

**Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG**

**Immissionsschutz, Klima,
Aerodynamik, Umweltsoftware**

Mohrenstraße 14, D-01445 Radebeul

Telefon: +49 (0) 351 / 8 39 14 - 0

E-Mail: info.dd@lohmeyer.de

URL: www.lohmeyer.de

TENDENZEN DER NO₂-BELASTUNG IM LAND BRANDENBURG - KURZFASSUNG -

Auftraggeber: Ministerium für Ländliche Entwicklung,
Umwelt und Verbraucherschutz des
Landes Brandenburg
Heinrich-Mann-Allee 103
14473 Potsdam

Dr. rer. nat. I. Düring

Dr.-Ing. W. Bächlin

Unter Mitarbeit von IFEU GmbH, Heidelberg, dem Planungsbüro Dr. Hunger, Dresden und
des Dänischen National Environmental Research Institute (NERI), Roskilde

Dezember 2009
Projekt 70500-08-10_kurz
Berichtsumfang 18 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

1	AUFGABENSTELLUNG	1
2	ERGEBNISSE	2
2.1	Kennzeichenerfassung	2
2.2	Emissionen	3
2.3	Trend der NO ₂ -Messdaten im Vergleich zum bundesdeutschen Durchschnitt.....	5
2.4	Trend städtische Ozonkonzentrationen	6
2.5	Abschätzung des primären NO ₂ -Emissionsanteils am NO _x	6
2.6	Modellrechnungen für die Bahnhofstraße in Cottbus	6
2.6.1	Ergebnis Basisszenario	7
2.6.2	Ergebnis Szenarienrechnungen	8
2.7	Trend der NO ₂ -Jahresmittelwerte für Zeppelinstraße und Leipziger Straße	9
2.8	NO/NO ₂ -Konversionsmodell	10
2.9	Vergleich der Erkenntnisse aus dieser Arbeit mit den Ergebnissen der Luftreinhaltepläne	11
2.10	Schlussfolgerungen für die Luftreinhaltepläne	14
3	LITERATUR	18

Hinweise:

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

Literaturstellen sind im Text durch Name und Jahreszahl zitiert. Im Kapitel Literatur findet sich dann die genaue Angabe der Literaturstelle.

Es werden Dezimalpunkte (= wissenschaftliche Darstellung) verwendet, keine Dezimalkommas. Eine Abtrennung von Tausendern erfolgt durch Leerzeichen.

1 AUFGABENSTELLUNG

Aufbauend auf Messdaten der Konzentrationen und des Verkehrs sowie durchzuführenden Modellrechnungen sollte für drei Messstationen im Land Brandenburg, Cottbus-Bahnhofstraße, Potsdam-Zeppelinstraße und Frankfurt (Oder)-Leipziger Straße, eine vertiefte Analyse der Entwicklung der NO₂-Immissionsbelastungen unter Berücksichtigung von primären NO₂-Emissionen, Ozoneinfluss und Meteorologie durchgeführt werden, um eine valide und richtungssichere Prognose der zukünftigen Belastung durchführen zu können. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Ableitung der Wirkung von Maßnahmen im Verkehrsbereich auf die zukünftige NO₂-Immissionsbelastung notwendig.

Es sollten folgende Ziele erreicht werden:

- a) Ermittlung der Tendenzen für die NO₂-Belastung im Land Brandenburg im Vergleich zum bundesdeutschen Trend
- b) Überprüfung, Anwendung und Weiterentwicklung eines einfachen Chemiemodells zur NO₂-Berechnung im Straßenraum
- c) Prognose der Entwicklung bis 2020
- d) Schlussfolgerungen für Maßnahmen zur Minderung der NO₂-Belastung.

2 ERGEBNISSE

2.1 Kennzeichenerfassung

Die Emissionsbestimmung wurde durch IFEU Heidelberg durchgeführt. Grundlagen dafür waren die Verkehrsmengen sowie Tages- und Wochengänge des Verkehrs sowie die fahrzeugspezifischen Emissionsfaktoren. Eine wichtige Grundlage hierfür ist die Kenntnis der dynamischen Anteile der Motorkonzepte (EUROx-Normen) an der jeweiligen Fahrzeugflotte. Für den derzeitigen Bestand wurden dazu durch das Planungsbüro Dr. Hunger (Dresden) in Cottbus und Potsdam Kennzeichenerfassungen durchgeführt und die erhobenen Daten mit dem Zentralen Fahrzeugregister (ZFZR) des Kraftfahrtbundesamtes (KBA) abgeglichen. Bei dieser Kennzeichenerfassung im Herbst 2008 in Cottbus und Potsdam zeigte sich eine recht große Übereinstimmung der emissionsrelevanten Merkmale (z. B. Anteil EUROx-Normen) beim PKW-Verkehr zwischen beiden Städten (**Abb. 1**).

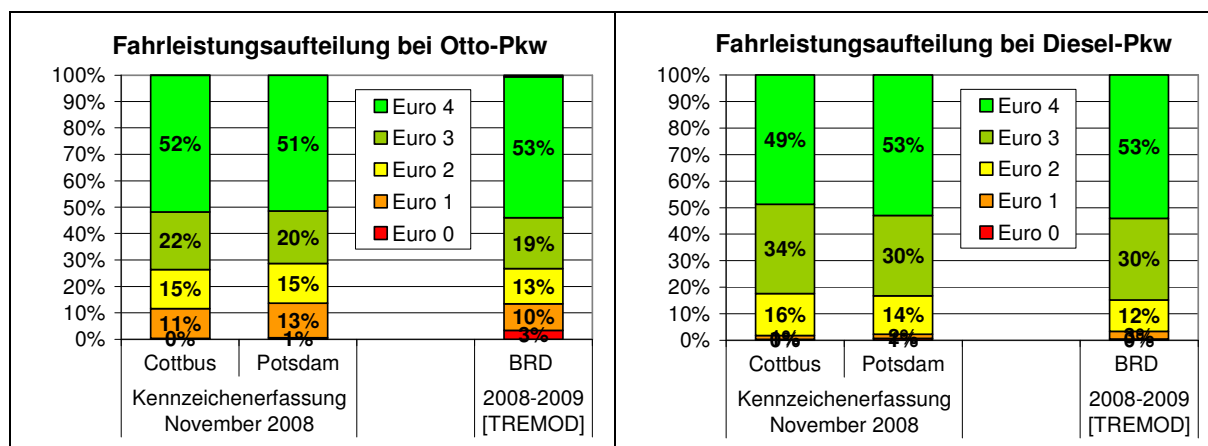


Abb. 1: Fahrleistungsaufteilung bei PKW in der Kennzeichenerfassung Ende 2008 in Cottbus und Potsdam im Vergleich zum innerörtlichen Bundesdurchschnitt

Daher erscheint für Emissionsberechnungen die Annahme einer einheitlichen PKW-Flottenstruktur in Brandenburg möglich. Der Diesel-Anteil im PKW-Verkehr lag an den in Brandenburg untersuchten Straßen ca. 10 % niedriger als der bundesdeutsche Durchschnitt (was auch dem geringeren PKW-Diesel-Anteil im Land Brandenburg entspricht). Weiterhin gab es Unterschiede in der EURO-Normen-Aufteilung bei Otto-PKW gegenüber dem Bundesdurchschnitt (**Abb. 1**).

Größere Unterschiede zwischen den beiden Städten zeigte die Kennzeichenerfassung bei Leichten Nutzfahrzeugen und LKW >3.5 t. Am größten waren die Unterschiede bei Bussen.

Diese Unterschiede bei den Fahrzeugkategorien können verschiedene Ursachen haben, z. B. unterschiedliche Bestandsstrukturen oder Anteile auswärtiger Fahrzeuge am Verkehr. Jedoch dürften die Unterschiede zumindest zum Teil auch auf statistische Unsicherheiten aufgrund der geringen Stichprobe in der Kennzeichenerfassung zurückzuführen sein. Aus diesem Grund sind auch keine sicheren Aussagen zur Flottenstruktur bei LKW und Bussen im Vergleich zum bundesdeutschen Durchschnitt möglich.

2.2 Emissionen

Für die drei untersuchten Standorte in Cottbus, Potsdam und Frankfurt/Oder wurden für die Jahre 1997 bis 2007 sowie für 2010, 2015 und 2020 NO_x - wie auch primäre NO_2 -Emissionen des lokalen Straßenverkehrs ermittelt. Eine wichtige Berechnungsgrundlage waren differenzierte Verkehrszusammensetzungen an den Standorten, u.a. auf Grundlage von Kfz-Bestands- und Neuzulassungsstatistiken von Brandenburg und Deutschland, der oben genannten Kennzeichenerfassung sowie Szenarien zur Fortschreibung der bundesweiten Verkehrs- und Flottenentwicklung mit dem Modell TREMOD (2009). Die Flottenzusammensetzung in TREMOD entspricht der deutschen Flottenzusammensetzung, die im HBEFA 3 enthalten ist.

Bei den Emissionsberechnungen wurden damit die abgeleitete Verkehrszusammensetzung sowie ortsspezifische Verkehrssituationen an den Standorten berücksichtigt. Es war ursprünglich vorgesehen, dass die Emissionsfaktoren aus dem überarbeiteten „Handbuch für Emissionsfaktoren“ genutzt werden. Das neue Handbuch lag jedoch zum Zeitpunkt der Berechnungen noch nicht vor. Deshalb wurden auf Basis von Informationen aus verschiedenen aktuellen Vorarbeiten zum Handbuch (z. B. Artemis, ERMES-Gruppe) Emissionsfaktoren vom IFEU abgeleitet und in diesem Projekt verwendet.

Die berechneten NO_x -Emissionen des Verkehrs sind im Zeitraum zwischen 1997 und 2007 an allen drei untersuchten Standorten deutlich zurückgegangen (**Abb. 2**). In Cottbus und Potsdam war der Rückgang ca. 30 %, in Frankfurt/Oder über 40 %. Während in Cottbus und Potsdam der Emissionsrückgang allein auf veränderte Flottenzusammensetzungen und damit reduzierte spezifische Emissionen zurückzuführen ist, hat in Frankfurt/Oder im gleichen Zeitraum auch das Verkehrsaufkommen abgenommen und damit den Emissionsrückgang verstärkt. In Cottbus war das NO_x -Emissionsniveau insgesamt niedriger als in Potsdam und Frankfurt/Oder, was auf einen etwas niedrigeren Gesamtverkehr, v.a. auf einen deutlich niedrigeren LKW-Verkehr in Cottbus zurückzuführen ist.

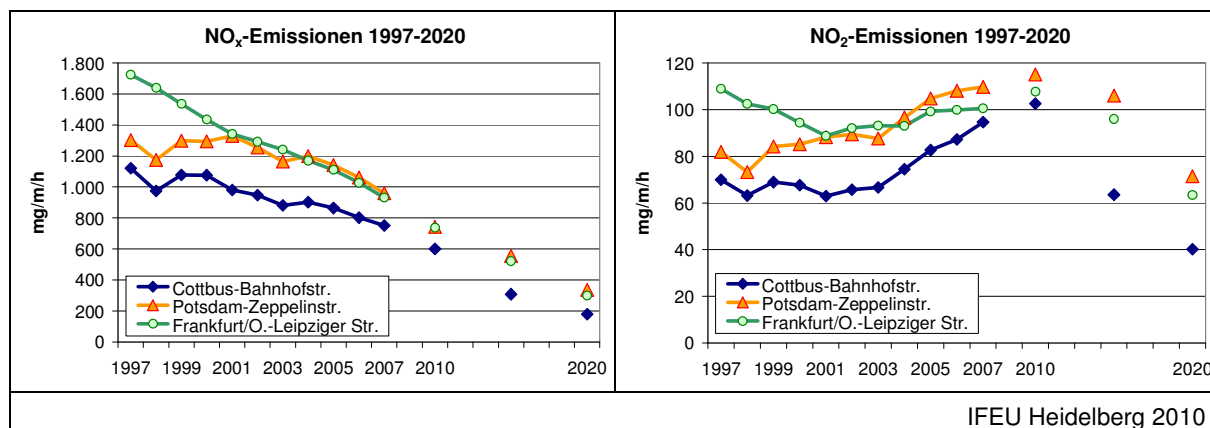


Abb. 2: NO_x- und NO₂-Emissionsentwicklung an den untersuchten Standorten. Für Cottbus ist der Fall mit Verkehrsreduktion angegeben.

Die primären NO₂-Emissionen waren im Jahr 2007 in Potsdam und Cottbus um 34 % bzw. 35 % höher als 1997, in Frankfurt/Oder dagegen 8 % niedriger. An allen drei Standorten ist ein deutlicher Anstieg der NO₂-Emissionen in den letzten Jahren erkennbar. Die NO₂-Emissionen waren in Cottbus insgesamt niedriger als in Potsdam und Frankfurt/Oder. Die Unterschiede waren aber geringer als bei NO_x, da der Anstieg der primären NO₂-Emissionen in den letzten Jahren hauptsächlich auf Entwicklungen im PKW-Verkehr zurückzuführen ist, wo die Unterschiede im Verkehrsaufkommen zwischen den untersuchten Standorten der drei Städte geringer waren.

Der Einfluss der Berücksichtigung unterschiedlicher Fahrzeugflotten in den Emissionsberechnungen wurde am Beispiel der NO_x- und NO₂-Emissionen für die Bahnhofstraße in Cottbus für das Bezugsjahr 2007 untersucht. Hier wurden die berechneten Emissionen der mittels Kennzeichenerfassung für Brandenburg abgeleiteten Pkw-Flotte (Altersverteilung, Diesel-Anteil) denen der bundesmittleren Flotte gegenübergestellt. Zusätzlich wurde der Fall betrachtet, bei dem aus der Kennzeichenerfassung nur der ermittelte PKW-Dieselanteil verwendet wurde und die EURO_x-Anteile wiederum der bundesmittleren Flotte entsprachen.

Einfluss der Altersverteilung (Euro-Stufen-Anteile) bei PKW: Bei Verwendung der für Brandenburg abgeleiteten Altersverteilung ergeben sich im Pkw-Verkehr um 3 % höhere NO_x-Emissionen als mit der bundesmittleren Altersverteilung unter Beibehaltung des brandenburgischen Diesel-Fahrleistungsanteils. Die PKW-NO₂-Emissionen liegen um 0.5 % höher. Für den Gesamtverkehr liegen die NO_x-Emissionen um 1.3 %, die NO₂-Emission um 0.3 % höher als bei Verwendung der bundesmittleren Altersverteilung unter Beibehaltung des brandenburgischen Diesel-Fahrleistungsanteils. Der Anteil Pkw bedingter Emissionen an den gesamten NO_x- und NO₂-Emissionen ist damit kaum verändert. Die abweichende Altersverteilung

der PKW-Flotte in Brandenburg ergab damit nur geringe Änderungen bei den berechneten NO_x - und NO_2 -Emissionen gegenüber der Verwendung einer bundesdurchschnittlichen Altersverteilung.

Einfluss des Fahrleistungsanteils von Diesel-PKW: Die PKW- NO_x -Emissionen liegen für die in Brandenburg abgeleiteten PKW-Flotte um 6 % niedriger als gegenüber der vollständig bundesmittleren Flottenzusammensetzung. Die Pkw- NO_2 -Emissionen sind 37 % niedriger. Für den Gesamtverkehr liegen die NO_x -Emissionen um 3 % niedriger, die NO_2 -Emission um 21 % niedriger als bei Verwendung der bundesmittleren Annahmen. Der Pkw-Anteil an den gesamten NO_x -Emissionen beträgt 51 % (statt 52 % bei der vollständig bundesmittleren Flottenzusammensetzung). Der Anteil PKW bedingter Emissionen an den gesamten NO_2 -Emissionen liegt bei 57 % (statt 65 % bei der vollständig bundesmittleren Flottenzusammensetzung). Die Verwendung des landesspezifischen niedrigeren Diesel-Fahrleistungsanteils führte hiermit zu deutlich geringeren NO_x - und NO_2 -Emissionen gegenüber der Verwendung einer bundesdurchschnittlichen Pkw-Flotte.

Die Berechnung der zukünftigen Emissionen zeigt für alle drei Standorte, dass die NO_x -Emissionen weiter abnehmen werden. Jedoch ist bei den NO_2 -Emissionen bis 2010 noch mit einem weiteren Anstieg zu rechnen. Erst danach ist mit Einführung der neuen Grenzwertstufen Euro 5/6 und Euro VI ein Rückgang zu erwarten. Die Wirkung der neuen Grenzwerte auf die zukünftigen Emissionen kann anhand der durchgeführten Berechnungen für Potsdam, Frankfurt/Oder und Cottbus (Fall ohne Verkehrsreduzierung) abgebildet werden. In Cottbus trägt zusätzlich noch die erwartete Halbierung des Verkehrsaufkommens erheblich zur zukünftigen Emissionsreduktion bei. Ohne diese Verkehrsreduktion lägen die NO_x - und NO_2 -Emissionen um ca. 45 % (2015) bzw. um 55 % (2020) höher.

2.3 Trend der NO_2 -Messdaten im Vergleich zum bundesdeutschen Durchschnitt

Es kann festgestellt werden, dass die NO_2 -Belastung an den Brandenburger Stationen des städtischen Hintergrundes ca. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ geringer ist als der repräsentative bundesdeutsche Durchschnitt. Im Gegensatz zum bundesdeutschen Durchschnitt sinkt die Hintergrundbelastung in Cottbus zwischen 2001 und 2007 kontinuierlich ab. In Frankfurt/Oder ist zwischen 2001 und 2004 ein Anstieg, dann ein Rückgang zu verzeichnen. Die städtische Hintergrundbelastung in Potsdam liegt ca. $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ höher als in Frankfurt/Oder und Cottbus. Auffällig sind die Werte an der Station Cottbus-Bahnhofstraße im Jahr 2001 und 2002 die

einen anderen Trend zeigen als in Frankfurt/Oder und auch relativ zum bundesdeutschen Durchschnitt.

Es kann weiterhin festgestellt werden, dass die NO_2 -Belastung an den Brandenburger verkehrsnahen Stationen ca. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ geringer ist als der repräsentative bundesdeutsche Durchschnitt. Dies wird im Wesentlichen durch die um diesen Betrag geringere Hintergrundbelastung verursacht. Die Tendenzen der zeitlichen Entwicklung in den hier betrachteten Jahren 2001 bis 2007 sind ähnlich. Auch sind die NO_2 -Jahresmittelwerte an den drei Brandenburger Verkehrsmessstellen sehr ähnlich. Ausnahmen bilden die NO_2 -Jahresmittelwerte an der Station Cottbus-Bahnhofstraße im Jahr 2001 (deutlich geringer als in der Leipziger Straße) sowie 2004 (deutlich höher als in der Leipziger Straße und in der Zeppelinstraße).

2.4 Trend städtische Ozonkonzentrationen

Eine Auswertung des Trends der Ozonjahresmittelwerte im städtischen Hintergrund der drei Brandenburger Städte zeigte, dass zwischen 1997 und 2007 an diesen Stationen ein Anstieg um im Mittel $0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pro Jahr stattgefunden hat.

2.5 Abschätzung des primären NO_2 -Emissionsanteils am NO_x

Hierzu wurden für die einzelnen Betrachtungsjahre nur die Stundenwerte der Konzentrationen in die Auswertung einbezogen, in denen die Ozon-Belastung kleiner $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ war. Für diese niedrigen Ozonkonzentrationen ist die chemische Reaktion von NO mit Ozon, die zur Bildung von NO_2 führt, zu vernachlässigen. Die NO_2 -Zusatzbelastung in der Straße ist dann im wesentlichen nur noch von den direkten NO_2 -Emissionen der Fahrzeuge verursacht. Es wird ein Anstieg des primären NO_2 -Anteils an den NO_x -Emissionen von ca. 6 % bis 8 % in den Jahren 1997/1998, über 7 % bis 12 % in den Jahren 2001/2002 hin zu 10 % bis 18 % in den Jahren 2006/2007 deutlich. Die Ergebnisse der Emissionsberechnungen liefern an allen drei Straßen tendenziell geringere primäre NO_2 -Emissionsanteile.

2.6 Modellrechnungen für die Bahnhofstraße in Cottbus

Die mikroskaligen Modellrechnungen für die Bahnhofstraße in Cottbus wurden durch das Dänische National Environmental Research Institute (NERI), Roskilde mit dem Modell OSPM (2009) durchgeführt. Dieses Modell wurde am NERI entwickelt. OSPM ist in der Lage, aus Zeitreihen von Emissionen stündliche Konzentrationszeitreihen von NO_x und NO_2 in Stra-

Bennähe zu berechnen. Es enthält ein Chemiemodul, welches die NO-NO₂-O₃ Reaktionsgleichungen unter Berücksichtigung der Globalstrahlung und Temperatur behandelt. Folgende Szenarien wurden betrachtet:

1. Wind, Temperatur, Strahlung und Ozon entsprechend der Messwerte in den Untersuchungsjahren. Die NO_x- und NO₂-Emissionen wurden entsprechend der Ergebnisse von IFEU (= Basisszenario) inklusive eines Aufschlages von 20 % für alle Bezugsjahre verwendet.
2. Wie 1. nur mit den Ozonwerten des Jahres 1997 (=Sz2_konO3). Daraus lässt sich beim Vergleich mit den Ergebnissen aus 1. der Einfluss der jährlichen Ozonveränderung auf die NO₂-Jahresmittelwerte ableiten.
3. Wie 1. nur mit dem primären NO₂-Emissionsanteil aus dem Jahr 1997 für alle Jahre (=Sz3_konFNO2). Daraus lässt sich beim Vergleich zu den Ergebnissen aus 1. der Einfluss des steigenden primären NO₂-Anteils auf die NO₂-Jahresmittelwerte ableiten.
4. Wie 1. nur mit Temperatur, Wind und Strahlung des Jahres 1997 für alle Jahre (=Sz4_konMET). Daraus lässt sich beim Vergleich zu den Ergebnissen aus 1. der meteorologische Einfluss auf die NO₂-Jahresmittelwerte ableiten.

Die Berechnungen für die Prognosejahre 2010, 2015 und 2020 wurden mit den meteorologischen Daten und Ozonwerten des Jahres 2007 durchgeführt.

2.6.1 Ergebnis Basisszenario

Die Absolutwerte und der Trend der NO₂-Konzentrationen können durch die Modellrechnungen für alle Analysejahre außer 1997, 2000 bis 2002 und 2004 gut reproduziert werden. Der Messwert des Jahres 1997 wird deutlich unterschätzt, der für die Jahre 2000 bis 2002 deutlich überschätzt. Für das Prognosejahr 2010 wird unter Berücksichtigung der abnehmenden Verkehrsbelastung ein Rückgang des NO₂-Jahresmittelwertes von 45 µg/m³ (2007) auf 42 µg/m³ berechnet, für 2015 auf 35 µg/m³ sowie für das Jahr 2020 ein Rückgang auf 28 µg/m³. Die deutlichen Reduktionen in den Jahren 2015 und 2020 resultieren neben dem starken Rückgang der fahrzeugspezifischen NO_x-Emissionen insbesondere auch durch die starke Verkehrsabnahme. Ohne diese Verkehrsabnahme würde der NO₂-Jahresmittelwert hierbei deutlich geringer absinken. Es werden ohne Verkehrsabnahme für 2015 39 µg/m³ und für 2020 31 µg/m³ berechnet.

2.6.2 Ergebnis Szenarienrechnungen

In der **Abb. 3** sind die absoluten und in **Abb. 4** die relativen Einflüsse der einzeln untersuchten Eingangsgrößen auf den NO_2 -Jahresmittelwert grafisch dargestellt. Den größten Einfluss auf die NO_2 -Jahresmittelwerte haben die NO_x -Emissionen. Zwischen 1997 und 2007 führten sie zur Verringerung des NO_2 -Jahresmittelwertes um 18 %.

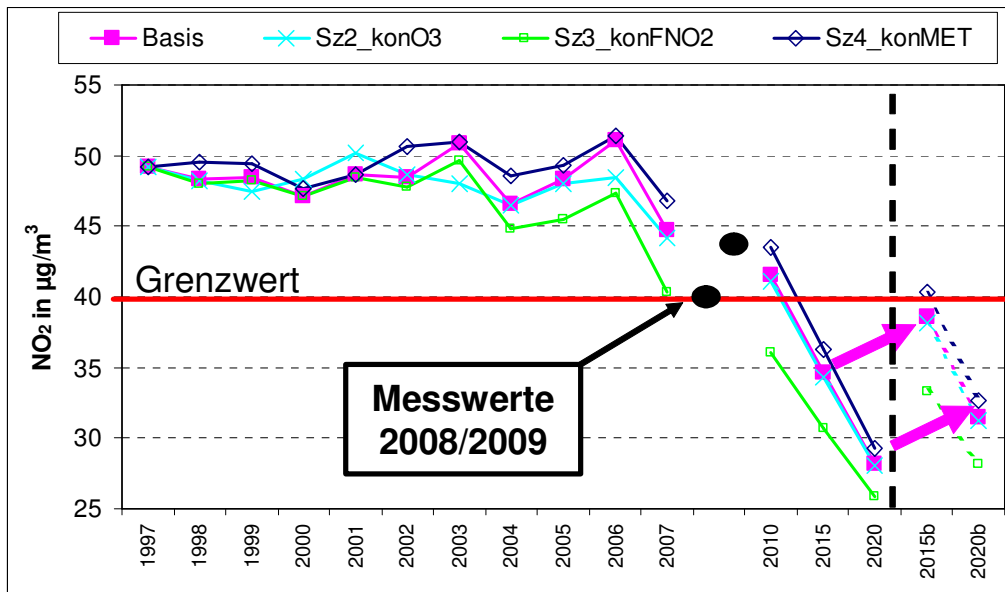


Abb. 3: Ergebnisse der OSPM-Szenarienrechnungen. Die Fälle 2015 und 2020 gehen von ca. 50 % geringeren Verkehrsmengen relativ zu 2010 aus. Die Fälle 2015b und 2020b gehen von keiner Verkehrsreduktion aus.

Diese Reduktion der NO_x -Emissionen hätten bei gleich bleibend (niedrigem) primären NO_2 -Emissionsanteil von 6 % ausgereicht, den NO_2 -Jahresmittelwert in der Bahnhofstraße bereits 2007 einzuhalten.

Der allgemeine Trend steigender Ozonhintergrundwerte führte nur bei deutlichen „Ozonspitzen“ in den Jahren 2003 und 2006 zu einem relevanten Anstieg der NO_2 -Jahresmittelwerte. So führte dies 2003 zu 6 % und 2006 zu 5 % höheren NO_2 -Jahresmittelwerten. Die Windverhältnisse (Windrichtungs- und Geschwindigkeitsverteilungen) führen zu einer Variation des NO_2 -Jahresmittelwertes von 2 %, nur 1998 um 4 %. Insbesondere die zwischen 1997 und 2007 tendenziell steigende Globalstrahlung reduziert den NO_2 -Jahresmittelwert bis ca. 2 %. Der steigende primäre NO_2 -Emissionsanteil erhöhte die NO_2 -Jahresmittelwerte in den letzten Jahren um ca. $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (bis 11 % im Jahr 2007) gegenüber dem Fall ohne Berücksichtigung dieses Effektes. Dies führte zu einer weitgehenden Kompensation der Reduktionen des NO_2 -Jahresmittelwertes infolge der Reduktion der NO_x -Emissionen.

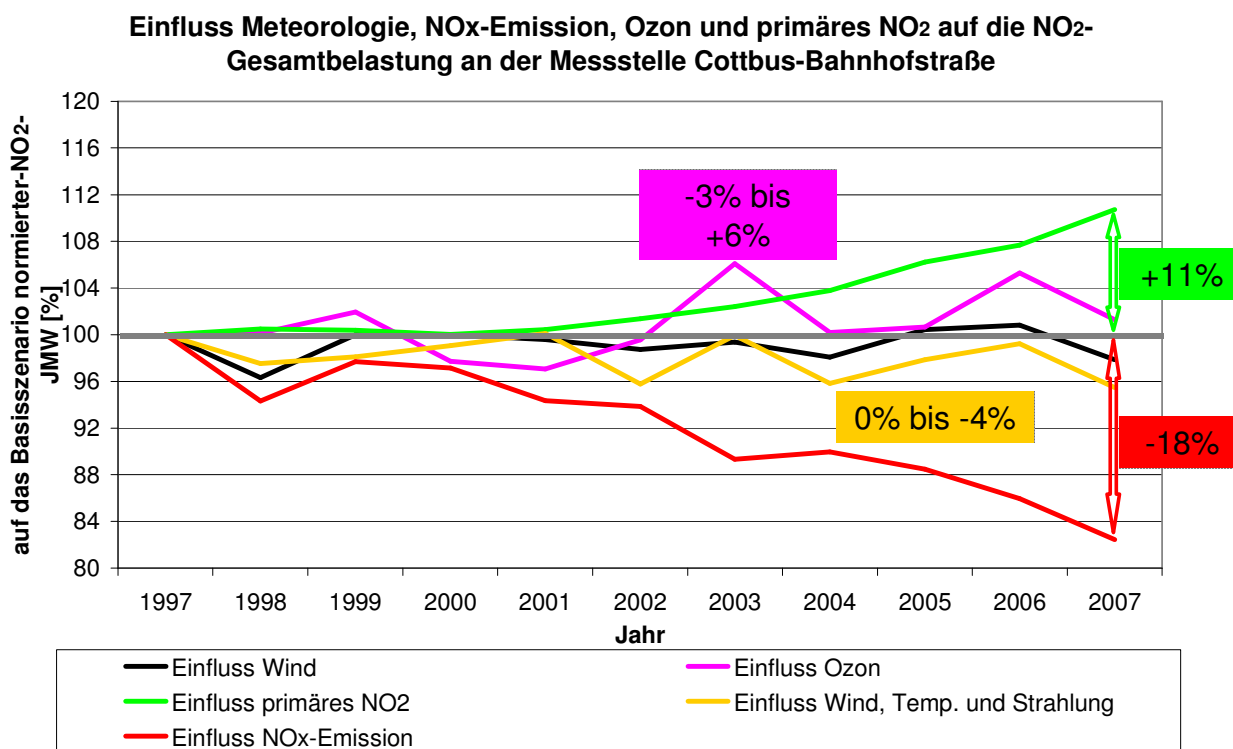


Abb. 4: Einfluss von Meteorologie, NO_x-Emission, städtischer Ozonhintergrundbelastung und primärer NO₂-Emission auf die NO₂-Jahresmittelwerte in der Bahnhofstraße in Cottbus. Die Situation im Jahr 1997=100 %.

Alle Prognoseszenarien (**Abb. 3**), außer dem mit niedrigem primärem NO₂-Anteil, prognostizieren für das Jahr 2010 noch eine Überschreitung des NO₂-Jahresmittelgrenzwertes von 40 µg/m³ um 1 bis 4 µg/m³. Für die Jahre 2015 und 2020 wird beim Eintreten der prognostizierten Verkehrsabnahmen eine deutliche Unterschreitung erwartet. Sollten sich keine Verkehrsabnahmen einstellen, dann könnte bei Annahme der ungünstigen Meteorologie von 1997 der Grenzwert 2015 noch überschritten werden.

2.7 Trend der NO₂-Jahresmittelwerte für Zeppelinstraße und Leipziger Straße

Es kann anhand der vorliegenden Konzentrationsdaten und der zu erwartenden Emissionen prognostiziert werden, dass in der Leipziger Straße 2010 der Grenzwert knapp unterschritten (38 µg/m³), 2015 und 2020 deutlich eingehalten wird. In der Zeppelinstraße wird 2010 mit 42 µg/m³ eine Überschreitung des Grenzwertes prognostiziert. In den Prognosejahren 2015 und 2020 wird der Grenzwert deutlich unterschritten.

2.8 NO/NO₂-Konversionsmodell

Es wird ein NO/NO₂-Konversionsmodell auf Basis eines vereinfachten Chemiemodells für Jahresmittelwerte der Konzentrationen vorgestellt. Dieses vereinfachte Chemiemodell reproduziert sowohl die langjährigen NO₂-Trends in Brandenburg als auch Messwerte an anderen über 30 bundesdeutschen Stationen gut. Verglichen werden die Resultate auch mit den Parametrisierungen nach Romberg et al. (1996) und Bächlin et al. (2008).

Der Vergleich Rechnung/Messung ist beim vereinfachten Chemiemodell besser als mit Bächlin et al. (2008) und deutlich besser als mit Romberg et al. (1996). Eine lineare Regression Modell/Messung liefert höhere Korrelationskoeffizienten, der Anstieg ist nahe eins und der Offset gering.

Aufgrund der Ergebnisse der durchgeführten Analysen könnte folgende Vorgehensweise bzgl. der Verwendung eines NO/NO₂-Konversionsmodells in Brandenburg gewählt werden, die allerdings mit den entsprechenden Fachgremien (z. B. VDI) abgestimmt werden sollte:

- Für die Beschreibung der langjährigen Trendentwicklung von NO₂-Jahresmittelwerten ist das vereinfachte Chemiemodell, wie im Kap. 4 des Hauptberichtes beschrieben, zu verwenden. Die Emissionen (NO_x und NO₂) sind mit HBEFA3.x zu berechnen. Die Hintergrundbelastungen (NO_x, NO₂ und O₃) sind von städtischen Hintergrundmessstellen oder aus den Berechnungen mit Regionalmodellen zu verwenden.
- Im Rahmen der Berechnungen für die Wirkung von Umweltzonen, bei denen sich je nach Eingriffstiefe der Anteil primären NO₂-Emissionen stark verändern kann, ist ebenfalls das vereinfachte Chemiemodell, wie im Kapitel 4 des Hauptberichtes beschrieben, zu verwenden.
- Für Luftschadstoffprognosen im Rahmen von Genehmigungsverfahren mit Prognosehorizonten 2015 und später liefern alle drei betrachteten Konversionsmodelle für die in Brandenburg untersuchten Stationen vergleichbare Ergebnisse. Hier sind somit diese drei Konversionsmodelle anwendbar¹.

¹ Hinweis: Diese Aussage bezieht sich hier nur auf die Situation im Land Brandenburg mit den für die Bezugsjahre 2015 und später ermittelten NO₂-Jahresmittelwerten unter 40 µg/m³. Für Bundesländer mit höheren Konzentrationsniveaus kann diese Aussage nicht ungeprüft übernommen werden.

2.9 Vergleich der Erkenntnisse aus dieser Arbeit mit den Ergebnissen der Luftreinhaltepläne

Vor dem Hintergrund des neuen Handbuchs für Emissionsfaktoren und den Erkenntnissen bzgl. der NO-NO₂-Konversion erscheint prinzipiell eine Aktualisierung der Emissionsberechnungen und Immissionsprognosen für die Luftreinhaltepläne notwendig. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit war das nicht leistbar. Um dennoch zu erwartende Einflüsse auf die NO₂-Konzentrationen abzuschätzen, wurde hier folgendes Vorgehen gewählt:

- Aus den Berechnungen der Luftreinhaltepläne (LRP) Potsdam, Stadt Brandenburg und Frankfurt-Oder wurden die dort verwendeten NO_x- und NO₂-Vorbelastungen sowie NO_x-Gesamtbelastungen (Jahresmittelwerte) übernommen. Ebenso Berechnungen zum Technologie- und Industriepark (TIP) in Cottbus auf Basis der Verkehrsbelegungen und Verkehrssituationen des LRP Cottbus.
- Für die übernommenen NO_x-Gesamtbelastungen wurden mittels dieser Daten sowie den gemessenen Ozon-Jahresmittelwerten im städtischen Hintergrund und dem primären NO₂-Anteil am NO_x die NO-NO₂-Konversion mittels vereinfachtem Chemiemodell durchgeführt und eine NO₂-Gesamtbelastung berechnet. Dort wo keine explizit berechneten primären NO₂-Anteile vorlagen, wurde ein Standardwert verwendet. Hiermit wird der Einfluss der NO₂-Direktemissionen auf den NO₂-Jahresmittelwert *bei gleich bleibender Annahme zur Höhe der NO_x-Emission* abgeschätzt.

Diese Daten wurden dann untereinander und mit den im Rahmen der vorliegenden Arbeit berechneten Werten verglichen. In der **Abb. 5** wird dies am Beispiel der Bahnhofstraße in Cottbus aufgezeigt.

Es zeigte sich, dass bei Annahme unveränderter NO_x-Emissionen das vereinfachte Chemiemodell in der Bahnhofstraße in Cottbus für das Bezugsjahr 2005 im Vergleich zum Romberg-Ansatz in diesem Fall um 3 µg/m³ geringere NO₂-Jahresmittelwerte liefert. Der im Rahmen der vorliegenden Arbeit ermittelte NO₂-Jahresmittelwert liegt deutlich höher. Ursachen: Die Berechnungen zum TIP erfolgten noch auf Basis der Emissionen des HBEFA2.1. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit auf Basis aktueller Vorarbeiten zum neuen Handbuch und aktualisierten Verkehrsstärken ermittelten NO_x-Emissionen liegen für das Bezugsjahr 2005 deutlich höher als in der Untersuchung zum TIP. Dies führt dazu, dass der Messwert im Jahr 2005 (46 µg/m³) mit den aktuellen Berechnungen besser reproduziert wird als in den Berechnungen zum TIP.

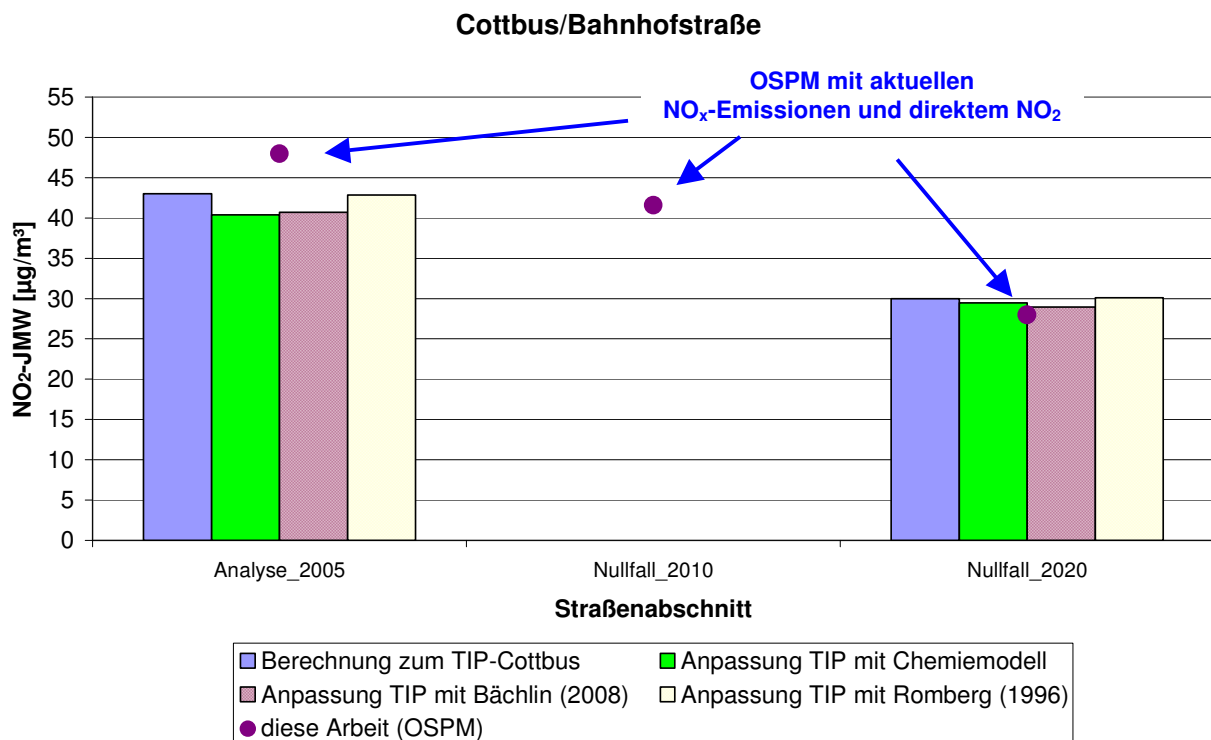


Abb. 5: Vergleich der Ergebnisse dieser Arbeit mit den NO₂-Jahresmittelwerten aus den Berechnungen zum TIP (Lohmeyer et al., 2008) auf Basis der Verkehrsbelegungen und Verkehrssituationen des LRP Cottbus. Der Nullfall 2010 enthält keine Verkehrsbelastung durch die Westtangente, der Nullfall 2020 geht von der deutlichen Verkehrsbelastung durch die Westtangente Cottbus aus.

Eine Prognose für die Jahre 2010 bzw. 2015 lag aus den Berechnungen zum TIP nicht vor. Für den Nullfall 2020 liefern alle drei eingesetzten Konversionsmodelle vergleichbare Ergebnisse. Insbesondere wegen der auf Basis aktueller Vorarbeiten zum neuen Handbuch berechneten geringeren NO_x-Emissionen als mit HBEFA2.1 liegt die neue Prognose ca. 2 µg/m³ niedriger als in den Berechnungen zum TIP.

Für Frankfurt-Oder/Leipziger Straße zeigte sich, dass das vereinfachte Chemiemodell für den Bezugsfall P0_2003 im Vergleich zum Romberg-Ansatz in diesem Fall um 2 µg/m³ geringere NO₂-Jahresmittelwerte liefert. Für die Varianten P1_2006 liefert das vereinfachte Chemiemodell einen um fast 2 µg/m³ höheren NO₂-Jahresmittelwert als im LRP. In der Variante P2_2006 sind die Unterschiede sehr gering. Für die Variante P3_2010 gibt das vereinfachte Chemiemodell einen um 1 µg/m³ höheren Jahresmittelwert als im LRP ausgewiesen. Der im Rahmen der vorliegenden Arbeit, also mit aktuellen NO_x- und NO₂-Emissionsdaten, ermittelte NO₂-Jahresmittelwert liegt mit knapp 40 µg/m³ um 2 µg/m³ höher als im LRP berechnet.

Für mehrere Straßen in Potsdam wurde dieser Vergleich ebenfalls geführt. Es zeigte sich, dass das vereinfachte Chemiemodell für den Analysefall 2005 außer in der Behlertstraße ca. 1 bis 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ geringere NO_2 -Jahresmittelwerte liefert. In der Behlertstraße ergibt dieser Modellansatz einen ca. 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ höheren Wert.

Für den Nullfall 2010 gibt das vereinfachte Chemiemodell außer für die Behlertstraße mit den im LRP ausgewiesenen Jahresmittelwerten vergleichbare Ergebnisse. In der Behlertstraße liefert das vereinfachte Chemiemodell einen um fast 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ höheren Jahresmittelwert als im LRP ausgewiesen. Der im Rahmen der vorliegenden Arbeit für die Zeppelinstraße im Nullfall 2010 ermittelte NO_2 -Jahresmittelwert liegt mit 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ um 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ höher als im LRP berechnet.

Für Brandenburg/Neuendorfer Straße zeigte sich, dass das vereinfachte Chemiemodell für den Bezugsfall P0 im Vergleich zum Romberg-Ansatz in diesem Fall um 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ geringere NO_2 -Jahresmittelwerte liefert. Für die Varianten P1 liefert das vereinfachte Chemiemodell einen um fast 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ höheren NO_2 -Jahresmittelwert als im LRP. In der Variante P2 und P3 sind die Unterschiede sehr gering.

Es wurde somit im Rahmen der vorliegenden Arbeit aufgezeigt, dass im Gegensatz zu den bisherigen Berechnungen in der Bahnhofstraße in Cottbus, der Leipziger Straße in Frankfurt-Oder und der Zeppelinstraße in Potsdam 2010 der NO_2 -JM-Grenzwert erreicht bzw. (leicht) überschritten werden kann. Eine Überprüfung der Prognosen für die anderen in den LRP betrachteten Straßenabschnitte für das Bezugsjahr 2010 erscheint daher angebracht.

Die neuen europäischen Abgasgrenzwertstufen Euro 5/6 und Euro VI waren in den Berechnungen der Luftreinhaltepläne noch nicht erfasst. Aufgrund der späten Einführungszeiten ist nach 2010 mit einem signifikanten Einfluss auf die NO_x - und NO_2 -Emissionen und damit auf die Höhe der NO_2 -Luftbelastung zu rechnen. Dies zeigt sich in den hier durchgeführten NO_2 -Prognosen für die Jahre 2015 und 2020. Für diese Prognosehorizonte werden auch nach derzeitigem Kenntnisstand an keiner der hier betrachteten Stationen NO_2 -Grenzwertüberschreitungen mehr erwartet. Unter ungünstigen meteorologischen Bedingungen und ohne die im LRP angestrebte deutliche Reduzierung der Verkehrsstärken auf der Bahnhofstraße in Cottbus kann dort allerdings der Grenzwert 2015 überschritten werden. Dies könnte dann ggf. für hier nicht untersuchte Straßenabschnitte mit derzeit ähnlich hohen NO_2 -Jahresmittelwerten wie in Cottbus/Bahnhofstraße und nicht abnehmenden Verkehrsstärken ebenfalls möglich sein.

2.10 Schlussfolgerungen für die Luftreinhaltepläne

Die Emissionsberechnungen der derzeit vorliegenden Luftreinhaltepläne, die den Prognosen zur Entwicklung der NO₂-Luftbelastung zugrunde liegen, enthalten die aktuellen Erkenntnisse zu den NO_x-Emissionen, insb. zu den fehlenden Minderungen bei Diesel-PKW noch nicht. Weiterhin ist in den Luftreinhalteplänen auch der steigende Einfluss von primären NO₂-Emissionen noch nicht berücksichtigt. Beides führt dazu, dass Emissionsrückgänge und damit verbundene Verbesserungen der NO₂-Luftqualität bis etwa 2015 in den Luftreinhalteplänen tendenziell zu optimistisch beurteilt werden.

Berechnungen bzw. Abschätzungen der NO₂-Entwicklung auf Grundlage der uns verfügbaren aktuellen Daten und Emissionsfaktoren und Flottenzusammensetzungen wurden für die Bahnhofstraße, die Zeppelinstraße und die Leipziger Straße vorgestellt. Es wurde dort aufgezeigt, dass in der Bahnhofstraße in Cottbus alle Prognoseszenarien außer dem mit niedrigem primären NO₂-Anteil für das Jahr 2010 noch eine Überschreitung des NO₂-Jahresmittelgrenzwertes von 40 µg/m³ um 1 bis 4 µg/m³ prognostizieren. Für die Jahre 2015 und 2020 wird beim Eintreten der prognostizierten Verkehrsabnahmen eine deutliche Unterschreitung erwartet. Sollten sich keine Verkehrsabnahmen einstellen, dann könnte bei Annahme der ungünstigen Meteorologie von 1997 der Grenzwert 2015 noch erreicht werden.²

Es kann anhand der vorliegenden Konzentrationsdaten und der zu erwartenden Emissionen prognostiziert werden, dass in der Leipziger Straße 2010 der Grenzwert knapp unterschritten (38 µg/m³), 2015 und 2020 deutlich eingehalten wird. In der Zeppelinstraße wird 2010 mit 42 µg/m³ eine Überschreitung des Grenzwertes prognostiziert. In den Prognosejahren 2015 und 2020 wird der Grenzwert deutlich unterschritten.³

Es wäre also zu überprüfen, ob dort die in den Luftreinhalteplänen angeführten Maßnahmen für 2010 auch unter Berücksichtigung des aktuellen Kenntnisstandes noch ausreichend für eine Erreichung der NO₂-Grenzwerte sind.

² Maßnahmensseitig wurde hierbei für die Bahnhofstraße in Cottbus eine deutliche Reduzierung der Verkehrsmenge für die Prognosehorizonte 2015 und 2020 angesetzt, welche sich aus den vorgesehenen Rückbaumaßnahmen ableitet.

³ Im Rahmen der Prognose für die Leipziger Straße in Frankfurt (Oder) wurden allgemeine Planungen zur Verkehrsnetzergänzung berücksichtigt, die jedoch keine wesentlichen Auswirkungen auf die Verkehrsbelastung haben. In Potsdam wurden die Netzergänzungstrassen des VEP aufgrund des langfristigen Planungshorizontes in Anlehnung an den Luftreinhalteplan für die Prognoseszenarien vorerst nicht berücksichtigt.

Sowohl die primären NO₂-Emissionen als auch das aus den NO-Emissionen luftchemisch gebildete NO₂ haben einen relevanten Anteil an der NO₂-Belastung. Zur Reduktion der Belastung können damit Maßnahmen beitragen, die zu einer Minderung der NO- und NO₂-Emissionen führen. Eine Verringerung der Emissionen kann einerseits durch technische Maßnahmen (z. B. Nachrüstung) erreicht werden, andererseits durch nicht-technische Maßnahmen, die zu einer Vermeidung und Verlagerung von Straßenverkehr führen oder zu einem emissionsärmeren Fahrverhalten.

Im Handlungsbereich der Luftreinhalteplanung liegen überwiegend nicht-technische Maßnahmen. Aber auch der Einsatz technischer Optionen kann durch geeignete Maßnahmen unterstützt werden. Grundsätzlich sind solche Maßnahmen am wirksamsten, die zu einer völligen Vermeidung von Straßenverkehr führen oder eine Verlagerung auf deutlich emissionsärmere Verkehrsmittel bewirken. Hier gibt es zudem große Synergien zu den Bereichen kommunaler Klimaschutz und Lärminderung. **Tab. 1** gibt eine Übersicht möglicher Maßnahmen zur Verringerung der NO- und NO₂-Emissionen des Verkehrs in Städten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass konzeptionell und insbesondere hinsichtlich der Umsetzung von Maßnahmen im Rahmen der Luftreinhalteplanungen weitere Minderungspotentiale bestehen. Das heißt, dass auch bei ungünstigeren Werten hinsichtlich der NO₂-Belastungen über eine Fortschreibung der Luftreinhalteplanungen gegengesteuert werden kann. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass nicht alle Teilbausteine des Maßnahmenbündels rechnerisch nachweisbar sind.

Wirkungsansatz	Maßnahmen
Verbesserung der Flottenemissionen	Die frühzeitige Einführung von Euro 5- und 6-PKW sowie Euro VI-LKW kann einen relevanten Beitrag zur Minderung der innerörtlichen NO ₂ -Belastungen leisten. Neben einer Verstärkung der Minderungen der NO _x -Emissionen wird v.a. die Umkehr des Emissionstrends bei primärem NO ₂ beschleunigt. Eine beschleunigte Einführung kann durch Fördermaßnahmen auf Bundes- oder Landesebene unterstützt werden. Voraussetzung dafür ist, dass die Automobilindustrie bereits in den nächsten Jahren einen großen Anteil von Euro 6/VI-Fahrzeugen in Deutschland auf den Markt bringt.
	Zur Nachrüstung von NO_x-Minderungssystemen bei Leichten Nutzfahrzeugen, LKW und Bussen bestehen am Markt verschiedene Möglichkeiten (z. B. SCR-Systeme). In der 72. Umweltministerkonferenz im Juni 2009 wurde angeregt, weitergehende Anreize für die Kfz-Nachrüstung (NO _x und Partikel) zu schaffen. Das Land Baden-Württemberg hat ein eigenes Förderprogramm zur Nachrüstung von Bussen mit SCR-Fahrzeugtechnik.

	<p>Die Vorgabe von Mindeststandards für Busse im Linienverkehr (NO_x, NO₂) kann insb. in Straßen mit einem hohen Busanteil am Verkehr erhebliche Verringerungen des lokalen Verkehrsbeitrags zur NO₂-Luftbelastung bewirken.</p> <p>Die Einführung von lokal emissionsfreien Fahrzeugen (Elektro, Hybrid) führt direkt zu einer Verringerung der lokalen Emissionen des Verkehrs in einer Straße sowie zur Absenkung der städtischen Hintergrundbelastung.</p> <p>Maßnahmen für eine schnellere Erneuerung der Fahrzeugflotten bewirken bei LKW und leichten Nutzfahrzeugen eine verstärkte NO_x- und NO₂-Emissionsminderung. Bei PKW ist das nur der Fall, wenn gleichzeitig der weitere Anstieg der Diesel-Anteile an den Neuzulassungen gestoppt wird.</p> <p>Umweltzonen und vergleichbare Zufahrtsbeschränkungen für Kfz bestimmter Schadstoffklassen führen direkt zur Reduktion der verkehrlichen Emissionen im gesamten Stadtgebiet. Für die aktuell geltenden Umweltzonen-Regelungen (Fokus PM10) ist allerdings die Wirksamkeit auf die NO₂-Belastung noch nicht abschließend geklärt. Für eine zielgerichtete Minderung der NO₂-Luftbelastung muss eine Ausrichtung der Zufahrtskriterien von Umweltzonen auf Fahrzeuge mit niedrigen NO_x- und NO₂-Emissionen erfolgen.</p> <p>Umweltzonen haben zusätzlich eine indirekte Wirkung auch über das Stadtgebiet hinaus, da sie Anreize zur technischen Nachrüstung bzw. zum Kauf eines abgasärmeren Kfz bei allen von der Umweltzone betroffenen Verkehrsteilnehmern schaffen.</p>
Verringerung des Straßenverkehrs	<p>Eine Verkehrsreduktion in Städten, z. B. durch Verkehrsvermeidungsmaßnahmen im Rahmen der Stadtentwicklung führt direkt zu verringerten verkehrsbedingten Emissionen und einer verbesserten Luftqualität.</p> <p>Verlagerung von PKW-Verkehr auf den Umweltverbund (ÖPNV, Rad-, Fußverkehr) durch Steigerung der Attraktivität dieser Verkehrsmittel und gleichzeitige MIV-restriktive Maßnahmen (z. B. autofreie Innenstädte, Parkraumreduktion, -gebühren, City-Maut). Im Rahmen einer Verlagerung auf den ÖPNV muss darauf geachtet werden, dass eingesetzte Busse ebenfalls schadstoffarm sind.</p> <p>Verlagerung von Straßenverkehr aus dem Stadtgebiet, z. B. durch Umgehungsstraßen, LKW-Durchfahrverbote u.ä. Damit sinken die Emissionen des Verkehrs im gesamten Stadtgebiet. Dieser lokal erreichten Umweltentlastung ist allerdings gegenüberzustellen, dass die Verkehre im Allgemeinen nur räumlich verlagert werden und zudem durch Umwege zusätzliche Emissionen verursacht werden.</p> <p>Verringerung lokaler Verkehre in bestimmten Straßen, z. B. mit Durchfahrverboten, Abbiegeverboten, LKW-Führung etc. Dies reduziert die lokalen Emissionen, führt aber zu Emissionserhöhungen in anderen Straßen durch Umwegverkehre.</p>
Emissionsärmeres Fahrverhalten	<p>Durch Verkehrsorganisation (z. B. Ampelschaltungen, Geschwindigkeitsregelungen) kann eine Reduktion der NO_x-Emissionen im Fahrzeugbetrieb erreicht werden. Voraussetzung hierfür ist, dass die Maßnahmen zu einer Verstetigung des Verkehrsflusses führen. Prinzipiell besteht allerdings auch die Gefahr, dass Verbesserungen des Verkehrsflusses zu zusätzlichen Verkehren und Emissionen führen.</p> <p>Weitere Effekte hinsichtlich einer Harmonisierung und Verstetigung des Verkehrsflusses sind durch eine entsprechende Straßenraumgestaltung und -begrünung möglich. Der Straßenraumeindruck hat einen wesentlichen Einfluss auf das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer. Mit einer städtebaulichen Gestaltung sowie einer durchgehenden Begrünung kann ein gleichmäßigerer Verkehrsfluss mit weniger Beschleunigungs- und Bremsvorgängen sowie geringeren Emissionen erreicht werden.</p>

	Fahrerschulungen führen nicht nur zu Verringerungen des Kraftstoffverbrauchs, sondern durch eine verkehrsangepasste, gleichmäßigere Fahrweise auch zu verringerten NO _x -Emissionen. Die Wirksamkeit ist allerdings nur schwer zu quantifizieren.
--	---

Tab. 1: Mögliche Maßnahmen zur Verringerung verkehrsbedingter NO- und NO₂-Emissionen

3 LITERATUR

- Bächlin et al. (2008): Untersuchungen zu Stickstoffdioxid-Konzentrationen, Los 1 Überprüfung der Rombergformel. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe. Projekt 60976-04-01, Stand: Dezember 2007. Gutachten im Auftrag von: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen.
- Lohmeyer (2008) : TIP Cottbus-Äußere Verkehrserschließung. Untersuchung von Umweltwirkungen. Juni 2009. Projekt 70549-08-01 im Auftrag der Stadtverwaltung Cottbus.
- LUA (2009): Informationen zu Eingangsgrößen landeseigener Emissionsberechnungen in Brandenburg (Kfz-Bestände und Fahrleistungen). Mail von U. Friedrich, Landesumweltamt Brandenburg, vom 09.03.2009.
- OSPM (2009): OSPM - webseite: <http://OSPM.dmu.dk/>
- Romberg, E., Bösing, R., Lohmeyer, A., Ruhnke, R. und Röth R. (1996): NO-NO₂-Umwandlung für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase. In: Staub-Reinhaltung der Luft, Vol. 56, Nr. 6, p. 215-218.
- TREMODO (2009): „TREMODO - Transport Emission Model (Version 4.17 + interne Aktualisierungen). Fortschreibung des Daten- und Rechenmodells *Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030*.“ W. Knörr et al., IFEU Heidelberg. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin/Heidelberg 2009.