs und unter Annahme eines Nullwachstums bis 2020.

³ Dies setzt voraus, dass die NO_x-Emissionsniveaus der zukünftigen EURO 5 und EURO 6 im realen Verkehr ähnlich abnehmen wie es in der Typprüfung erforderlich sein wird. Dies ist ohne ein verbessertes Typprüfverfahren aber nicht als sicher anzunehmen.



Tabelle 18: Prognose der NO₂-Immissionskonzentration (Jahresmittelwerte in µg/m³) mit der verwendeten Verkehrsprognose, unter Annahme eines verdoppelten Wachstums des Verkehrs und unter Annahme eines Nullwachstums für ausgewählte Jahre.

Straßenabschnitt	Ist 2006	Verkehrsprognose				Doppeltes Wachstum				Nullwachstum			
		2010	2012	2015	2020	2010	2012	2015	2020	2010	2012	2015	2020
A12	76	72	70	63	50	76	76	70	58	68	65	56	53
A13	53	50	49	45	39	51	51	48	43	48	46	42	36
A23	48	48	48	46	43	49	49	48	45	47	46	44	41
GW + TM	40	35	30	30	30	35	30	30	30	35	30	30	30

Ist..... Gemessene Konzentrationen an den Messstellen Vomp A12, Gärberbach A13 bzw. Wien Rinnböckstraße

GW+TM Summe aus Grenzwert und Toleranzmarge

Fett..... Überschreitungen der Summe aus Grenzwert und Toleranzmarge

Überschreitungen des Grenzwerts

Bis Ende 2009 gilt für den Jahresmittelwert von NO₂ die Summe aus Grenzwert und Toleranzmarge von 40 µg/m³, ab 2010 sind 35 µg/m³ einzuhalten und ab 2012 der Grenzwert von 30 µg/m³. In Tabelle 18 ist zu sehen, dass selbst unter Annahme eines Nullwachstums des Verkehrs an den drei betrachteten Straßenabschnitten weder der Grenzwert noch die Summe aus Grenzwert und Toleranzmarge eingehalten werden. Selbst 2020 ist in allen Szenarien mit Grenzwertüberschreitungen zu rechnen, in allen Fällen bis auf zwei beträgt die Überschreitung mehr als 10 µg/m³.

Auch an anderen verkehrsnahen Standorten (städtisch sowie außerorts) ist, wie oben ausgeführt, in den nächsten Jahren mit leicht ansteigenden oder konstanten NO₂-Konzentrationen zu rechnen. Daher ist an Messstellen, deren Konzentrationen derzeit im Bereich der Summe aus Grenzwert und Toleranzmarge liegen, in den kommenden Jahren mit deutlichen Überschreitungen des Grenzwerts zu rechnen.

Zu ähnlichen Resultaten kam eine Prognose von NO₂-Immissionen an weiteren verkehrsnahen Messstellen (AEA ENERGY & ENVIRONMENT 2007). Mit Hilfe eines Modells für die chemische Umwandlung zwischen NO, NO₂ und Ozon (NETCEN) wurden Prognosen der NO₂-Konzentrationen unter anderem an vier Salzburger Messstellen erstellt. Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass auch an den Stationen Salzburg Rudolfsplatz und Hallein B159 Kreisverkehr bis zum Jahr 2020 mit NO₂-Konzentrationen über 30 µg/m³ (in den meisten Szenarien auch über 40 µg/m³) zu rechnen ist.

Unsicherheiten der Prognose

Wie bereits ausgeführt, ist die verwendete Prognose mit verschiedenen Unsicherheiten verbunden. Da chemische Umwandlungsprozesse in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt wurden, kann nicht abgeschätzt werden, wie sich das Gleichgewicht zwischen NO und NO₂ ändern wird, wenn in den kommenden Jahren die NO_x-Emissionen stark zurückgehen. Tendenziell ist mit einer Reduktion der NO₂-Konzentrationen zu rechnen. Wie die zuletzt genannte Studie (AEA ENERGY & ENVIRONMENT 2007) gezeigt hat, ist dieser Rückgang wahrscheinlich nicht ausreichend, um in den nächsten Jahren die Einhaltung der Grenzwerte sicherzustellen.

Neben den Unsicherheiten der chemischen Umwandlung sind auch die verwendeten Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten verbunden (HAUSBERGER 2007).

Schließlich sind Unsicherheiten in der Verkehrsprognose zu berücksichtigen. Die Auswertung in Abbildung 37 bzw. Tabelle 18 zeigt jedoch, dass selbst bei gleich bleibender Verkehrsdichte die NO₂-Belastung in den kommenden Jahren an verkehrsnahen Messstellen hoch bleiben wird.

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Resultate der vorhergehenden Kapitel und erste Schlussfolgerungen lassen sich anhand der Abbildung 38 zusammenfassen: Es wurde gezeigt, dass die Immissionskonzentrationen von NO_x an den meisten Messstellen in Österreich, insbesondere an den verkehrsnahen Messstellen, zu Beginn der Neunzigerjahre abnahmen und etwa seit dem Jahr 2000 stagnieren (Abbildung 38, oben). Die NO₂-Belastung nahm in den Neunzigerjahren ebenfalls ab, in den letzten Jahren wurde aber eine Zunahme bei NO₂ vor allem an verkehrsnahen Messstellen festgestellt. Diese Entwicklung geht emissionsseitig mit einer Stagnation der NO_x-Emissionen und einer Zunahme der NO₂-Emissionen an den betrachteten Straßenabschnitten einher (Abbildung 38, Mitte).

Ursachen für die erhöhten NO₂-Emissionen liegen u. a. in der gesteigerten Fahrleistung, die die Abnahme der NO_x-Emissionsfaktoren teilweise kompensiert, und in der Zunahme der Diesel-PKW in Österreich (Abbildung 38, unten). Diesel-PKW verfügen über ein deutlich höheres NO_x- und NO₂-Emissionsniveau als PKW mit Ottomotoren (vgl. Kapitel 3), somit hat dieser Trend die NO₂-Belastung deutlich mitbestimmt.

Zur Verringerung der NO₂-Belastung ist es sinnvoll, nicht nur die NO₂-Emissionen zu reduzieren, sondern auch die gesamten NO_x-Emissionen und damit die NO_x-Konzentrationen. Das dargestellte Problem der hohen NO₂-Emissionen verstärkt das grundsätzliche Problem der hohen NO_x-Emissionen. Auch bei dem bis um 2000 beobachteten niedrigen emissionsseitigen NO₂/NO_x-Verhältnis führte die atmosphärische Bildung von NO₂ aus NO bereits zu NO₂-Konzentrationen deutlich über dem Grenzwert nach IG-L an verkehrsnahen Standorten.

Deshalb müssen Maßnahmen sowohl auf die Reduktion der NO_x-Emissionen insgesamt als auch auf die Reduktion der NO₂-Emissionen abzielen. Maßnahmenvorschläge im Verkehrsbereich wurden unter anderem im achten Umweltkontrollbericht (UMWELTBUNDESAMT 2007b) zusammengestellt. Insbesondere im Hinblick auf die verkehrsbedingte NO_x- und NO₂-Belastung sind folgende Empfehlungen anzuführen:

- Da die Verkehrszunahme in den letzten Jahren die positiven Effekte der fahrzeugtechnischen Verbesserungen teilweise kompensiert hat, sollten Maßnahmen zu Steuerung des Gesamtverkehrsaufkommens, insbesondere an stark belasteten Straßen, getroffen werden. Zur Festlegung von Zielen hinsichtlich des Gesamtverkehrsaufkommens und der Verkehrsmittelwahl sollte ein **Gesamtverkehrskonzept** erstellt werden. Dieses Konzept sollte auch die Reduktion des Straßenverkehrsaufkommens und die Verlagerung zu umweltfreundlichen Verkehrsmitteln enthalten.
- Zur Erreichung der umweltpolitischen Zielsetzungen ist die Schaffung von fahrleistungs- und emissionsabhängigen **Kostenstrukturen** im Verkehrssektor ein wesentliches Werkzeug. Um eine Anlastung der verursachten Kosten an die Verkehrsträger zu ermöglichen, sollte ein System geschaffen werden, das eine räumlich spezifische und/oder zeitlich variable Kostenanlastung für alle Fahrzeuggruppen im Straßenverkehr ermöglicht.

Maßnahmen- vorschläge

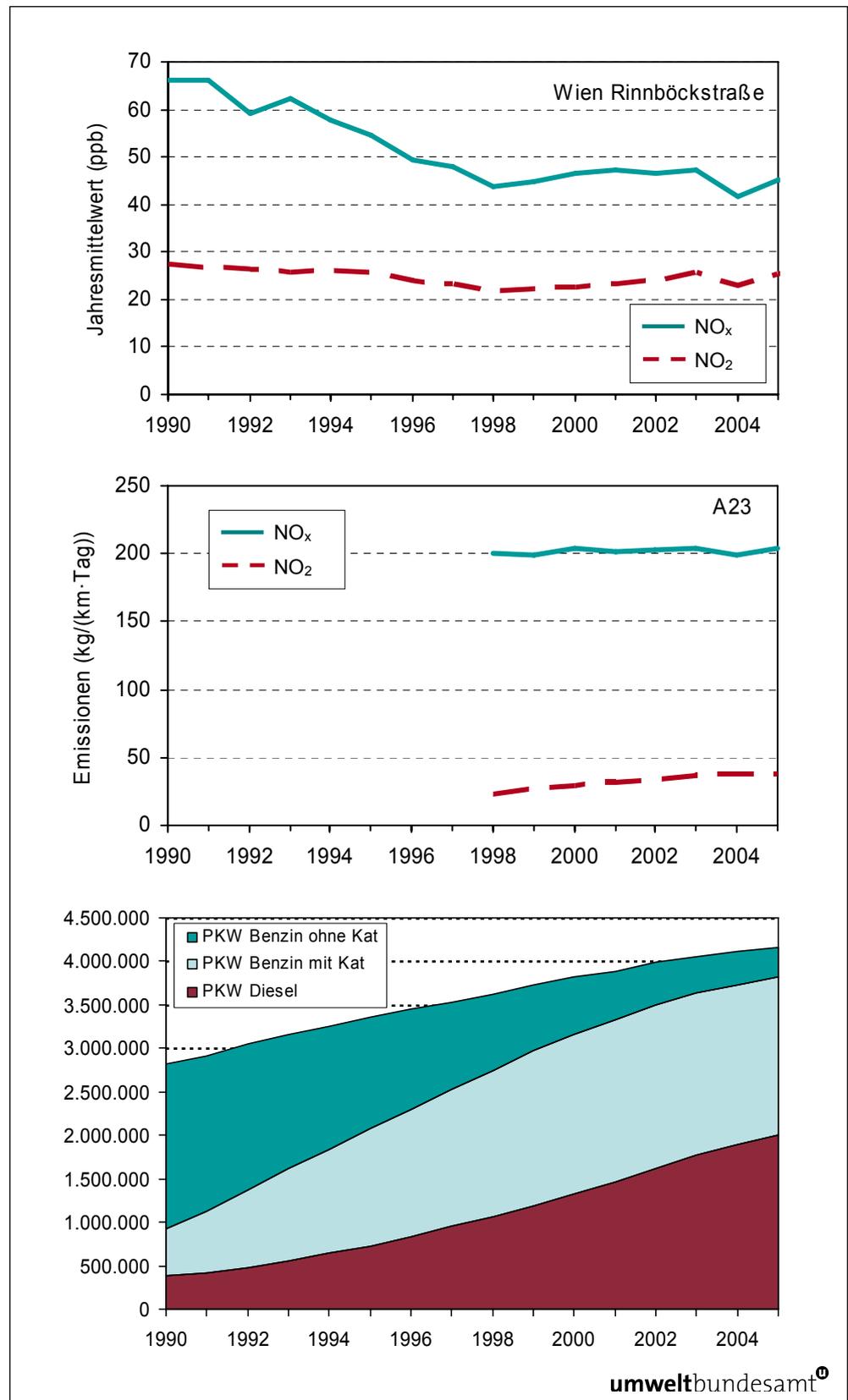


Abbildung 38: Beispielhafte Entwicklung von NO_x- und NO₂-Immissionen (oben); verkehrsbedingten NO₂-Emissionen (Mitte) und der Entwicklung des PKW-Bestands in Österreich (unten), 1990–2004.



- Wie oben angeführt, geht die hohe NO₂-Belastung mit weiterhin hohen NO_x-Emissionen einher. Deshalb sollten die Verkehrsmaßnahmen des **NEC-Programms**, die vor allem auf eine Reduktion der NO_x-Emissionen abzielen, zügig und umfassend umgesetzt werden. Sollten diese Maßnahmen zur Einhaltung der Grenzwerte nicht ausreichen, sind zur Erreichung der Zielvorgaben weitere Maßnahmen zu entwickeln. Beispiele dafür sind die Forcierung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben, die sehr geringe NO_x-Emissionen aufweisen und die Förderung des öffentlichen Verkehrs sowie des Rad- und Fußgängerverkehrs.
- Im hochrangigen Straßennetz, insbesondere an Autobahnen und Schnellstraßen, können **Geschwindigkeitsbeschränkungen** in Verbindung mit strikter Geschwindigkeitsüberwachung (Section Control) die NO_x-Emissionen insgesamt wirksam reduzieren. Solche Maßnahmen sind kosteneffizient und sollten deshalb zügig eingeführt werden.
- Zur mittel- und langfristigen Verringerung des Verkehrsaufkommens ist die Integration verkehrs- und umweltpolitischer Zielsetzungen in die **Raumplanung** essenziell. Beispielsweise sollte die Anbindung an den öffentlichen Verkehr bei der Siedlungsplanung vorrangig sein, da die Verkehrsinfrastruktur das Mobilitätsverhalten bestimmt.
- Um die vermehrte Nutzung umweltfreundlicher Verkehrsmittel zu erreichen, sollten Anreize für den Umstieg vom PKW auf den öffentlichen Verkehr und intermodale Lösungen (Öffentlicher Verkehr in Kombination mit Carsharing) verstärkt werden. Ökonomische Maßnahmen zur Förderung der Fuß- und Radwegeinfrastruktur im Rahmen der Umsetzung des Masterplans Radfahren und der Benutzung des öffentlichen Verkehrs sollten geschaffen und ausgebaut werden.

Daneben sind folgende Maßnahmen grundsätzlich wirksam, jedoch mit langen Umsetzungsfristen verbunden:

- Umsetzung von fiskalischen Maßnahmen, die zu einer Reduktion des Dieselanparts bei Neuzulassungen von PKW führen, da Dieselfahrzeuge nach wie vor deutlich höhere NO_x-Emissionen pro Fahrzeug aufweisen.
- Anreize zur vorzeitigen Erfüllung der Emissionsgrenzwerte für NO_x bei PKW und leichten Nutzfahrzeugen (EURO 6) auf nationaler Ebene.
- Festlegung von stringenten EURO VI-Abgasnormen für schwere Nutzfahrzeuge auf EU-Ebene.
- Prüfung der Möglichkeit der Einführung eigener NO₂-Emissionsgrenzwerte auf EU-Ebene, um die Entwicklung und den Einsatz von NO₂-reduzierenden Abgasnachbehandlungssystemen zu fördern.

Die drei zuletzt genannten Maßnahmen haben lange Umsetzungsfristen, da der Zeitplan für die Weiterentwicklung der EURO-Standards bereits bis 2014/15 festgelegt ist und sich neue Technologien durch die relativ langsame Flottenerneuerung nur zeitverzögert durchsetzen. Zusätzlich ist es notwendig, neben den Emissionsgrenzwerten auch die zugrunde liegenden Testzyklen für die Abgasprüfung anzupassen, da diese derzeit das reale Fahrverhalten und damit auch das Emissionsverhalten nur ungenügend abbilden. Gerade bei NO_x führt dieser Effekt zu einer großen Abweichung der Emissionen im Abgastest von jenen im Fahrbetrieb. Auch diese Maßnahme ist mit langen Umsetzungszeiträumen verbunden.

**lange
Umsetzungsfrist**

Überschreitungen der NO₂-Luftgütegrenzwerte, insbesondere an stark belasteten, verkehrsnahen Standorten werden daher auch in den nächsten Jahren eine große Herausforderung für die Luftreinhaltepolitik darstellen.

8 LITERATUR

- AEA ENERGY & ENVIRONMENT (2007): Grice, S.; Stedman, J.; Kent, A.; Hobson, M.; Norris, J.; Abbott, J. & Cooke, S.: The impact of changes in vehicle fleet composition and exhaust treatment technology on the attainment of the ambient air quality limit value for nitrogen dioxide in 2010. Report to the European Commission Directorate-General Environment, service contract 070501/2006/438919/MAR/C3. AEA Energy & Environment, Harwell.
- AIR QUALITY EXPERT GROUP (2004): Nitrogen Dioxide in the United Kingdom. Department for Environment, Food and Rural Affairs, London.
www.defra.gov.uk/environment/airquality/panels/ageg/index.htm.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft; BMVIT – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie & UMWELT-BUNDESAMT (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Version 2.1, Wien. <http://www.umweltbundesamt.at/hbefa/>, <http://www.hbefa.net/>.
- BOULTER, P.; MCCRAE, I. et al. (in Vorbereitung): Assessment and reliability of transport emission models and inventory systems. Final Report. DG TREN Contract No. 1999-RD.10429. Deliverable No. 15. In progress at TRL since 2004.
- CARSLAW, D. C. (2005): Evidence of an increasing NO₂/NO_x emissions ratio from road traffic emissions. In: *Atmospheric Environment*. Vol. 39. Elsevier, Amsterdam. Pp. 4793–4802.
- CARSLAW, D. C. & BEEVERS, S. D. (2004): Investigating the potential importance of primary NO₂ emissions in a street canyon. In: *Atmospheric Environment*. Vol. 38. Elsevier, Amsterdam. Pp. 3585–3594.
- CARSLAW, D. C.; BEEVERS, S. D. & BELL, M. C. (2007): Risks of exceeding the hourly EU limit value for nitrogen dioxide resulting from increased road transport emissions of primary nitrogen dioxide. In: *Atmospheric Environment*. Vol. 41. Elsevier, Amsterdam. Pp. 2073–2082.
- FMI – Finnish Meteorological Institute (2002): MAKESENS 1.0, Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimates for the Trend of Annual Data. Version 1.0. Freeware.
- GILBERT, R. O. (1987): Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. Van Nostrand Reinhold, New York.
- HAUSBERGER, S. (1997): Globale Modellbildung für Emissions- und Verbrauchsszenarien im Verkehrssektor (Global Modelling of Scenarios Concerning Emission and Fuel Consumption in the Transport Sector). Dissertation am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, TU Graz.
- HAUSBERGER, S. (2007): Entwicklung der NO₂ Belastung durch den Straßenverkehr. Erstellt im Auftrag der Umweltbundesamt GmbH. Report Nr. I-24/2007. Haus-Em 11/07/679 vom 02.10.2007. Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, TU Graz.
- HAUSBERGER, S. & KOFLER, T. (2006): Fuel Consumption and Emissions of Modern Vehicles; Part „Passenger Cars“; Project carried out under contract with BMLFUW: Report No. FVT-29/04-6770 from 30.1.2006. FVT, Graz.



- LAMBRECHT, U. (2007): Ursachen der hohen NO₂-Belastung in Innenstädten. Beitrag von primärem NO₂ aus dem Abgas und der Ozonchemie. In: Feinstaub und Stickstoffdioxid – Rechtliche Rahmenbedingungen, Minderung, Messung, Luftreinhaltepläne, Aktionspläne. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL, Düsseldorf.
- UMWELTBUNDESAMT (2006): Spangl, W.; Nagl, C. & Schneider, J.: Jahresbericht der Luftgütemessungen in Österreich 2005. Umweltbundesamt, Wien.
<http://www.umweltbundesamt.at/publikationen>.
- UMWELTBUNDESAMT (2006a): Spangl, W.; Anderl, M. & Lichtblau, G.: Trends von NO_x-Emissionen und -immissionen in Österreich. 1990–2004. Reports, Bd. REP-0056. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2007): Spangl, W.; Nagl, C. & Moosmann, L.: Jahresbericht der Luftgütemessungen in Österreich 2006. Reports, Bd. REP-0104. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2007a): Anderl, M.; Gangl, M & Kampel, E.: Emissionstrends 1990–2005. Ein Überblick über die Verursacher von Luftschadstoffen (Datenstand 2006). Reports, Bd. REP-0101. Umweltbundesamt, Wien.
<http://www.umweltbundesamt.at/publikationen>.
- UMWELTBUNDESAMT (2007b): Umweltsituation in Österreich. Achter Umweltkontrollbericht. Umweltbundesamt, Wien.

Rechtsnormen und Leitlinien

- ER – Europäischer Rat (1997): Entscheidung des Rates vom 27. Januar 1997 zur Schaffung eines Austausches von Informationen und Daten aus den Netzen und Einzelstationen zur Messung der Luftverschmutzung in den Mitgliedstaaten. 1997/101/EG. Brüssel.
1. Tochterrichtlinie (1. TRL; RL 1999/30/EG): Richtlinie des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft. ABl. Nr. L 163 vom 29. Juni 1999.
- Emissionshöchstmengenrichtlinie (NEC-RL; RL 2001/81/EG): Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe. ABl. Nr. L 309/22.
- Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L; BGBl. I 115/1997 i.d.g.F.): Bundesgesetz zum Schutz vor Immissionen durch Luftschadstoffe, mit dem die Gewerbeordnung 1994, das Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen, das Berggesetz 1975, das Abfallwirtschaftsgesetz und das Ozongesetz geändert werden.
- Messkonzeptverordnung zum IG-L (Messkonzept-VO; BGBl. II 263/2004): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Messkonzept zum Immissionsschutzgesetz-Luft.



9 GLOSSAR UND ABKÜRZUNGEN

AGR	Abgasrückführung
BMLFUW.....	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
CADC.....	Common Artemis Driving Cycle (Testzyklus des ARTEMIS-Projekts)
CO.....	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
D.A.CH.NL-S.....	Zusammenschluss der Länder Deutschland, Österreich, Schweiz, Niederlande und Schweden
Diesel	Fahrzeuge mit Dieselmotor
DPF	Diesel-Partikelfilter
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
EURO.....	Europäische Abgasvorschriften für Straßenfahrzeuge
FVT	Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH
GLOBEMI.....	Globales Emissionsinventurmodell zur automatisierten Bilanzierung von Verbrauchs-, Emissions- und Verkehrsdaten in größeren Gebieten (Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU Graz)
IG-L	Immissionsschutzgesetz-Luft
KFZ	Kraftfahrzeug
LKW	Lastkraftwagen
LNF	Leichtes Nutzfahrzeug
Magerbetrieb	Betrieb mit Luftüberschuss
NEC	National Emission Ceilings
NEDC.....	New European Driving Cycle (Testzyklus)
NO.....	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickoxide (Summe aus NO und NO ₂)
Otto	Fahrzeuge mit Ottomotor (benzinbetrieben)
O _x	Summe aus Stickstoffdioxid und Ozon
Oxi-Kat	Oxidationskatalysator
PAB.....	PKW mit Anhänger, Busse
PKW.....	Personenkraftwagen
PM.....	Particulate Matter
PSA-Konzern	Peugeot Société Anonyme, französischer Hersteller von PKW und Nutzfahrzeugen



ppb parts per billion

SCR Selective Catalytic Reduction (SCR-Katalysator zur NO_x-Minderung im Diesel-Abgas)

SLZ LKW mit Anhänger, Sattelzüge

SNF Schweres Nutzfahrzeug



ANHANG

Tabelle 19: Trendanalyse 2001–2006, NO₂ und NO_x.

Bundesland, Messstation	Stickstoffdioxid (NO ₂) – µg/m ³ pro Jahr						Stickoxide (NO _x) – µg/m ³ pro Jahr					
	JMW		WMW		SMW		JMW		WMW		SMW	
	*	Stg.	L. R.	*	Stg.	*	Stg.	*	Stg.	*	Stg.	
Verkehrsnaher Messstationen												
K Klagenfurt Völkermarkter Str.	1,46	1,47	*	3,38	0,33	-0,51	3,09	-0,91				
K St. Andrä i. L. Volksschule	0,72	0,15		0,89	-0,18	1,64	2,29	-0,24				
K St. Veit a. d. Glan Oktoberplatz	0,35	0,62		2,65	-1,34	-5,40	-5,75	-6,79				
N Vösendorf	0,00	-0,45		-0,59	-1,10	-0,04	*	1,33	-0,68			
O Linz Kleinmünchen	0,08	-0,17		0,06	-0,09	-0,30	*	-2,73	-0,16			
O Linz Neue Welt	0,87	0,68		1,34	0,65	-0,20	*	-2,76	0,31			
O Linz ORF-Zentrum	-0,41	-0,29		-0,01	*	-0,80	*	-3,74	-0,99			
O Linz Römerbergtunnel	*	1,60	1,78	*	2,39	0,94	-0,83	*	-3,67	-0,10		
O Wels Linzerstraße	0,02	0,11		0,97	0,09	-0,54	-1,31	0,18				
S Hallein B159 Kreisverkehr	1,28	1,20		1,28	1,28	-0,19	0,00	*	-2,53			
S Salzburg Mirabellplatz	0,33	0,06		0,52	0,11	0,23	1,64	-0,09				
S Salzburg Rudolfsplatz	*	1,36	1,33		1,81	0,54	-1,03	-0,36	-1,23			
T Gärberbach A13	*	2,75	2,75	**	4,06	1,58	0,97	5,95	1,98			
T Hall i. T. Münzergasse	*	1,82	1,90	*	4,03	0,38	-0,75	5,79	-0,40			
T Lienz Amlacherkreuzung	**	2,01	1,81	*	3,01	*	0,75	1,75	1,84	0,18		
T Vomp A12	*	4,29	4,13	*	6,93	*	2,45	3,14	10,73	*	-5,07	
T Wörgl Stelzhamerstraße	*	2,92	3,09	*	5,36	0,50	0,86	*	5,56	0,18		
V Feldkirch Bärenkreuzung	*	3,79	3,71	*	3,23	*	3,21	*	2,17	2,33	-1,46	
W Wien Gaudenzdorf		0,31	0,21		0,75	0,06	-0,41	-1,02	-0,24			
W Wien Hietzinger Kai	*	3,78	3,71		3,64	*	2,66	-1,44	-5,06	3,75		
W Wien Rinnböckstraße		0,81	0,66		1,37	0,11	-1,00	-1,55	-1,38			
Große Städte (> 80.000 EinwohnerInnen)												
K Klagenfurt Koschatstraße	-0,05	-0,17		2,29	-0,67	-0,33	2,40	-1,13				
O Traun	0,04	-0,09		0,42	-0,34	0,07	-3,53	-0,16				
S Salzburg Lehen	0,47	0,36		0,47	0,47	0,47	1,85	-0,57				
St Graz Don Bosco	-0,10	0,45		0,35	-0,33	-2,61	-10,45	-2,25				
St Graz Nord	0,40	0,47		0,82	-0,02	0,43	-0,06	-0,18				
St Graz West	1,16	0,95		1,91	0,47	1,66	1,40	0,93				
T Innsbruck Reichenau	*	1,29	1,43	*	3,28	-0,10	*	4,52	7,31	0,17		
T Innsbruck Zentrum	*	2,48	2,89	*	4,68	*	1,85	*	4,71	5,83	*	2,43
W Wien Belgradplatz		0,22	0,09		0,73	-0,11	-1,06	-0,98	-0,65			
W Wien Floridsdorf		0,48	0,42		0,90	0,24	0,01	-0,08	0,48			
W Wien Hermannskogel		-0,17	-0,03		-0,03	-0,10	-0,18	-0,15	-0,06			
W Wien Hohe Warte		0,46	0,48		0,41	0,55	0,36	-0,82	0,37			
W Wien Kaiserebersdorf		0,47	0,42		1,41	0,12	0,02	0,61	0,08			
W Wien Kandlerstraße		0,19	0,10		0,75	0,17	-1,19	-1,66	0,09			
W Wien Laaer Berg		1,23	1,20		2,06	0,98	0,89	0,87	0,60			
W Wien Liesing		0,85	0,61		1,38	-0,12	0,68	0,36	0,20			

Bundesland, Messstation	Stickstoffdioxid (NO ₂) – µg/m ³ pro Jahr						Stickoxide (NO _x) – µg/m ³ pro Jahr						
	JMW		WMW		SMW		JMW		WMW		SMW		
	*	Stg.	L. R.	*	Stg.	*	Stg.	*	Stg.	*	Stg.	*	Stg.
W Wien Lobau		0,52	0,44		0,87		0,38		0,61		0,96		0,52
W Wien Schafbergbad		0,17	0,17		0,69		0,10		0,13		-0,46		0,08
W Wien Stadlau		0,83	0,68		0,63		0,84		1,20		0,15		1,11
W Wien Stephansplatz		0,59	0,41		0,44		0,50		0,19		-0,10		0,49
W Wien Währinger Gürtel		0,34	0,59		1,05		0,54		-0,25		1,85		0,32
Kleine Städte (10.000–80.000 EinwohnerInnen)													
B Eisenstadt	*	0,92	1,03		1,07		0,75	*	0,92		2,00		1,74
K Villach Tirolerbrücke	**	0,56	1,05		2,10		-0,34	**	0,56		4,29		-0,52
K Wolfsberg Hauptschule	*	2,59	2,13		1,73	*	1,49	*	2,59		1,33		1,07
N Amstetten		-0,27	-0,35		0,33		-0,20		-0,27		-1,57		-0,28
N Bad Vöslau Gainfarn		0,28	0,12		-0,43		-0,10		0,28		-1,02		-0,06
N Klosterneuburg Wiesentgasse		-0,02	0,01		-0,50		-0,22		-0,02		0,40		0,51
N Krems		-0,34	-0,06		-0,62	*	-0,35		-0,34		-1,69		-0,17
N Mödling		0,40	0,26		0,04		-0,06		0,40		0,29		0,09
N Schwechat		1,26	1,10		1,82		0,93		1,26		1,08		0,00
N St. Pölten Eybnerstraße		0,54	0,56		0,61		-0,10		0,54		1,40		0,04
O Bad Ischl		-0,24	-0,29		0,45	*	-0,54		-0,24		-0,08		-0,68
O Braunau Zentrum		0,09	0,11		0,67		-0,43		0,09		0,73		0,18
O Steyr		-0,02	0,49		0,65		0,27		-0,02		0,10		0,25
St Bruck an der Mur		0,04	0,04	**	1,20		-0,67		0,04		1,68	*	-0,50
St Judenburg	*	0,54	0,51		0,68		-0,17	*	0,54	*	2,62		-0,16
St Köflach		0,36	0,24		1,31		-0,10		0,36		1,02		-0,04
St Leoben Donawitz		1,06	0,81		1,63		0,61		1,06		1,32		1,40
St Leoben Göss		0,71	0,51	**	1,57		-0,08		0,71	*	-4,50	*	-2,68
St Leoben Zentrum		0,30	0,26		1,11		-0,26		0,30		0,40		0,14
St Voitsberg Mühlgasse		0,36	0,23		0,35		0,21		0,36		-1,20		-0,70
St Weiz		-0,04	-0,18		-0,08		-0,55		-0,04		-0,11		0,34
V Lustenau Wiesenrain		-0,53	-0,79		-0,68		-0,77		-0,53		0,98		-1,22
Dörfer und ländliche Messstationen													
B Kittsee		0,23	0,12		0,24		0,45		0,18		0,19		0,49
B Oberwart Brunnenfeld	*	0,88	0,93	*	1,44		0,85	*	1,32		1,27	*	0,94
K Arnoldstein Gailitz 2		0,65	0,81		0,33		0,42		0,00		0,00		0,00
K Obervellach Schulzentrum		0,71	0,52		0,82		-0,01		0,27		0,11		-0,10
K St. Georgen im Lavanttal		0,38	0,46		1,59		0,04		0,32		1,49		-0,24
K Wietersdorf Pemberg		0,27	0,23		0,40		0,37		0,55		0,00		0,27
N Dunkelsteinerwald		-0,02	-0,04		-0,23		-0,19		0,02		-0,11		-0,21
N Forstthof am Schöpfl		0,08	0,07		0,69		-0,24		0,30		0,24		-0,14
N Gänserndorf		-0,37	-0,41		-0,21		-0,54		-0,53		-0,22		-0,51
N Hainburg		0,08	-0,01		0,14		0,05		0,02		-0,03		0,07
N Heidenreichstein		-0,20	-0,23		-0,05		-0,29		-0,24		-0,10		-0,29
N Payerbach Kreuzberg	*	-0,54	-0,61		-0,68	*	-0,51	**	-0,68		-1,14	*	-0,56
N Pöchlarn		0,02	0,01		0,50		-0,31		-0,08		-0,11		0,05
N Stixneusiedl		-0,03	-0,14		0,62		-0,06		-0,26		0,43		-0,19
N Waidhofen a. d. Ybbs Arzberg		0,27	0,26		0,82	*	-0,46		-0,26		1,13	*	-0,71



Bundesland, Messstation	Stickstoffdioxid (NO ₂) – µg/m ³ pro Jahr						Stickoxide (NO _x) – µg/m ³ pro Jahr						
	JMW		WMW		SMW		JMW		WMW		SMW		
	*	Stg.	L. R.	*	Stg.	*	Stg.	*	Stg.	*	Stg.	*	Stg.
N Wolkersdorf		0,05	0,04		-0,91		-0,13		0,07		-1,72		-0,19
O Grünbach bei Freistadt		0,23	0,24	*	0,50		0,17		-0,30		0,15		-0,26
O Lenzing	*	1,32	1,01	*	1,44		0,47		0,94		1,40		0,27
S Haunsberg		0,25	0,21		0,10		0,17		0,42		0,00		0,05
S Tamsweg Untere Postgasse		0,48	0,55	*	0,78		-0,15		1,36	*	2,23		-0,98
S Zederhaus	*	0,64	0,64		1,42		0,44		0,00		0,01		0,97
St Bockberg		0,30	0,34		0,33		-0,15		0,42		0,21		0,02
St Gratwein		0,76	0,61	*	0,91		0,15		0,79		1,11	*	0,38
St Hartberg	*	0,84	0,90		1,16		0,65		1,49		0,48		0,61
St Hochgössnitz		-0,47	-0,30		-0,51		-0,07		-0,24		-0,41		0,08
St Judendorf Süd		0,16	0,31		1,22		-0,18		0,30		0,27		-0,15
St Liezen		0,08	0,07		0,50		-0,13		0,23		-0,29		-0,42
St Masenberg		0,49	0,51		0,73		0,52		0,44		0,40		0,50
St Straßengel Kirche		0,10	0,14		-0,11		-0,01		0,71		-0,45		0,73
T Kramsach Angerberg	**	1,17	1,13	*	2,37		0,07	*	1,19		5,07		0,08
T Nordkette (Seegrube)		0,01	0,03		0,14		-0,01		0,17	*	0,43		0,02
T Vomp An der Leitern	*	2,15	2,17	*	4,60		0,46		0,87		0,00	*	-3,09
O Enzenkirchen im Sauwald		0,11	0,22	*	0,36		-0,18		0,28	*	0,82		-0,24
K Illmitz am Neusiedler See		0,18	0,20		0,69		0,04		0,19		0,75		0,08
N Pillersdorf bei Retz		0,24	0,18		0,29		0,06		0,34		0,44		0,25
T St. Sigmund im Sellrain		0,17	0,12		0,12		0,18		0,14	*	0,21		0,21
K Vorhegg		0,20	0,22	*	0,42	*	0,18		0,18		0,41		0,15
O Zöbelboden	*	0,38	0,37		0,52	*	0,41	*	0,32		0,35	*	0,35

*..... Signifikanz nach Mann-Kendall-Test

Stg..... Steigung laut Parameterschätzung nach Sen (µg/m³ pro Jahr)

L. R. Steigung laut linearer Regression (µg/m³ pro Jahr)

Tabelle 20: Trendanalyse 2001–2006, NO₂/NO_x und Ozon.

	NO ₂ /NO _x – % pro Jahr						Ozon (O ₃) – µg/m ³ pro Jahr					
	JMW		WMW		SMW		JMW		WMW		SMW	
Bundesland, Messstation	*	Stg.	L. R.	*	Stg.	*	Stg.	*	Stg.	*	Stg.	
Verkehrsnahe Messstationen												
K Klagenfurt Völkermarkter Str.	*	1,0 %	1,3 %	*	1,5 %		1,1 %					
K St. Andrä i.L. Volksschule		-0,3 %	-0,3 %		-0,6 %		-0,1 %					
K St. Veit a.d.Glan Oktoberplatz		3,2 %	3,2 %	*	4,5 %		3,4 %					
K Villach Tirolerbrücke								-0,69	-0,01		-1,11	
N Vösendorf		-0,8 %	-0,9 %		0,0 %		-1,1 %					
O Linz Kleinmünchen		0,1 %	0,3 %	*	1,5 %		-0,1 %					
O Linz Neue Welt		1,0 %	1,1 %	*	2,2 %		0,8 %					
O Linz ORF-Zentrum		0,5 %	0,6 %	*	1,6 %		0,4 %					
O Linz Römerbergtunnel	*	1,6 %	1,5 %	**	2,3 %	*	1,2 %					
O Wels Linzerstraße		0,5 %	0,6 %	*	1,2 %		-0,2 %					
S Hallein B159 Kreisverkehr	*	0,9 %	0,9 %		1,1 %		0,7 %	0,04	1,13		-1,11	
S Salzburg Mirabellplatz		0,3 %	0,3 %		0,9 %		0,2 %					
S Salzburg Rudolfsplatz	**	1,0 %	1,0 %		1,1 %	*	1,1 %					
T Gärberbach A13	*	1,2 %	1,1 %		1,3 %		0,9 %					
T Hall i.T. Münzergasse		1,0 %	1,1 %	*	1,4 %	*	1,8 %					
T Lienz Amlacherkreuzung	*	1,0 %	1,0 %		2,7 %		0,9 %					
T Vomp A12	*	1,3 %	1,3 %		1,1 %	*	1,4 %					
T Wörgl Stelzhamerstraße		3,0 %	3,0 %				1,1 %					
V Feldkirch Bärenkreuzung	*	2,3 %	2,3 %		1,0 %	*	2,2 %					
W Wien Gaudenzdorf		0,8 %	0,8 %		1,3 %		-0,3 %					
W Wien Hietzinger Kai	*	1,5 %	1,5 %	*	1,7 %		1,2 %					
W Wien Rinnböckstraße	**	1,5 %	1,5 %	*	2,0 %		0,8 %					
Große Städte (> 80.000 EinwohnerInnen)												
K Klagenfurt Koschatstraße		0,0 %	-0,3 %		0,3 %		0,6 %	-1,71	*	-1,59		-1,27
K Klagenfurt Kreuzbergl								-0,28		0,15		-1,22
O Steyregg Weih								1,22	*	2,63		0,41
O Traun		0,3 %	0,5 %	*	2,0 %		-0,6 %	0,07	*	1,11		-0,82
S Salzburg Lehen		-0,1 %	0,0 %	*	1,6 %		-0,2 %	-0,12		-0,26		-1,18
St Graz Don Bosco	*	1,0 %	1,1 %	*	1,6 %		0,2 %					
St Graz Nord		0,4 %	0,7 %		1,2 %		0,5 %	-1,19		0,06		-2,07
St Graz Platte								-0,31		1,29		-2,11
St Graz Schloßberg								-0,87		-0,12		-3,25
St Graz West		0,4 %	0,4 %		0,2 %		-0,7 %					
T Innsbruck Reichenau		-0,2 %	-0,4 %		0,8 %		-0,5 %	0,23		-0,33		0,22
T Innsbruck Zentrum		0,6 %	0,8 %	*	1,2 %		0,1 %	-0,06		-0,21		-0,33
W Wien Belgradplatz		1,0 %	1,0 %	*	1,6 %		0,8 %					
W Wien Floridsdorf		0,7 %	0,7 %		0,8 %		0,2 %					
W Wien Hermannskogel		0,2 %	0,2 %		0,7 %		-0,5 %	1,19	*	1,73		0,50
W Wien Hohe Warte		1,6 %	1,0 %		1,5 %		0,9 %	0,92	*	1,54		0,19
W Wien Kaiserebersdorf		0,8 %	0,8 %		0,8 %		0,3 %					
W Wien Kendlerstraße		0,3 %	0,4 %	*	1,9 %		0,4 %					

Bundesland, Messstation	NO ₂ /NO _x – % pro Jahr						Ozon (O ₃) – µg/m ³ pro Jahr						
	JMW		WMW		SMW		JMW		WMW		SMW		
	*	Stg.	L. R.	*	Stg.	*	Stg.	*	Stg.	*	Stg.	*	Stg.
W Wien Laaer Berg	*	1,4 %	1,3 %		1,2 %		0,4 %		0,51		1,06		-0,02
W Wien Liesing	*	0,6 %	0,5 %		0,5 %		0,5 %						
W Wien Lobau		0,3 %	0,3 %		0,8 %		0,0 %		0,21		1,30		-0,69
W Wien Schafbergbad		-0,2 %	0,2 %		0,7 %		-0,9 %						
W Wien Stadlau		0,1 %	0,2 %	*	1,2 %		0,2 %						
W Wien Stephansplatz		0,7 %	0,7 %		2,0 %		-0,6 %		-0,58		0,86		-2,00
W Wien Währinger Gürtel		1,4 %	1,4 %		-0,1 %		0,2 %						
Kleine Städte (10.000–80.000 EinwohnerInnen)													
B Eisenstadt		0,8 %	0,6 %		0,5 %		0,5 %		-0,68		0,71		-1,33
K Spittal a.d. Drau									-0,22		0,26		-0,16
K Villach Tirolerbrücke	*	1,1 %	1,2 %		1,1 %		0,8 %						
K Wolfsberg Hauptschule	*	1,5 %	2,2 %	*	1,7 %		2,8 %		-0,32		0,81		-1,50
N Amstetten		0,1 %	0,4 %		1,5 %		-0,6 %		0,85	*	2,19		0,64
N Bad Vöslau-Gainfarn		-0,3 %	-0,2 %		0,8 %		-0,6 %						
N Klosterneuburg Wiesentgasse		-0,8 %	-1,0 %		-0,4 %		-1,5 %		0,38		1,84		-0,32
N Krems		0,0 %	0,1 %	**	1,2 %		-0,8 %		1,51	*	3,82		0,68
N Mödling		-0,4 %	-0,6 %		-0,4 %		-1,1 %		0,37		0,25		-0,55
N Schwechat			0,4 %	*	1,0 %								
N St. Pölten Eybnerstrasse		0,2 %	0,2 %		0,6 %		0,1 %		0,10		0,79		0,27
N Ternitz									0,91	*	1,24		0,03
N Waidhofen an der Ybbs									0,09		1,35		-1,46
N Wiener Neustadt									-0,25		0,89		-1,18
O Bad Ischl		-0,2 %	-0,2 %		0,5 %		-1,3 %						
O Braunau Zentrum		-0,3 %	-0,4 %		1,2 %		-0,4 %		1,26		0,97		0,56
O Steyr		0,2 %	0,0 %		1,2 %		-0,6 %		*	0,68	*	1,62	0,00
S Hallein Winterstall									-0,48	*	1,98		-0,40
S St. Johann im Pongau									-0,05		-0,42		-0,84
St Bruck an der Mur		0,1 %	0,0 %		0,8 %		-0,5 %						
St Judenburg		-0,8 %	-0,5 %		-0,4 %		-0,2 %		-0,86		0,07		-0,47
St Köflach		0,1 %	0,2 %		1,5 %		-1,1 %						
St Leoben Donawitz		-0,1 %	0,2 %		1,7 %		-1,9 %						
St Leoben Göss	*	2,6 %	2,5 %	**	2,7 %	*	2,3 %						
St Leoben Zentrum		-0,1 %	0,1 %		1,7 %		-1,2 %		-0,01		-0,15		-1,36
St Voitsberg Mühlgasse		1,3 %	1,7 %		1,4 %		1,9 %		-1,24	**	1,37		-0,92
St Weiz	*	-0,6 %	-0,7 %		0,5 %		-1,4 %		0,51		0,06		-2,14
T Kufstein Festung									0,46	*	1,67		-0,09
T Lienz Sportzentrum									-0,48		0,41		0,40
V Lustenau Wiesenrain	*	-1,3 %	-1,2 %		-1,3 %		0,2 %		0,99		1,06		-0,36
Dörfer und ländliche Messstationen													
B Kittsee		0,1 %	0,1 %		0,3 %		-1,4 %		0,73	**	2,00		-0,23
B Oberwart-Brunnenfeld		2,4 %	1,0 %	*	3,0 %		0,8 %		-1,08		1,42		-2,38
K Bleiburg Koschatstraße									-0,84		-0,23		-1,40
K Gerlitz Steinturm									-0,16		-0,74		0,14
K Oberdrauburg									-1,01		-0,24		-1,27

Bundesland, Messstation	NO ₂ /NO _x – % pro Jahr						Ozon (O ₃) – µg/m ³ pro Jahr						
	JMW		WMW		SMW		JMW		WMW		SMW		
	*	Stg.	L. R.	*	Stg.	*	Stg.	*	Stg.	*	Stg.	*	Stg.
K Obervellach Schulzentrum	*	0,8 %	0,8 %		1,8 %		-0,2 %		0,07		0,92		-1,02
K Soboth Forsthaus									-0,42		-1,00		-1,13
K St. Georgen im Lavanttal		1,1 %	1,2 %		3,2 %		2,0 %		-1,13		0,37		-2,89
K Wietersdorf Pemberg		0,4 %	0,6 %				0,0 %	*	-1,47		-0,99		-2,69
Annaberg – Joachimsberg									0,00		0,89		-1,03
Bad Vöslau Gainfarn									0,64		1,59		0,24
N Dunkelsteinerwald		-0,5 %	-0,5 %		-0,2 %		-1,8 %						
N Forstthof am Schöpfl	*	-1,1 %	-1,1 %		0,1 %		-1,8 %		1,65		2,51		1,23
N Gänserndorf		-0,4 %	-0,6 %		0,1 %		-1,2 %		0,92		1,87		0,58
N Hainburg		0,1 %	0,1 %		0,4 %		-0,3 %		1,00	*	2,16		0,00
N Heidenreichstein	*	-0,4 %	-0,5 %		0,5 %		-1,1 %		0,53		1,72		0,23
N Himberg									0,69		0,54		0,03
N Irnfritz									1,42	*	1,64		0,57
N Kollmitzberg									1,49		2,27		0,50
N Payerbach Kreuzberg		-1,6 %	-1,4 %		0,7 %	*	-2,7 %						
N Pöchlarn		0,0 %	-0,2 %		0,8 %		-1,2 %		0,60	*	2,09		0,01
N Stixneusiedl		0,5 %	0,5 %		1,3 %		0,6 %		1,05	*	2,07		0,32
N Waidhofen a. d. Ybbs			1,4 %		1,9 %		-0,4 %						
N Wolkersdorf		0,2 %	0,0 %		0,3 %		-0,8 %		1,07		1,92		0,52
O Grünbach bei Freistadt	**	6,4 %	6,1 %	*	2,7 %	**	8,2 %		0,84	*	1,32		-0,16
O Lenzing		1,6 %	1,4 %		1,1 %	*	1,6 %		0,36		0,97		0,50
O Schöneben									0,50	*	1,18		-0,29
S Haunsberg		-0,8 %	-0,7 %				-0,5 %		-0,01		0,20		-0,52
S St. Koloman Kleinhorn									0,09		-0,13		-0,29
S Zell am See									-0,57		0,87		-0,99
S Sonnblick									-0,11		-0,36		-0,22
S Tamsweg Untere Postgasse			-0,2 %		0,3 %		1,8 %						
S Zederhaus			0,5 %	**	0,6 %		-0,2 %						
St Arnfels-Remschnigg									-0,23		0,39		-1,25
St Gratwein		0,3 %	0,3 %		1,1 %		-0,4 %						
St Hartberg		0,6 %	0,5 %		1,8 %		0,2 %		-0,44	*	1,02		-1,28
St Hochgössnitz		0,6 %	-0,8 %		0,1 %		-0,4 %		-0,30		-0,82		-1,41
St Hochwutzen									-0,38		-0,74		-0,94
St Judendorf Süd		0,6 %	0,4 %	*	1,5 %		-0,2 %						
St Liezen		-0,3 %	-0,1 %		0,7 %		0,1 %		0,14		0,51		-1,55
St Masenberg		2,3 %	3,0 %		1,0 %		4,1 %		-0,10		-0,07		-1,43
St Rennfeld									-1,46		-0,70		-2,16
St Straßengel Kirche		0,2 %	0,1 %		1,3 %		-0,6 %						
T Höfen Lärchbichl									0,68		1,29		-0,16
T Karwendel West									-0,81		-0,04		-1,33
T Kramsach Angerberg		1,0 %	1,0 %		0,8 %		-0,2 %		0,25		0,23		-0,23
T Nordkette (Seegrube)		-1,0 %	-1,0 %	**	-1,9 %		-0,4 %		-0,34		0,32		-1,16
T St. Sigmund im Sellrain									0,09		0,59		-0,44
T Vomp – An der Leiten	*	1,3 %	1,3 %			*	2,0 %						



Bundesland, Messstation	NO ₂ /NO _x – % pro Jahr						Ozon (O ₃) – µg/m ³ pro Jahr					
	JMW		WMW		SMW		JMW		WMW		SMW	
	* Stg.	L. R.	* Stg.	L. R.	* Stg.	L. R.	* Stg.	L. R.	* Stg.	L. R.	* Stg.	L. R.
T Zillertaler Alpen							-1,16		-0,59		-1,46	
O Enzenkirchen im Sauwald	-0,5 %	-0,1 %		0,1 %		-0,5 %	0,89	**	1,62		0,34	
K Illmitz am Neusiedler See	0,1 %	0,1 %		-0,1 %		0,6 %	0,65	*	1,43		0,06	
N Pillersdorf bei Retz	* -0,6 %	-0,5 %		-0,3 %		-0,8 %	1,47	*	1,91		0,26	
T St. Sigmund im Sellrain	-0,8 %	-0,7 %		-1,9 %		0,1 %						
K Vorhegg	1,3 %	1,6 %		1,0 %		1,1 %	0,79	*	1,18		1,17	
O Zöbelboden	* 2,3 %	2,2 %	*	2,4 %		2,9 %						

*..... Signifikanz nach Mann-Kendall-Test

Stg..... Steigung laut Parameterschätzung nach Sen (% pro Jahr bzw. µg/m³ pro Jahr)

L. R. Steigung laut linearer Regression

Tabelle 21: Trendanalyse 1998–2006, NO₂ und NO₂/NO_x.

Bundesland, Messstation	Mann-Kendall-Test		t-Test			
	NO ₂		NO ₂		NO ₂ /NO _x	
	* Stg.	L. R.	* Differenz	L. R.	* Differenz	L. R.
Verkehrsnaher Messstationen						
K Klagenfurt Völkermarkter Str.		0,50	* 2,92			0,04
K St. Andrä i. L. Volksschule	*	0,70	2,79		*	-0,04
K St. Veit a. d. Glan Oktoberplatz		0,19	1,88		**	0,19
N Tulln Wilhelmstraße			-0,32			-0,04
O Linz Kleinmünchen		0,12	2,09			0,02
O Linz Römerbergtunnel			** 3,99			0,04
O Wels Linzerstraße		-0,01	0,11			0,00
S Hallein B159 Kreisverkehr	**	0,97	* 6,24			0,00
S Salzburg Mirabellplatz		0,26	1,10			0,02
S Salzburg Rudolfplatz	**	0,70	* 4,02		*	0,05
T Gärberbach A13	*	0,97	** 5,75		*	0,05
T Hall i. T. Münzergasse	*	0,72	3,31		**	0,05
T Lienz Amlacherkreuzung	*	0,45	2,12			0,02
T Vomp A12	**	1,40	* 6,99		*	0,05
W Wien Taborstraße			-1,33			0,01
W Wien Gaudenzdorf		-0,04	-1,13			-0,01
W Wien Hietzinger Kai		1,08	* 5,46		*	0,05
W Wien Rinnböckstraße	*	0,50	2,31		**	0,06
Große Städte (> 80.000 EinwohnerInnen)						
K Klagenfurt Koschatstraße		0,13	1,12			0,02
O Traun			* 1,95			0,06
S Salzburg Lehen	*	0,50	* 2,86		*	-0,05
St Graz Mitte			0,54		*	0,05
St Graz Nord	*	0,14	0,72			0,05

Bundesland, Messstation	Mann-Kendall-Test		t-Test	
	NO ₂		NO ₂	NO ₂ /NO _x
	*	Stg.	* Differenz	* Differenz
St Graz West		0,21	0,90	0,00
T Innsbruck Reichenau	*	0,43	* 3,19	0,01
T Innsbruck Zentrum	*	0,91	* 5,11	* 0,04
W Wien Belgradplatz		0,14	0,65	0,01
W Wien Floridsdorf	**	0,35	1,92	0,08
W Wien Hermannskogel		-0,15	-0,94	0,01
W Wien Hohe Warte		-0,06	-1,92	0,03
W Wien Kaiserebersdorf		0,08	0,05	0,00
W Wien Kandlerstraße		0,21	0,59	0,02
W Wien Laaer Berg		0,19	0,76	0,02
W Wien Liesing		0,12	0,35	** 0,04
W Wien Lobau		0,15	0,75	0,05
W Wien Schafbergbad		-0,09	-1,02	0,01
W Wien Stadlau		0,22	-0,40	-0,01
W Wien Stephansplatz		0,31	-0,04	0,01
W Wien Währinger Gürtel		-0,02	-0,30	0,03
Kleine Städte (10.000–80.000 EinwohnerInnen)				
B Eisenstadt			2,08	0,01
K Villach Tirolerbrücke	*	0,34	2,21	0,05
K Wolfsberg Hauptschule		0,18	0,35	-0,01
N Bad Vöslau Gainfarn		-0,25	-4,07	-0,03
N Klosterneuburg Wiesentgasse			0,06	-0,02
N Krems			-0,58	0,03
N Mödling			* -2,72	0,02
N St. Pölten Eybnerstraße		-0,18	-0,91	0,00
N Wiener Neustadt			1,14	0,03
O Bad Ischl		-0,07	1,09	-0,02
O Steyr		0,22	1,28	0,06
St Judenburg		0,13	0,68	-0,04
St Kapfenberg			1,56	0,02
St Köflach			1,61	0,05
St Leoben Donawitz		0,10	1,07	0,03
St Leoben Göss		0,21	1,24	** 0,09
St Leoben Zentrum		-0,33	-2,31	0,01
St Weiz		0,04	0,39	-0,06
V Lustenau Wiesenrain	*	-0,33	* -2,79	-0,03
Dörfer und ländliche Messstationen				
K Obervellach Schulzentrum		0,10	0,45	-0,02
K St. Georgen im Lavanttal	**	0,34	* 2,04	0,02
K Wietersdorf Pemberg			* 2,71	* 0,08



Bundesland, Messstation	Mann-Kendall-Test		t-Test	
	NO ₂	NO ₂	NO ₂	NO ₂ /NO _x
	* Stg.	* Differenz	* Differenz	
N Dunkelsteinerwald	-0,16	-1,85		0,02
N Forsthoﬀ am Schöpl	-0,30	* -2,45		0,07
N Gänserndorf	* -0,11	-1,11		-0,02
N Hainburg	0,06	0,05		-0,01
N Heidenreichstein	** -0,16	* -1,24	* 0,03	
N Neusiedl im Tullnerfeld		0,54		0,00
N Payerbach Kreuzberg	* -0,26	-1,32		0,06
N Stixneusiedl	-0,07	-0,52	* 0,05	
N Streithofen		1,29	* 0,03	
N Traismauer		0,52		0,01
N Tulbinger Kogel		0,40		0,02
N Wolkersdorf	-0,29	* -2,47	* 0,14	
O Grünbach bei Freistadt	0,03			
O Lenzing		3,03		-0,01
S Tamsweg Untere Postgasse	0,14	0,97		0,02
St Hartberg	0,19	0,84		0,01
St Judendorf Süd		1,29		0,01
St Liezen	0,15	0,91		-0,02
St Masenberg	0,04	0,04		0,07
St Peggau		-0,72		0,02
St Straßengel Kirche	0,24	0,50		0,00
St Zeltweg		-0,29	* -0,05	
T Nordkette (Seegrube)	0,02	0,13		0,05
N Pillersdorf bei Retz	* 0,09	0,47		0,00
St Stolzalpe		0,38		0,08

*..... Signifikanz nach Mann-Kendall-Test bzw. t-Test

Stg..... Steigung laut Parameterschätzung nach Sen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ pro Jahr)

Differenz..... Differenz zwischen den Mittelwerten der Perioden 1998–2000 und 2004–2006 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. %)

Tabelle 22: Trendanalyse 1990–2000, NO₂ und NO_x.

	NO ₂ – µg/m ³ pro Jahr			Stickoxide (NO _x) – µg/m ³ pro Jahr		
	JMW	WMW	SMW	JMW	WMW	SMW
Bundesland, Messstation	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.
Verkehrsnahе Messstationen						
S Salzburg Rudolfsplatz	** –3,74	* –3,87	** –3,80	** –27,14	** –16,41	** –11,49
S Hallein B159 Kreisverkehr	–1,15	–1,44	* –1,82	* –11,48	–7,52	* –5,42
T Hall i. T. Münzergasse	–1,29	–0,77	* –1,32	* –10,84	–6,45	** –2,52
W Wien Hietzinger Kai	–0,96	–0,61	–1,01	** –28,83	** –17,89	** –12,49
W Wien Rinnböckstraße	*** –1,11	* –0,81	** –1,58	** –9,43	** –6,57	** –3,43
Große Städte (> 80.000 EinwohnerInnen)						
St Graz Nord	–0,67	* –1,16	–0,91	* –1,69	–1,96	–0,66
St Graz West	** –1,97	** –1,77	** –1,67	** –8,61	* –5,83	** –2,35
T Innsbruck Reichenau	–0,46	0,39	* –0,52	* –8,56	–3,96	** –1,25
T Innsbruck Zentrum	–0,40	–0,21	–1,05	** –8,59	–4,09	** –2,72
W Wien Belgradplatz	–1,02		* –1,30			** –2,68
W Wien Floridsdorf	–0,35		–0,30			** –2,04
W Wien Hermannskogel	–0,22		0,03			–0,24
W Wien Hohe Warte	–0,37	0,34	–0,56	* –4,91	* –1,98	* –1,44
W Wien Laaer Berg	** –0,60		** –0,72	** –5,87	–3,30	** –1,89
W Wien Liesing	** –0,83		–0,79	* –3,29		–0,81
W Wien Lobau	* –0,37		–0,36			* –0,59
W Wien Stadlau	–0,06		–0,54	** –5,55		** –2,17
W Wien Währinger Gürtel	*** –0,89	–0,50	** –1,26	** –4,83	** –3,30	** –1,89
Kleine Städte (10.000–80.000 EinwohnerInnen)						
St Judenburg	* –0,90	–0,89	* –0,73		* –1,38	
V Lustenau Wiesenrain	** –1,16	–0,88	** –1,50	** –5,43	* –2,76	** –2,58
Dörfer und ländliche Messstationen						
N Dunkelsteinerwald	–0,36	–0,44	–0,11	–0,66	–0,62	
N Gänserndorf	** –0,92	* –1,01	* –0,60		** –1,61	
T Nordkette (Seegrube)	* –0,28	–0,13	* –0,39	* –0,95	–0,26	** –0,45

*..... Signifikanz nach Mann-Kendall-Test

Stg..... Steigung laut Parameterschätzung nach Sen (µg/m³ pro Jahr)



Tabelle 23: Trendanalyse 1990–2000, NO₂/NO_x und Ozon.

Bundesland, Messstation	NO ₂ /NO _x – % pro Jahr						Ozon (O ₃) – µg/m ³ pro Jahr					
	JMW		WMW		SMW		JMW		WMW		SMW	
	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	
Verkehrsnahе Messstationen												
S Salzburg Rudolfsplatz		0,2 %		–0,1 %		0,1 %						
S Hallein B159 Kreisverkehr		0,2 %		0,8 %		0,6 %						
T Hall i.T. Münzergasse		0,1 %		0,2 %		–0,4 %						
W Wien Hietzinger Kai	*	0,8 %	*	0,9 %		0,6 %						
W Wien Rinnböckstraße	**	0,9 %	**	1,3 %	*	0,6 %						
Große Städte (> 80.000 EinwohnerInnen)												
O Traun								0,05				0,27
O Steyregg Weih								*	1,21			
S Salzburg Lehen								0,66	1,09			0,54
St Graz Nord		0,0 %		–0,1 %		–0,4 %						
St Graz West		0,1 %		0,3 %		0,0 %						
T Innsbruck Reichenau	*	0,9 %		0,7 %		0,9 %		0,26	0,50			–0,23
T Innsbruck Zentrum	*	0,6 %	*	0,7 %		0,6 %						
W Wien Belgradplatz						1,3 %						
W Wien Floridsdorf						* 2,4 %						
W Wien Hermannskogel						1,3 %						
W Wien Hohe Warte	**	1,7 %	*	1,7 %		1,8 %						
W Wien Kaiserebersdorf						0,9 %						
W Wien Laaer Berg	**	1,5 %				* 1,2 %						
W Wien Liesing		0,0 %				–1,0 %						
W Wien Lobau						1,5 %						
W Wien Stadlau		1,9 %				* 1,8 %						
W Wien Währinger Gürtel	**	1,1 %	**	1,3 %	**	0,9 %						
Kleine Städte (10.000–80.000 EinwohnerInnen)												
N Wiener Neustadt								*	1,27	**	1,64	1,68
S Hallein Winterstall											1,66	
St Judenburg				0,5 %								
V Lustenau Wiesenrain		0,8 %		0,9 %		1,1 %		–0,06	0,38			–0,06
Dörfer und ländliche Messstationen												
B Illmitz								*	0,70	*	0,92	0,44
N Forsthoф am Schöpfel								–0,50				–1,16
N Dunkelsteinerwald	*	–0,3 %		–0,1 %	*	–0,6 %		–0,44				
N Gänserndorf				0,5 %								0,80
N Hainburg								0,24	*	1,06		–0,56
N Heidenreichstein								**	0,78	*	0,93	0,75
N Wolkersdorf												1,39
O Lenzing								–0,25		0,46		–0,66
O Zöbelboden									*	0,92		0,44



	NO ₂ /NO _x – % pro Jahr						Ozon (O ₃) – µg/m ³ pro Jahr					
	JMW		WMW		SMW		JMW		WMW		SMW	
Bundesland, Messstation	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	* Stg.	
S Haunsberg							0,47		1,12		0,11	
V Sulzberg Gmeind							–0,03		0,08		–0,97	
T Karwendel West							0,56		0,83		0,35	
T Nordkette (Seegrube)	–0,6 %		–0,4 %		–1,1 %		1,03		0,76		1,05	
T Zillertaler Alpen							0,61				0,33	

*..... Signifikanz nach Mann-Kendall-Test

Stg..... Steigung laut Parameterschätzung nach Sen (% pro Jahr bzw. µg/m³ pro Jahr)



Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at

www.umweltbundesamt.at

Von 2001 bis 2006 nahm die Belastung mit Stickstoffdioxid (NO₂) an den meisten verkehrsnahen Messstationen in Österreich zu. Hauptursache dafür sind steigende NO₂-Emissionen aus dem Verkehrssektor durch die gestiegene Fahrleistung, den hohen Anteil von Diesel-PKW an der Fahrzeugflotte und die Zunahme von Diesel-PKW mit Abgasnachbehandlungssystemen in Österreich. Diese Fahrzeuge verursachen hohe direkte NO₂-Emissionen. Aktuelle Berechnungen von emittierten Schadstoffen pro gefahrenem Kilometer zeigen, dass die Stickoxid-Emissionen (NO_x) der österreichischen Fahrzeuge aufgrund technischer Verbesserungen abnehmen, die NO₂-Emissionen jedoch ansteigen.

Prognosen bis zum Jahr 2020 ergeben, dass selbst bei gleich bleibender Verkehrsleistung die NO₂-Immissionen nur geringfügig sinken und die gültigen Grenzwerte ohne weitere Maßnahmen nicht eingehalten werden können.