

# **Kontinuierliche Stickoxid (NO<sub>x</sub>)- und Ozon (O<sub>3</sub>)- Messwertaufnahme an zwei BAB mit unterschiedlichen Verkehrsparametern 2004**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 138**

The logo for 'bast' is written in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are closely spaced and have a slight shadow effect, giving it a three-dimensional appearance. The 'b' and 'a' are particularly prominent.

# **Kontinuierliche Stickoxid (NO<sub>x</sub>)- und Ozon (O<sub>3</sub>)- Messwertaufnahme an zwei BAB mit unterschiedlichen Verkehrsparametern 2004**

von

Anja Baum  
Hakki Hasskelo  
Ralf Becker  
Wilfried Weidner

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 138**

**bast**

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M- Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

## **Impressum**

**Bericht zum Projekt 03 654 des Arbeitsprogrammes der Bundesanstalt für Straßenwesen:**  
„Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen“

### **Herausgeber**

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon: (0 22 04) 43 - 0  
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

### **Redaktion**

Referat Öffentlichkeitsarbeit

### **Druck und Verlag**

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

## Kurzfassung – Abstract

### **Kontinuierliche Stickoxid (NO<sub>x</sub>)- und Ozon (O<sub>3</sub>)-Messwertaufnahme an zwei BAB mit unterschiedlichen Verkehrsparametern 2004**

Ziel des Projektes war es, die Auswirkungen unterschiedlicher Verkehrsparameter auf die verkehrsbedingte Immissionsbelastung durch Stickoxide und Ozon im Hinblick auf die stark abgesenkten Grenzwerte der novellierten 22. BImSchV und der neuen 33. BImSchV insbesondere für das Kalenderjahr 2004 zu ermitteln. Es wurden dafür Daten an zwei Messquerschnitten mit unterschiedlich hohen Schwerverkehranteilen am Gesamtverkehr aufgenommen. Der Messquerschnitt an der A 61 weist dabei im Vergleich zu den an der A 4 registrierten Werten einen 2,35-mal so hohen Schwerverkehranteil am Gesamtverkehrsaufkommen auf.

Bis Mitte 2002 lagen die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen an beiden Messquerschnitten etwa gleich hoch. Jedoch beeinflusste der extreme Sommer des Jahres 2003 die Schadstoffkonzentrationen des A-61-Messquerschnitts anscheinend stärker als die an den A-4-Messstellen aufgenommenen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Die Werte an der A 61 überstiegen ab dem oben genannten Zeitpunkt bis Mitte 2004 zumeist diejenigen an der A 4. Insgesamt lagen die Werte an der A 61 im Vergleich zu denen an der A 4 für den gesamten betrachteten Zeitraum bei einem Faktor von 0,9 bis 1.

Der Vergleich der Ozonbelastung an beiden Messquerschnitten konnte ein ähnliches Verhalten wie bei der NO<sub>2</sub>-Konzentration aufzeigen. Durchschnittlich lagen die O<sub>3</sub>-Konzentrationen an der A 61 in den Jahren 2002 bis 2004 um einen Faktor von 1,6 über denen an der A 4.

Die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte liegen an den Messstellen beider Messquerschnitte, die die Anforderungen der 22. BImSchV in Bezug auf Probenahmestellen erfüllen, deutlich über dem ab dem Jahr 2010 einzuhaltenden NO<sub>2</sub>-Jahresmittelgrenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup>. Der ebenfalls ab diesem Zeitpunkt geforderte Stundenmittelgrenzwert von 200 µg/m<sup>3</sup> konnte insbesondere am Messquerschnitt an der A 61 nicht eingehalten werden, wurde aber unter Berücksichtigung der in den jeweiligen Kalenderjahren zusätzlich zu berücksichtigenden Toleranzmargen in keinem der Jahre mehr als die ab 2010 geforderten 18-mal überschritten.

Die Anforderungen an die Anzahl der O<sub>3</sub>-Zielwertüberschreitungen, die sich ab 2010 aus der 33. BImSchV ergeben, konnten an dem Messquerschnitt an der A 61 eingehalten werden. An der A 4 wurde der Zielwert zum Gesundheitsschutz an beiden O<sub>3</sub>-Messstellen mehr als 25-mal überschritten.

Mit einer weiteren Senkung der Schadstoffbelastungen an hochfrequentierten Außerortsstraßen können die Anforderungen der 22. und 33. BImSchV ab dem 01.01.2010 in Bezug auf die Jahres- und Stundenmittelwerte des NO<sub>2</sub> und der Ziel- und Schwellenwerte des O<sub>3</sub> erfüllt werden.

### **Continuous nitric oxide (NO<sub>x</sub>) and ozone (O<sub>3</sub>) measurement value recording at two BABs (Federal Motorways) with different traffic parameters 2004**

The aim of the project was to determine the effects of various traffic parameters on the immission load caused by traffic by nitric oxides and ozone with reference to the intense drop in limits in the amended 22<sup>nd</sup> BImSchV (Federal Immission Control Act) and the new 33<sup>rd</sup> BImSchV for the calendar year 2004 in particular. Data at two measurement cross sections with differing proportions of heavy traffic to the traffic on the whole were recorded for this purpose. The measurement cross section on the A 61 indicates a proportion of heavy traffic to the traffic on the whole that is 2.35 times higher compared to the values registered on the A 4.

The concentration of NO<sub>2</sub> at both measurement cross sections was about the same till mid-2002. However, the extreme summer of the year 2003 apparently influenced the concentration of pollutants on the A 61 measurement cross section more intensely than the NO<sub>2</sub> concentration recorded at the measuring points on the A 4. The values on the A 61 mostly exceeded those on the A 4 from the above mentioned period onwards till mid-2004. On the whole the values at the A 61 lay at a factor of 0.9 to 1 compared to those on the A 4 for the entire period under observation.

The comparison of the ozone load at both measurement cross sections showed a similar behaviour as in the case of the NO<sub>2</sub>-concentration.

On average, the O<sub>3</sub> concentrations on the A 61 lay above those on the A 4 in the years 2002 to 2004 by a factor of 1.6.

The average annual values of NO<sub>2</sub> clearly lie above the average annual limit of NO<sub>2</sub> of 40 µg/m<sup>3</sup> to be maintained from the year 2010 onwards at the measuring points of both measuring cross sections, which fulfil the requirements of the 22<sup>nd</sup> BImSchV with respect to points at which samples can be taken. The average hourly limit of 200 µg/m<sup>3</sup> also required from this point in time onwards could not be maintained at the measurement cross section of the A 61 in particular, but was not exceeded more than 18 times that required from 2010 onwards with respect to the tolerance margins to be taken into consideration in the respective calendar years.

The requirements for the amount of O<sub>3</sub> exceeding target values that will be a result of the 33<sup>rd</sup> BImSchV from 2010 onwards could be maintained at the measurement point on the A 61. The target value for health protection was exceeded by more than 25 times at both O<sub>3</sub> measuring points on the A 4.

The requirements of the 22<sup>nd</sup> and 33<sup>rd</sup> BImSchV can be fulfilled with a further reduction of pollutant loads on roads with heavy traffic outside city limits from 01.01.2010 onwards with reference to the average annual and hourly values of NO<sub>2</sub> and the target and threshold values of O<sub>3</sub>.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	7
1.1	Projektziel .....	7
1.2	Definitionen .....	7
1.3	Rechtlicher Kontext .....	8
<b>2</b>	<b>Messquerschnitte und Messaufbau</b> .....	10
2.1	A 4 (Streckenkilometer 92,7) .....	10
2.2	A 61 (Streckenkilometer 177,5) .....	11
<b>3</b>	<b>Messgeräte und Messdurchführung</b> .....	12
<b>4</b>	<b>Grundlagen des Schad- stoffverhaltens</b> .....	15
4.1	Emissionen und Straßenverkehr .....	15
4.2	Stickstoffoxide NO <sub>x</sub> .....	15
4.3	Ozon O <sub>3</sub> .....	16
<b>5</b>	<b>Messergebnisse</b> .....	16
5.1	DTV und Schwerverkehranteil .....	16
5.2	Meteorologie .....	17
5.3	Stickstoffoxide NO <sub>x</sub> .....	21
5.3.1	Messquerschnitt BAB A 4 .....	21
5.3.2	Messquerschnitt BAB A 61 .....	30
5.4	Ozon O <sub>3</sub> .....	32
5.4.1	Messquerschnitt BAB A 4 .....	32
5.4.2	Messquerschnitt BAB A 61 .....	34
5.5	Vergleich der beiden Messquerschnitte .....	35
5.5.1	Verkehrsbelastungen .....	35
5.5.2	Schadstoffkonzentrationen .....	39
5.5.3	Bezug zu den Anforderungen der 22. BImSchV und 33. BImSchV .....	44
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	46
<b>7</b>	<b>Ausblick</b> .....	47
	<b>Literatur</b> .....	48



# 1 Einleitung

## 1.1 Projektziel

Ziel des Projektes war es, die Auswirkungen unterschiedlicher (Verkehrs-)Parameter (hier insbesondere der Schwerverkehranteil) auf die gesamte verkehrsbedingte Immissionsbelastung durch Stickoxide und Ozon im Hinblick auf die stark abgesenkten Grenzwerte der novellierten 22. Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (22. BImSchV; Umsetzung der EU-Luftqualitätsrahmenrichtlinie 96/62/EG über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität sowie ihrer Tochterrichtlinie 99/30/EG über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft) und der neuen 33. Verordnung zur Verminderung von Sommer-smog, Versauerung und Nährstoffeinträgen zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (33. BImSchV; Umsetzung der EU-Richtlinien 2002/3/EG über den Ozongehalt der Luft und 2001/81/EG über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe) insbesondere für das Kalenderjahr 2004 zu ermitteln.

Dazu wurden Daten zweier Messquerschnitte herangezogen, die die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) an Bundesautobahnen zur Aufnahme verkehrsbedingter Luftschadstoffbelastungen betreibt. Ein Messquerschnitt liegt an der BAB A 4 unmittelbar neben dem Gelände der BASt (Strecken-kilometer 92,7) und liefert seit 1987 Daten über die Konzentrationen der Stickoxidkomponenten NO und NO<sub>2</sub>. Des Weiteren werden dort die Ozonkonzentration (ebenfalls seit 1987) und die Belastung durch Feinstaubpartikel PM<sub>10</sub> (seit Mai 2001) aufgenommen. Eine zweite Messstelle wurde im Jahr 2000 an der BAB A 61 zur Erfassung von Vergleichswerten bezüglich der Stickoxidbelastungen bei unterschiedlichem Schwerverkehrsaufkommen auf dem Betriebsgelände der Autobahnmeisterei Mendig neben dem Rastplatz „Goldene Meile“ (Streckenkilometer 177,5) eingerichtet. Dort werden seit April 2001 die Stickoxidkomponenten NO und NO<sub>2</sub> sowie die Ozonkonzentration kontinuierlich gemessen. Im Dezember 2003 wurde die Messkonfiguration durch die Aufnahme der PM<sub>10</sub>-Belastung ergänzt.

Die beiden Messquerschnitte unterscheiden sich in ihrem Schwerverkehrsanteil wie in Tabelle 1.1 dargestellt.

BAB	DTV [Kfz/24 h]	SV-Anteil [% DTV]
A 4	72.800	9,2
A 61	72.900	21,6

**Tab. 1.1:** Gegenüberstellung des durchschnittlichen täglichen Verkehrs (DTV) und des prozentualen Schwerverkehrsanteils der beiden Messquerschnitte an der BAB A 4 und der BAB A 61 (Bezugswerte 2003)

## 1.2 Definitionen

### Messquerschnitt

Gesamtheit aller Stationen zur Messwertaufnahme an einem Autobahnabschnitt. Für dieses Projekt wurden zwei Messquerschnitte betrieben, einer an der A 4 und einer an der A 61 (s. a. Kapitel 2).

### Messstation

Raum, in dem die Messgeräte zur Aufnahme der Schadstoffkonzentrationen oder der meteorologischen Parameter untergebracht sind. Am Messquerschnitt an der A 4 existieren zurzeit vier Messstationen, zwei Messhütten direkt neben der Trasse, eine im Abgaslabor der BASt und eine meteorologische Station auf dem Dach des BASt-Gebäudes. Am Messquerschnitt an der A 61 existiert eine Messstation in den Räumen der Autobahnmeisterei Mendig.

### Messstelle

Ansaugstelle/Messfühler für eine Schadstoffkomponente (NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>) oder für meteorologische Parameter in einer bestimmten Entfernung zur Fahrbahn.

### Stundenmittelwert

Mittelwert der über eine Stunde aufgenommenen Konzentrationswerte der Schadstoffbelastung. In der 22. BImSchV werden für einige Schadstoffkomponenten (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>) Stundenmittelgrenzwerte gefordert.

### Tagesmittelwert

Mittelwert der über einen betrachteten Tag aufgenommenen Konzentrationswerte der Schadstoffbelastung. In der 22. BImSchV werden für einige Schadstoffkomponenten (SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>) Tagesmittelgrenzwerte gefordert.

### Jahresmittelwert

Mittelwert der über ein Kalenderjahr aufgenommenen Konzentrationswerte der Schadstoffbelastung. In der 22. BImSchV werden für einige Schadstoffkomponenten (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, Pb, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) Jahresmittelgrenzwerte gefordert.



### 98-Perzentile

Der Wert, der von 2 % der aufgenommenen Werte überschritten wird. In der 22. BImSchV beschrieben als 98-Prozent-Wert der Summenhäufigkeit aller während eines Jahres über einen bestimmten Zeitraum gemessenen Werte bzw. Mittelwerte.

### Tagesganglinien

Kurve aller zu einer jeweiligen Tageszeit über ein Kalenderjahr gemittelten Messwerte des dargestellten Parameters.

## 1.3 Rechtlicher Kontext

### NO<sub>2</sub>

In der im September 2002 veröffentlichten Neufassung der 22. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (22. BImSchV) werden durch Umsetzung der EU-Richtlinie 1999/30/EG in nationales Recht Grenz- und Schwellenwerte für Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>), Partikel (PM<sub>10</sub>), Blei (Pb), Benzol (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) und Kohlenmonoxid (CO) vorgegeben, die zum Teil schon bei Inkrafttreten wirksam wurden. Die Grenzwerte und ihre Toleranzmargen für die Schadstoffkomponente NO<sub>2</sub> sind in Tabelle 1.2 aufgeführt.

Werte	NO <sub>2</sub>	
	Stundenmittelgrenzwert	Jahresmittelgrenzwert
Grenzwert	200 µg/m <sup>3</sup>	40 µg/m <sup>3</sup>
Gültigkeit ab	01/2010	01/2010
Toleranzmarge 2002	80 µg/m <sup>3</sup>	16 µg/m <sup>3</sup>
Toleranzmarge 2003	70 µg/m <sup>3</sup>	14 µg/m <sup>3</sup>
Toleranzmarge 2004	60 µg/m <sup>3</sup>	12 µg/m <sup>3</sup>
Toleranzmarge 2005	50 µg/m <sup>3</sup>	10 µg/m <sup>3</sup>
Toleranzmarge 2006	40 µg/m <sup>3</sup>	8 µg/m <sup>3</sup>
Toleranzmarge 2007	30 µg/m <sup>3</sup>	6 µg/m <sup>3</sup>
Toleranzmarge 2008	20 µg/m <sup>3</sup>	4 µg/m <sup>3</sup>
Toleranzmarge 2009	10 µg/m <sup>3</sup>	2 µg/m <sup>3</sup>
Toleranzmarge ab 2010	0	0
erlaubte Überschreitungen ab 01/2010	18/a	-

**Tab. 1.2:** Grenzwerte und Toleranzmargen für NO<sub>2</sub> gemäß RL 1999/30/EG bzw. 22. BImSchV (BGBl, 2002)

NO <sub>2</sub>
98-Perzentil der Stundenmittelwerte (oder kürzerer Zeiträume) 200 µg/m <sup>3</sup>

**Tab. 1.3:** Gültiger Grenzwert für NO<sub>2</sub> bis Inkrafttreten der neuen Grenzwerte (s. Tabelle 1.2) gemäß 22. BImSchV (BGBl, 2002)

Bis die neuen Grenzwerte gültig werden, gilt gemäß 22. BImSchV der in Tabelle 1.3 dargestellte Grenzwert für Stickstoffdioxid.

Die in Tabelle 1.2 aufgeführten Grenzwerte gelten zum Schutze der menschlichen Gesundheit und die Probenahmestellen, an denen Messungen zu diesem Behufe vorgenommen werden, „sollten“ gemäß Anlage 2 Nr. I 22. BImSchV nach großräumigen Standortkriterien „im Allgemeinen so gelegt werden, dass die Messung sehr begrenzter und kleinräumiger Umweltbedingungen in ihrer unmittelbaren Nähe vermieden wird. Als Anhaltspunkt gilt, dass eine Probenahmestelle so gelegen sein sollte, dass sie für die Luftqualität in einem umgebenden Bereich von mindestens 200 m<sup>2</sup> bei Probenahmestellen für den Verkehr und mehreren Quadratkilometern bei Probenahmestellen für städtische Hintergrundquellen repräsentativ ist“.

Des Weiteren wird in Anlage 2 Nr. II 22. BImSchV zu den lokalen Standortkriterien u. a. ausgeführt: „Probenahmestellen für den Verkehr sollten

- in Bezug auf alle Schadstoffe mindestens 25 m von großen Kreuzungen und mindestens 4 m von der Mitte des nächstgelegenen Fahrstreifens entfernt sein;
- für Stickstoffdioxid- und Kohlenmonoxid-Messungen höchstens 5 m vom Fahrbahnrand entfernt sein.“

### NO<sub>x</sub>

Zum Schutz der Vegetation ist gemäß 22. BImSchV ein Jahresmittelgrenzwert der NO<sub>x</sub>-Konzentration von 30 µg/m<sup>3</sup> einzuhalten. Zu der Lage der NO<sub>x</sub>-Messstellen ist in Anlage 2 22. BImSchV vermerkt, dass „... Probenahmestellen, an denen Messungen ... zum Schutz der Vegetation vorgenommen werden“, im Gegensatz zu denen für die Messwertaufnahme zum Schutz der menschlichen Gesundheit so gelegt werden sollten, „dass sie mehr als 20 km von Ballungsräumen oder 5 km von anderen bebauten Gebieten, Industrieanlagen oder Straßen entfernt sind“.

NO <sub>x</sub>
Jahresmittelgrenzwert 30 µg/m <sup>3</sup>

**Tab. 1.4:** Seit Inkrafttreten der novellierten 22. BImSchV im September 2002 einzuhaltender Grenzwert für NO<sub>x</sub> (BGBl, 2002)

### O<sub>3</sub>

Im Juli 2004 trat die neue 33. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (33. BImSchV, Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nähr-

Ziel-/Schwellenwert	Wert	erlaubte Überschreitungen	Mittelungs-/Akkumulationszeitraum
Zielwert Gesundheitsschutz (ab 2010)	120 µg/m <sup>3</sup>	25	8 Stunden
Zielwert Schutz der Vegetation (ab 2010)	18.000 (µg h)/m <sup>3</sup>	-	AOT40 für Mai bis Juli, gemittelt über 5 Jahre
langfristiges Ziel Gesundheitsschutz	120 µg/m <sup>3</sup>	-	8 Stunden
langfristiges Ziel Schutz der Vegetation	6.000 (µg h)/m <sup>3</sup>	-	AOT40 für Mai bis Juli
Informationsschwelle	180 µg/m <sup>3</sup>	-	1 Stunde
Alarmschwelle	240 µg/m <sup>3</sup>	-	1 Stunde

**Tab. 1.5:** Immissionswerte für Ozon gemäß 33. BImSchV (BGBl, 2004)

Art der Probenahmestelle	Ziel der Messungen	Repräsentativität	Kriterien für die großräumige Standortbestimmung
Vorstädtisch	Schutz der menschlichen Gesundheit und der Vegetation: Beurteilung der Exposition der Bevölkerung und Vegetation in vorstädtischen Gebieten und Ballungsräumen mit den höchsten Ozonwerten, denen Bevölkerung und Vegetation direkt oder indirekt ausgesetzt sein dürfen.	10 bis 100 km <sup>2</sup>	In gewissem Abstand von den Gebieten mit hohen Emissionen und auf deren Leeseite, bezogen auf jene Hauptwindrichtungen, welche bei für die Ozonbildung günstigen Bedingungen vorherrschen; wo sich die Wohnbevölkerung, empfindliche Nutzpflanzen oder natürliche Ökosysteme in der Randzone eines Ballungsraumes befinden und hohen Ozonkonzentrationen ausgesetzt sind; gegebenenfalls auch einige Probenahmestellen in vorstädtischen Gebieten auch auf der Hauptwindrichtung zugewandten Seite, um das regionale Hintergrundniveau der Ozonkonzentrationen zu ermitteln.
Ländlich	Schutz der menschlichen Gesundheit und der Vegetation: Beurteilung der Exposition der Bevölkerung, von Nutzpflanzen und natürlichen Ökosystemen gegenüber Ozonkonzentrationen von subregionaler Ausdehnung.	100 bis 1.000 km <sup>2</sup>	Die Probenahmestellen können sich in kleinen Siedlungen oder Gebieten mit natürlichen Ökosystemen, Wäldern oder Nutzpflanzkulturen befinden; repräsentativ für Ozon außerhalb des Einflussbereichs örtlicher Emittenten wie Industrieanlagen und Straßen; in offenem Gelände, jedoch nicht auf Berggipfeln.

**Tab. 1.6:** Kriterien für die Standorte der ortsfesten Ozonprobenahmestellen gemäß 33. BImSchV (BGBl, 2004)

stoffeträger) in Kraft. Durch diese werden die beiden EU-Richtlinien 2002/3/EG (Europäische Richtlinie über den Ozongehalt der Luft) und 2001/81/EG (Europäische Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe) in nationales Recht umgesetzt. Sie regelt neben den nationalen Emissionshöchstmengen für die Schadstoffe Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>), flüchtige organische Verbindungen (NMVOC) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>) auch die Ozonimmissionen. Gleichzeitig wurde die 22. BImSchV novelliert und die 23. BImSchV aufgehoben.

In Tabelle 1.5 sind Ziel- und Schwellenwerte für den Schadstoff Ozon gemäß 33. BImSchV zusammengestellt.

Dabei wird der Wert AOT40 (accumulated exposure over a threshold of 40 ppb) über die Summe der Differenz zwischen der stündlichen Ozonkonzentration und dem Schwellenwert von 40 ppb (= 80 µg/m<sup>3</sup>) in der Zeit zwischen 8:00 und 20:00 Uhr ermittelt. Als Beobachtungszeitraum gilt der Teil der Vegetationsperiode zwischen dem 1. Mai und 31. Juli eines Jahres.

Gemäß Anlage 4 Nr. I 33. BImSchV gilt für die großräumige Standortbestimmung von Ozonprobenahmestellen bei vorstädtischer bzw. ländlicher Art der Probenahmestellen, wie sie an den beiden betrachteten Messquerschnitten vorliegen (s. Tabelle 1.6).

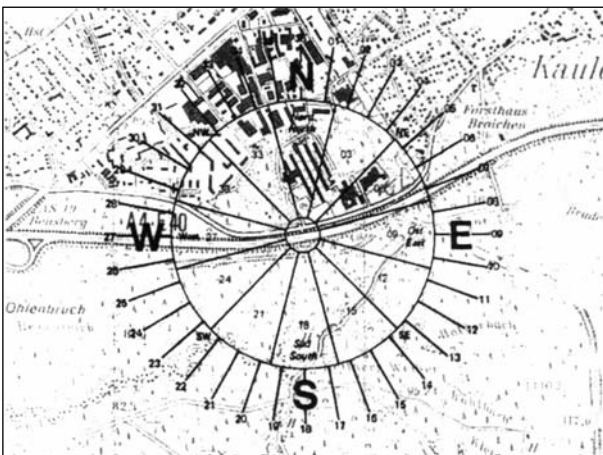
Des Weiteren gelten gemäß Anlage 4 II. 33. BImSchV für die kleinräumige Standortbestimmung von Ozonprobenahmestellen folgende Leitlinien:

1. Hindernisse müssen mindestens um die doppelte Höhe, um die sie über den Messkopf hinausragen, von diesem entfernt sein.
2. Die Höhe des Messeinlasses sollte sich in einer Höhe zwischen 1,5 m und 4 m über Grund befinden.
3. Der Messeinlass soll sich in beträchtlicher Entfernung von Emissionsquellen wie Schornsteinen u. Ä. und bei Straßen in mehr als 10 m Entfernung befinden (hierbei steigt der einzuhalten- de Abstand mit zunehmender Verkehrsdichte).
4. Die Messanordnung muss so beschaffen sein, dass ein Wiedereintritt der Abluft vermieden wird.

## 2 Messquerschnitte und Messaufbau

### 2.1 A 4 (Streckenkilometer 92,7)

Die Messstellen an der in dieser Höhe von W nach O verlaufenden A 4 liegen auf dem Mittelstreifen sowie zu beiden Seiten der Autobahntrasse (s. Bilder 2.1 und 2.2). Die Analysegeräte sind in zwei Messstationen zu beiden Seiten der Trasse sowie im Abgaslabor der BASt untergebracht. In südlicher Richtung befinden sich drei Messstellen bis in ein Waldgebiet (Königsforst) hinein, in nördlicher Richtung drei Messstellen in Richtung des BASt-Gebäudes, wobei auf einem der Dächer desselben

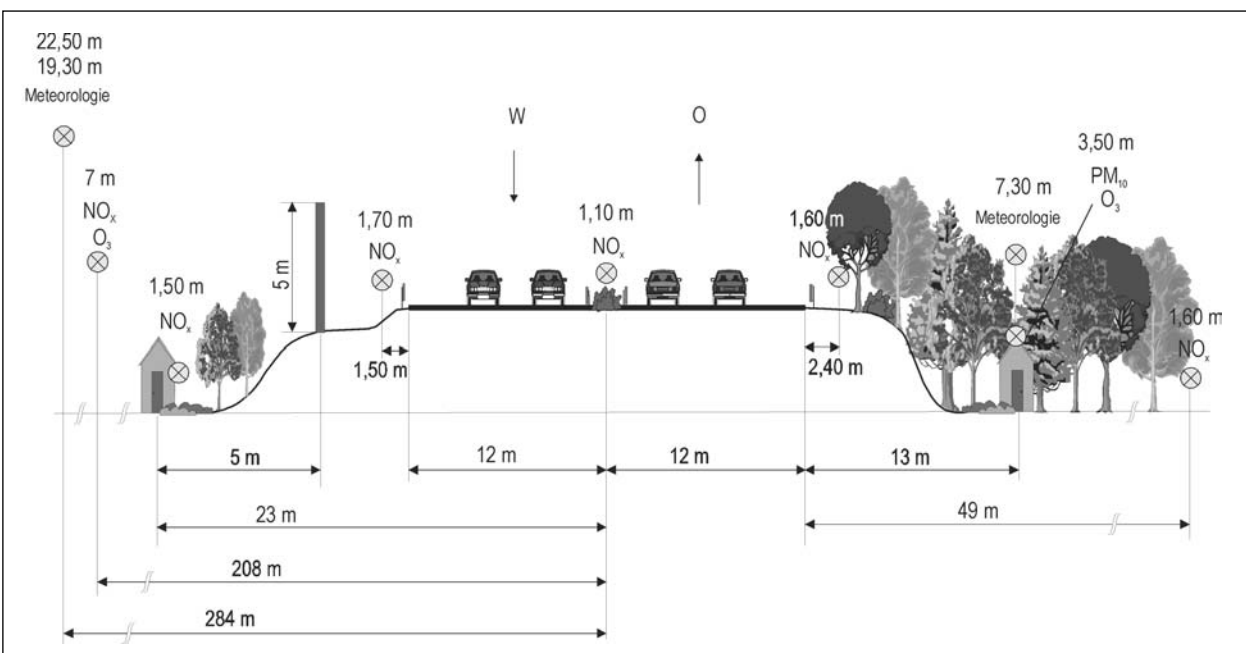


**Bild 2.1:** Topografische Lage des Messquerschnitts (im Zentrum der Windrose) an der A 4 neben dem Gelände der BASt

die Parameter Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Temperatur, Feuchte und Gesamtstrahlung aufgenommen werden. In beiden Fahrrichtungen sind Schleifendetektoren zur Erfassung von Verkehrsstärke und -zusammensetzung in die Fahrbahn eingelassen. Im Jahr 1997 wurde auf der

Messstelle	Laterale Lage gegenüber Fahrbahn	Höhe	Messparameter
5O	49 m südlich des Fahrbahnrandes (Richtung Olpe)	1,6 m über Grund	NO NO <sub>2</sub>
4O	13 m südlich des Fahrbahnrandes (Richtung Olpe)	3,5 m über Grund (O <sub>3</sub> und PM <sub>10</sub> ) 7,3 m über Grund (Meteorologie)	O <sub>3</sub> PM <sub>10</sub> Meteorologie
1O	2,4 m südlich des Fahrbahnrandes (Richtung Olpe)	1,6 m über Grund	NO NO <sub>2</sub>
MS	Mittelstreifen	1,1 m über Grund	NO NO <sub>2</sub>
1K	1,5 m nördlich des Fahrbahnrandes (Richtung Köln)	1,7 m über Grund	NO NO <sub>2</sub>
2K	11 m nördlich des Fahrbahnrandes (Richtung Köln)	1,5 m über Grund	NO NO <sub>2</sub>
Labor	208 m nördlich des Fahrbahnrandes (Richtung Köln)	7 m über Grund	NO NO <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Meteorologie	284 m nördlich des Fahrbahnrandes (Richtung Köln)	22,5 m über Grund (Windparameter) 19,3 m über Grund (Strahlung, Temperatur)	Meteorologie

**Tab. 2.1:** Messstellen des Messquerschnitts an der A 4



**Bild 2.2:** Messquerschnitt an der A 4; Seitenansicht in Richtung Osten (Olpe)

Trassennordseite eine etwa 5 m hohe Lärmschutzwand (Oberkante etwa 4,5 m über Fahrbahnniveau) errichtet. Die einzelnen Messstellen sind in Tabelle 2.1 dargestellt.

An dem Messquerschnitt an der A 4 existiert eine vorherrschende Windrichtung aus dem Bereich 120–150° (OSO – SSO, s. Bild 2.1 und Kapitel 5.2). Auf der nördlichen Trassenseite verläuft eine mäßig befahrene Gemeindestraße, hinter der sich direkt das Gelände der BAST anschließt, während im Süden das oben erwähnte ausgedehnte Waldgebiet angrenzt.

Somit erfüllen die Messstellen 1O und 1K für die NO<sub>2</sub>-Komponente die lokalen Standortkriterien für Probenahmestellen aus Anlage 2 Nr. II 22. BImSchV. Darüber hinaus kann der gesamte Messquerschnitt als repräsentativ für einen umgebenden Bereich von mindestens 200 m<sup>2</sup> gemäß Anlage 2 Nr. I 22. BImSchV angesehen werden (s. Kapitel 1.3).

Die O<sub>3</sub>-Messstelle 4O erfüllt die Anforderungen des Anhangs 4.33. BImSchV.

## 2.2 A 61 (Streckenkilometer 177,5)

Der Messquerschnitt an der dort von NW nach SO verlaufenden A 61 bei Streckenkilometer 177,5 liegt auf dem Betriebsgelände der Autobahnmeisterei Mendig, auf dem diese eine Salzhalle betreibt (s. Bild 2.3). Unmittelbar angrenzend befindet sich in Fahrtrichtung Koblenz der Rastplatz „Goldene Meile“.

Der Messquerschnitt ist umgeben von landwirtschaftlichen Nutzflächen und frei von Wohn- oder

landwirtschaftlicher Bebauung. Schleifendetektoren für die Erfassung von Verkehrsstärke und -zusammensetzung in beiden Fahrrichtungen sind ebenso vorhanden wie eine Messstelle zur Aufnahme der meteorologischen Parameter. Die Messgeräte befinden sich in einem Nebenraum der Salzhalle, der als Aufenthaltsraum für die Bediensteten der Autobahnmeisterei dient. Es wird eine vorherrschende Windrichtung aus 220–230° (SW) beobachtet (s. a. Kapitel 5.2), also senkrecht zum Verlauf der Autobahn.

Die Messstellen sind wie in Tabelle 2.2 verteilt.

Hier erfüllen die Messstellen 1KO für die NO<sub>2</sub>-Komponente die Anforderungen aus Anlage 2 Nr. I und II 22. BImSchV. Auch der Messquerschnitt an der A 61 kann als repräsentativ für einen umgebenden Bereich von 200 m<sup>2</sup> gemäß Anlage 2 Nr. I 22. BImSchV angesehen werden (s. Kapitel 1.3).

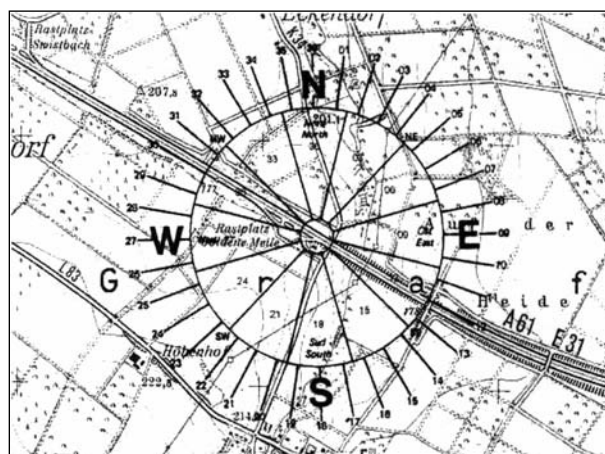


Bild 2.3: Topografische Lage des Messquerschnitts (im Zentrum der Windrose) an der A 61

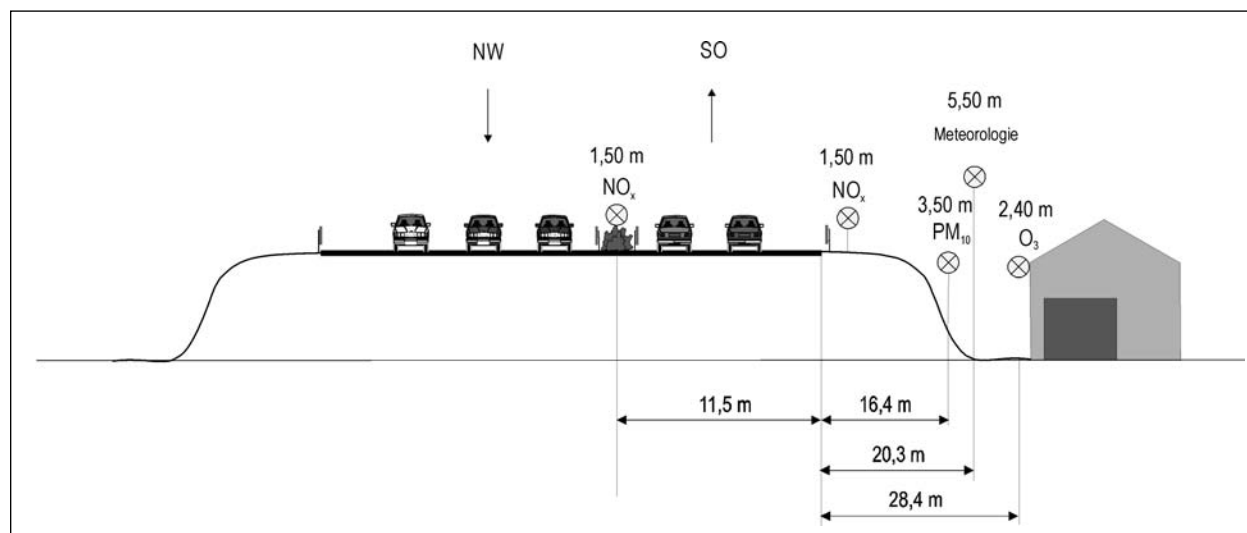


Bild 2.4: Messquerschnitt an der A 61; Seitenansicht in Richtung Südosten (Koblenz)

Messstelle	Laterale Lage gegenüber Fahrbahn	Höhe	Messparameter
MS	Mittelstreifen	1,5 m über Grund	NO NO <sub>2</sub>
1KO	1,5 m von Fahrbahnrand (Richtung Koblenz)	1,5 m über Grund	NO NO <sub>2</sub>
2KO	16,4 m von Fahrbahnrand (Richtung Koblenz)	3,5 m über Grund	PM <sub>10</sub>
Meteorologie	20,3 m von Fahrbahnrand	5,5 m über Grund	Windgeschw. Windrichtung
3KO	28,4 m von Fahrbahnrand (Richtung Koblenz)	2,4 m über Grund	O <sub>3</sub>

Tab. 2.2: Messstellen des Messquerschnitts an der A 61

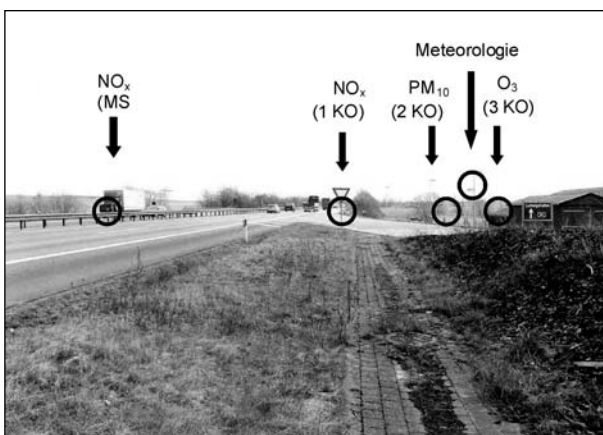


Bild 2.5: Messquerschnitt an der A 61; Übersicht über die Standorte der Messstellen. Auf der rechten Bildseite befindet sich der Rastplatz „Goldene Meile“; Blickrichtung ist SO

Die Messstelle 3KO erfüllt nicht alle Kriterien des Anhangs 4 33. BImSchV, da sich der Messeinlass nicht weit genug von der Gebäudekante der Salzhalle entfernt befindet.

### 3 Messgeräte und Messdurchführung

Die Messgeräte sind in Messstationen entlang der Messquerschnitte sowie im Abgaslabor der BAST untergebracht. Es stehen folgende Geräte für die unterschiedlichen Komponenten zur Verfügung:

NO<sub>x</sub>-Analysegeräte:

- ML 8840 (Monitor Labs)
- ML 9841A (Monitor Labs)
- API 200 (Advanced Pollution Instruments)
- CLD 700 AL (Eco Physics)

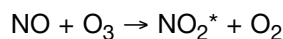


Bild 3.1: Einsicht in eine der Messstationen an der A 4

Funktionsweise:

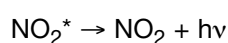
Alle aufgeführten Geräte arbeiten nach dem Chemolumineszenzprinzip, wobei durch eine Reaktion zweier oder mehrerer Chemikalien ein angeregtes Teilchen gebildet wird, das seine Energie durch die Abgabe eines Lichtquants wieder verliert.

Der Bestimmung der NO- bzw. NO<sub>2</sub>-Konzentration liegt die Reaktion zwischen dem zu messenden Stickoxid und dem mit einem Ozonisorator erzeugten und dem angesaugten Probegas zugesetzten O<sub>3</sub> zugrunde (HOLZBAUR, KOLB, 1996):



NO<sub>2</sub>\*: NO<sub>2</sub> im angeregten Zustand.

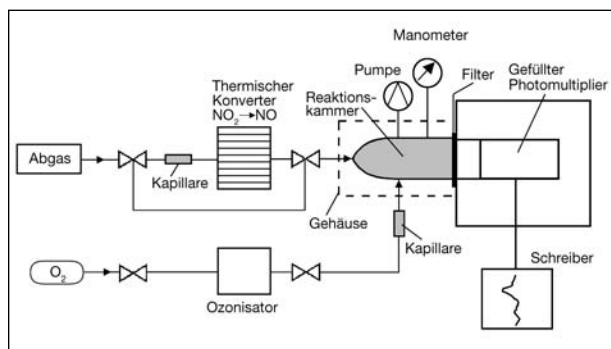
Ein konstanter Anteil (etwa 20 %) des bei dieser Oxidation entstehenden Stickstoffdioxids befindet sich nach der Reaktion in einem angeregten Zustand und kehrt unter Abgabe dieser Energiedifferenz als Strahlung mit der Energie  $h\nu$  in seinen Grundzustand zurück:



$h$ : PLANCKsches Wirkungsquantum =  
6,6262 10<sup>-34</sup> Js,

$\nu$ : Frequenz der Strahlung.

Hierbei wird eine Breitbandstrahlung von 500 bis 3.000 nm abgegeben, wobei das Intensitätsmaxi-

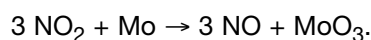


**Bild 3.2:** Schematische Darstellung des Chemolumineszenzverfahrens (HOLZBAUR, KOLB, 1996)

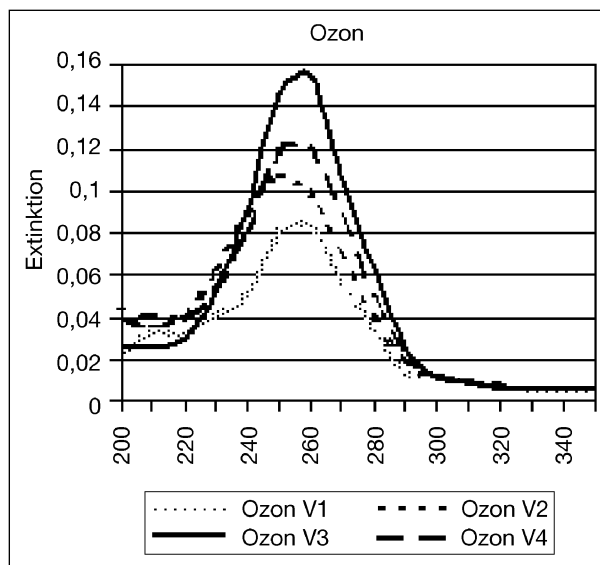
imum der Chemolumineszenz bei einer Wellenlänge von etwa 1.200 nm liegt. Wenn das zur Reaktion benötigte Hilfsgas  $O_3$  im Überschuss vorhanden ist, ist die Intensität der Chemolumineszenzreaktion bei konstanten Reaktionsbedingungen der  $NO$ -Konzentration im Probegasstrom proportional.

Jedoch wird der größte Teil des  $NO_2^*$  strahlungslos über Stöße mit anderen Molekülen deaktiviert, weshalb die Reaktion für einen stabilen Messeffekt und eine hohe Lichtausbeute in einer Reaktionskammer mit konstantem tiefen Innendruck stattfindet (Wahrscheinlichkeit, dass die Energie an Stoßpartner abgegeben wird, ist proportional zum Absolutdruck). In diese Kammer strömt Luft, die vorher über einen Ozonisator geleitet wurde. Die teilweise Umwandlung des Luftsauerstoffs in Ozon geschieht durch eine elektrische Entladung (Lichtbogen) oder durch UV-Bestrahlung. Durch eine weitere Öffnung wird dem Reaktionsraum ein konstanter Probegasstrom (Messgut) zugemischt. Am Ausgang der Reaktionskammer befindet sich zur Vermeidung von Umweltbelastungen ein Ozonfilter. Die Chemolumineszenz wird hinter einem Interferenzfilter mit einem Photomultiplier gemessen, der die schwachen Lichtimpulse durch Photoeffekt, Kettenreaktion und dadurch ausgelöste Elektronenlawine in einen elektrischen Ladungsimpuls umwandelt und diesen dann verstärkt.

Zur Bestimmung von Stickstoffdioxid-Konzentrationen wird das Probegas vor der Analyse über einen thermischen Konverter geleitet, der  $NO_2$  zu  $NO$  reduziert. Dabei läuft mit dem Reduktionsmittel Molybdän bei etwa 325 °C folgende Reaktion ab (Eco Physics):



Das  $NO$  kann dann gemessen und die  $NO_2$ -Konzentration folgendermaßen bestimmt werden:



**Bild 3.3:** Absorptionsspektrum von Ozon mit dem Absorptionsmaximum bei 253,7 nm ([www.uni-essen.de/chemiedidaktik/DigitVero/Ozon/Ozon11Abbs2.htm](http://www.uni-essen.de/chemiedidaktik/DigitVero/Ozon/Ozon11Abbs2.htm))

1.  $NO$ -Messung  
Betrieb ohne Konverter;  $NO$  wird alleine gemessen,
2.  $NO_x$ -Messung  
Betrieb mit Konverter; das  $NO_2$  wird zu  $NO$  reduziert und dieses zusammen mit dem anfänglich vorhandenen  $NO$  bestimmt,
3.  $NO_2$ -Messung  
Differenz aus Gesamtkonzentration  $NO_x$  (Betrieb mit Konverter) und Konzentration  $NO$  (Betrieb ohne Konverter) ergibt die  $NO_2$ -Konzentration.

Durch ein Zwei-Kammern-Prinzip können die Schritte 1 und 2 gleichzeitig nebeneinander ablaufen, indem das Probegas in zwei gleiche Ströme aufgeteilt wird, von denen einer direkt zur  $NO$ -Messkammer ( $NO$ -Messung) und einer über den Konverter in die  $NO_x$ -Messkammer ( $NO_x$ -Messung) gelangt.

$O_3$ -Analysegeräte:

- ML 8810 (Monitor Labs)
- ML 9811 (Monitor Labs)

Funktionsweise:

Ozon hat die Eigenschaft, kurzwellige UV-Strahlung größtenteils zu absorbieren. Bei der Ozonkonzentrationsbestimmung wird diese UV-Absorption des Ozons bei einer Wellenlänge von 253,7 nm genutzt (s. Bild 3.3). Eine Quecksilberdampflampe mit

dieser Emissionslinie (253,7 nm) dient als UV-Lichtquelle, deren Strahlung in ein UV-Photometer durch den ozonhaltigen Probestrom tritt. Das Ozon absorbiert, je nach seiner Konzentration im Messstrom, mehr oder weniger Strahlungsintensität dieser Wellenlänge.

Zunächst wird eine Referenzmessung vorgenommen und die Lichtintensität  $I_0$  gemessen. Danach tritt Umgebungsluft in die Messzelle, in der für die Ozonbestimmung die Lichtintensität  $I$  gemessen wird. So werden im 10-Sekunden-Takt durch einen Vakuumphotodetektor abwechselnd die Transmission einer ozonfreien Probe (um diese zu erhalten wird Luft über ein mit Mangandioxid  $MnO_2$  beschichtetes Ozonfilter geleitet) und die Transmission der Messprobe in einer Küvette bestimmt. Nach dem LAMBERT-BEER'schen Absorptionsgesetz (KÜMMEL, PAPP, 1990),

$$I = I_0 e^{-aKI}$$

$a$  = Absorptionskoeffizient

$K$  = Konzentration der zu untersuchenden Probe

$I$  = optische Weglänge in der Probe,

das die Abnahme der Lichtintensität bei Durchlaufen von Licht durch ein Probemedium beschreibt, lässt sich daraus, mit Hilfe des Absorptionskoeffizienten von Ozon sowie der Küvettenlänge, die Ozonkonzentration berechnen, die proportional zum Verlust der UV-Intensität in der Messzelle ist (Monitor Labs, 1998):

$$KO_3 = \left( -\frac{1}{aI} \ln \frac{I}{I_0} \right) \left( \frac{T}{273} \right) \left( \frac{760}{P} \right) \left( \frac{10^6}{L} \right)$$

$KO_3$  =  $O_3$ -Konzentration in ppm

$a$  = Absorptionskoeffizient von  $O_3$  bei 254 nm,  $0^\circ C$  und 760 torr

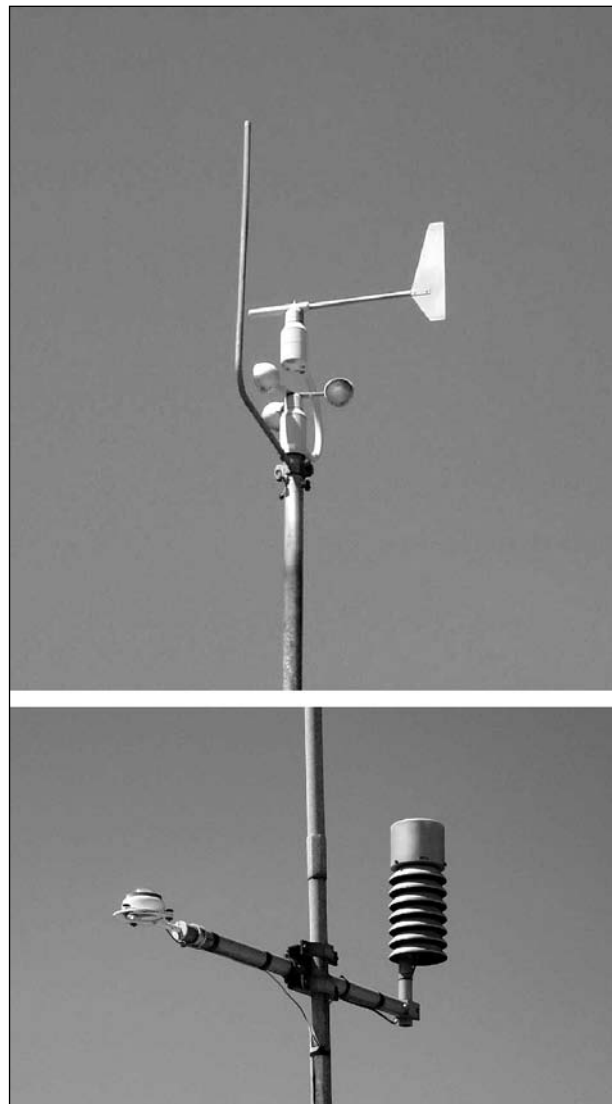
$I$  = optische Weglänge in cm

$T$  = Temperatur der Messprobe in  $^\circ K$

$P$  = Druck der Messprobe in torr

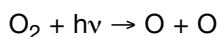
$L$  = Korrekturfaktor für den  $O_3$ -Verlust

Die verwendeten Geräte enthalten für Funktionsprüfungen und Vergleichsmessungen einen internen Ozon-Generator. Umgebungsluft wird hier durch ein Ozon- und ein Partikelfilter (durchlässig für  $PM_{10}$ -Partikel mit aerodynamischem Durchmesser  $< 5 \mu m$ ) gesaugt und tritt dann in den Ozon-Generator ein. Dort sendet eine Quecksilberdampf-Lampe UV-Licht mit einer Wellenlänge von 185 nm aus und spaltet die diese Strahlung absorbierenden Sauerstoffmoleküle  $O_2$  in atomaren Sauerstoff.  $O$  verbindet sich daraufhin mit  $O_2$  zu



**Bild 3.4:** Wind- und Strahlungsmesser auf dem Dach des BAST-Gebäudes

Ozon (Monitor Labs, 1998, HOLZBAUER, KOLB, 1996):



$M$ : Stoßpartner (führt die Reaktionsenergie ab)

So erzeugt die Hg-Dampf-Lampe einen konstanten Ozonfluss. Dabei ist der an die Lampe angelegte Strom proportional zur Konzentration des entstandenen Ozons.

Meteorologie-Analysegeräte:

- Kombiniertes Windmesser
- Strahlungsmesser (Pyranometer)
- Hygrometer

Funktionsweisen:

Der kombinierte Windmesser erfasst Windgeschwindigkeit (durch einen trägheitsarmen Schalenstern) und Windrichtung (durch eine trägheitsarme Leichtmetallwindfahne) und wandelt diese in elektrische Signale um. Er kann in einem Geschwindigkeitsbereich von 0 bis 40 m/sec eingesetzt werden. Zusätzlich ist er gegen Eis- und Raureifbildung im Winterbetrieb mit einer thermostatisch geregelten elektrischen Heizung ausgestattet.

Der Strahlungsmesser (Pyranometer) auf dem Dach des BAST-Gebäudes erfasst die kurzwellige Strahlung im Spektralbereich von 0,3 bis 3  $\mu\text{m}$  (s. Bild 3.4). Diese Strahlung im sichtbaren Wellenbereich des Sonnenspektrums wird Globalstrahlung genannt und setzt sich aus der direkten Sonnenstrahlung und der diffusen Himmelsstrahlung, gemessen auf eine horizontale Fläche, zusammen. Die Strahlungsintensität wird durch die Temperaturdifferenz zwischen schwarzen und weißen Plättchen gemessen. Diese Temperaturdifferenz wird durch eine hochempfindliche Thermosäule abgegriffen; die dabei entstehende Thermospannung ist ein Maß für die gemessene Strahlung.

Das Hygrometer misst die relative Luftfeuchtigkeit in einem Messbereich von 10 bis 100 % relativer Feuchte.

## 4 Grundlagen des Schadstoffverhaltens

### 4.1 Emissionen und Straßenverkehr

Der Gesamtverkehr hat zurzeit nach Angaben des Umweltbundesamtes ([http://www.umweltbundesamt.de/luft/emissionen/bericht/aktuelledaten/schadstoffe/Daten4nox/schadstoff\\_nox.htm](http://www.umweltbundesamt.de/luft/emissionen/bericht/aktuelledaten/schadstoffe/Daten4nox/schadstoff_nox.htm), Stand 2002) einen Anteil an den  $\text{NO}_x$ -Emissionen in Deutschland von 58 %; davon entfallen 44 % auf die Nutzfahrzeuge, wobei diese nur einen Anteil von 11 % des Gesamtverkehrs repräsentieren.

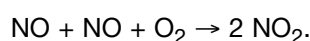
Ozonvorläufersubstanzen sind gasförmige Emissionen, die indirekt zum Treibhauseffekt beitragen. Hierzu gehören Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ) und flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC, Non-methan Volatile Organic Compounds). Aufgrund der großen zeitlichen und räumlichen Variabilität der Konzentration dieser Stoffe ist es momentan nicht möglich, eine belastbare quantitative Aussage über die

Klimaauswirkungen der zeitlichen und räumlichen Veränderung der Ozonverteilung durch die anthropogenen Emissionen, also auch den Straßenverkehr, zu machen ([http://www.umweltbundesamt.de/luft/emissionen/situation\\_de/schadstoffe/ozonvorlaeufer/ozonvorlaeufer.htm](http://www.umweltbundesamt.de/luft/emissionen/situation_de/schadstoffe/ozonvorlaeufer/ozonvorlaeufer.htm), Stand 2002).

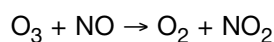
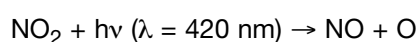
### 4.2 Stickstoffoxide $\text{NO}_x$

Unter der Bezeichnung Stickstoffoxide  $\text{NO}_x$  wird die Summe von Stickstoffmonoxid NO und Stickstoffdioxid  $\text{NO}_2$  verstanden und mit  $\text{NO}_x$ -Konzentration die Summe der Einzelkonzentrationen von NO und  $\text{NO}_2$  bezeichnet.

Die toxisch wirkenden  $\text{NO}_x$  tragen einen wesentlichen Anteil zu den allgemeinen Luftverunreinigungen bei. Sie entstehen bei Verbrennungsprozessen unter den dabei herrschenden hohen Temperaturen, bei denen Stickstoff und Luftsauerstoff miteinander zu Stickstoffoxiden reagieren, sowie durch eine Umsetzung der im Brennstoff enthaltenen Stickstoffverbindungen (Umweltbundesamt, 1991). Bei diesen Prozessen wird vorzugsweise NO gebildet, welches in der Troposphäre bei Kontakt mit Luft-Sauerstoff  $\text{O}_2$  zu dem (insbesondere für den Respirationstrakt) gesundheitsschädlicheren  $\text{NO}_2$  umgewandelt wird gemäß der Reaktionsgleichung:



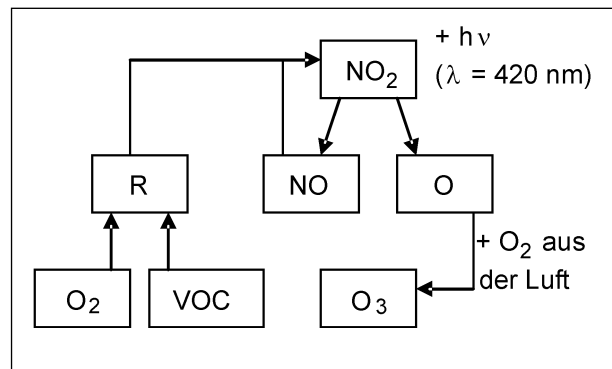
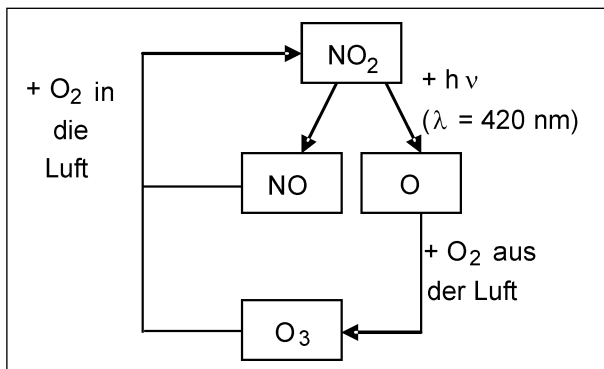
Durch seine hohe Reaktionsfreudigkeit besitzt NO nur eine kurze Lebensdauer und wirkt damit vor allem am Ort seines Entstehens. In Reinquft, also bei Abwesenheit von anderen reaktiven Teilchen, wird NO nur sehr langsam in  $\text{NO}_2$  umgewandelt. Jedoch sinkt die Lebensdauer von NO mit zunehmender Anwesenheit reaktiver Teilchen, wie z. B. auch  $\text{O}_3$ , durch die deutliche Beschleunigung der photochemischen Reaktion von NO zu  $\text{NO}_2$ . Dabei herrscht durch die photochemische Instabilität von  $\text{NO}_2$  ein dynamisches Gleichgewicht zwischen NO und  $\text{NO}_2$ , in dessen Reaktionsfolge NO,  $\text{NO}_2$ , O,  $\text{O}_2$  und  $\text{O}_3$  in einem Kreislauf wie folgt gebildet und wieder abgebaut werden (BLIEFERT, 2002).



M: Stoßpartner (M =  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ )

$\lambda$ : Wellenlänge der abgegebenen Strahlung

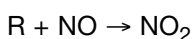
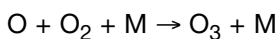
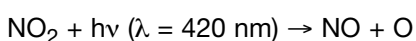




Bei erhöhten Stickstoffoxidbelastungen wurden vermehrt Atemwegserkrankungen festgestellt sowie eine verstärkte Schädigung auf Pflanzen beobachtet. Aus  $\text{NO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  bildet sich Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ), die im Boden zu Nährstoffauswaschung und in kalkarmen Gebieten zur Versauerung von Böden und Gewässer führt; zudem greift  $\text{NO}_2$  die Schleimhäute und Atemwege an.  $\text{NO}$  gelangt wegen seiner geringen Wasserlöslichkeit in den Bereich der Lungenbläschen, wo es bei entsprechend hoher Konzentration zu Zellschädigung, Austritt von Blutflüssigkeit und einer Verminderung des Gasaustausches  $\text{O}_2/\text{CO}_2$  kommen kann (HOLZBAUR et al., 1996).

### 4.3 Ozon $\text{O}_3$

Aus den Vorläufersubstanzen Stickoxide und Kohlenwasserstoffe wird in Bodennähe unter Einwirkung der Sonnenstrahlung Ozon gebildet. Der Bildungsmechanismus durch Reaktion des Stickstoffdioxids mit dem Sonnenlicht wurde schon im vorherigen Unterkapitel 4.2 dargestellt. Man sieht, dass Ozonentstehung und Ozonzerfall mit kurzer Zeitverzögerung im Gleichgewicht sind. Sobald allerdings weitere Reaktionspartner vorhanden sind, wie z. B. Kohlenwasserstoffe, übernehmen deren Radikale die Rolle des Ozons als Oxidationsmittel für das  $\text{NO}$ ; auf diese Weise entsteht ein Ozonüberschuss:



M: Stoßpartner, R: Radikale der VOC

Das Sonnenlicht spielt neben den Vorläufersubstanzen eine entscheidende Rolle bei der Ozonbildung. So stellt man bei Messungen einen direkten Zusammenhang zwischen Sonnenscheindauer und Grenzwertüberschreitungen der Ozongrenzwerte fest (TCS, 1997).

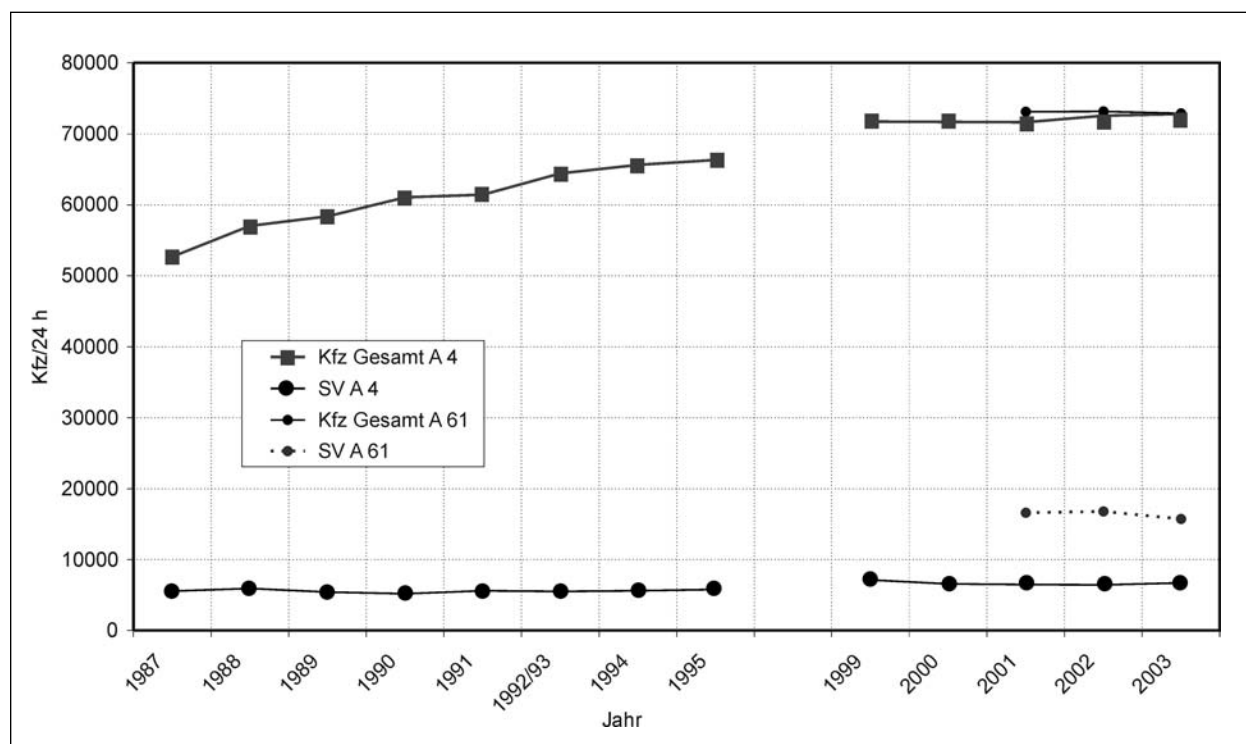
Durch  $\text{O}_3$  können weitere Reaktionen ausgelöst werden, wie z. B. die Bildung von OH-Radikalen über die photochemische Reaktion, in der sich ein elektronisch angeregtes Sauerstoffmolekül bildet und mit  $\text{H}_2\text{O}$  zu OH-Radikalen verbindet. Diese sind sehr starke Oxidationsmittel; einerseits reagieren sie mit vielen Schadstoffen und entfernen sie dadurch aus der Atmosphäre, andererseits führen sie zu Schädigungen von Zellmembranen, Enzymen und pflanzlichen Zellen. Ab  $0,1 \text{ mg O}_3$  pro  $\text{m}^3$  Luft können Kopfschmerzen auftreten, ab  $0,2 \text{ mg/m}^3$  ist mit Augenreizungen und ab  $0,3 \text{ mg/m}^3$  mit Brustschmerzen zu rechnen (HOLZBAUR et al., 1996).

Hohe  $\text{O}_3$ -Konzentrationen treten vor allem bei Inversionswetterlagen auf, wenn wärmere höhere Luftschichten über kälteren Luftschichten in Bodennähe einen vertikalen Luftaustausch verhindern und die Schadstoffkonzentrationen daher stetig zunehmen.

## 5 Messergebnisse

### 5.1 DTV und Schwerverkehranteil

Die Entwicklung des DTV und der zugehörigen Schwerverkehranteile an beiden Messquerschnitten kann Bild 5.1 entnommen werden. Die Daten wurden für den Zeitraum der jeweiligen Messwertfassung aufgezeichnet. In den Jahren 1996 bis 1998 ist am Messquerschnitt an der A 4 keine Da-



**Bild 5.1:** Entwicklung des DTW und der Schwerverkehranteile an beiden Messquerschnitten in den Jahren 1987 bis 2003 (für das Jahr 2004 lagen keine abschließend geprüften Daten vor)

tenaufnahme möglich gewesen, da Baumaßnahmen mit unterschiedlichen Verkehrsführungen durchgeführt wurden und das Verkehrserfassungsgerät daher deinstalliert worden war.

An der A 4 nahm der DTW seit Beginn der Messwertaufnahme im Jahr 1987 um etwa 38 % zu, wobei der Schwerverkehr nur leicht angestiegen ist. Dies bedeutet für den Schwerverkehranteil am DTW eine Abnahme von 11 % auf etwa 9 %.

An der A 61 werden der A 4 vergleichbare DTW-Werte gemessen, wobei ein über die Jahre gleich bleibender Schwerverkehranteil von etwa 21 bis 22 % vorliegt.

Unter den Begriff Schwerverkehr fallen in diesen Betrachtungen Busse sowie SV > 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht ohne und mit Anhänger einschließlich Sattelzügen (LAFFONT et al., 2004).

## 5.2 Meteorologie

An den beiden Messquerschnitten werden seit unterschiedlich langen Zeiträumen meteorologische Parameter aufgenommen. Die Meteorologiemessstelle auf dem Gebäude der BAST, die Windparameter, Feuchte, Temperatur und Strahlung aufnimmt, wird seit Installation des Messquerschnitts

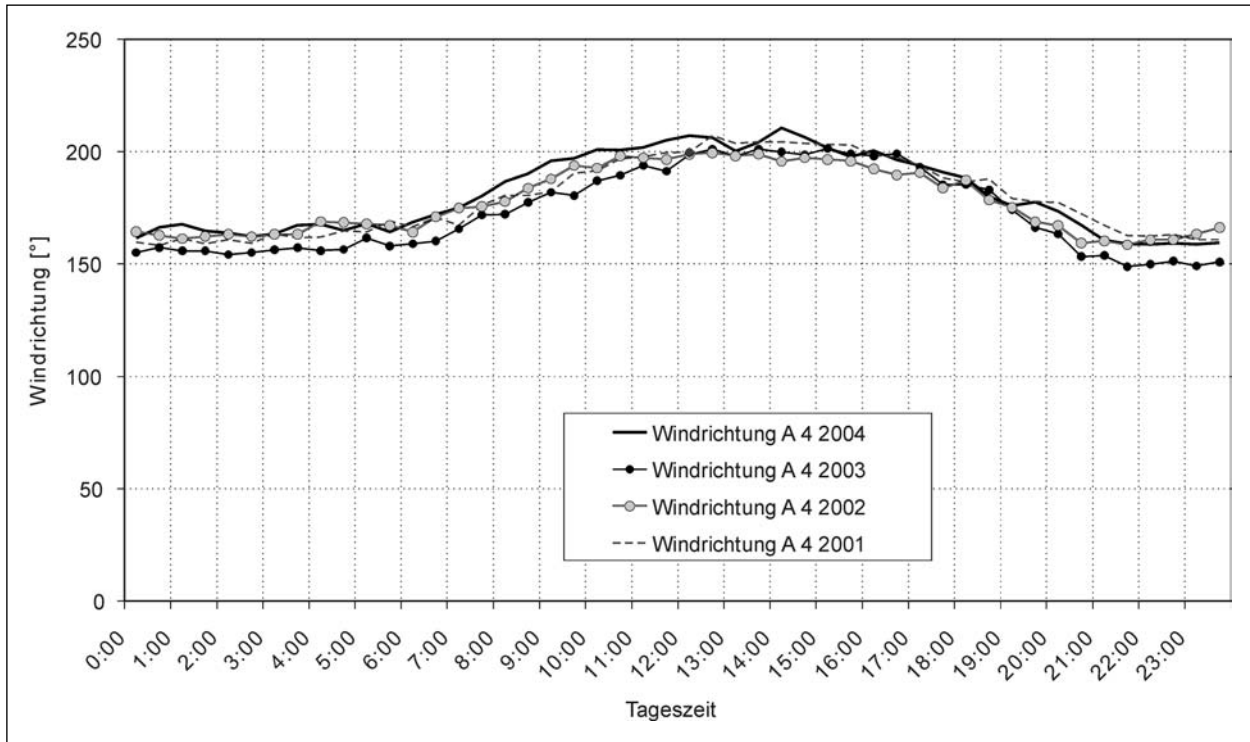
an der A 4 betrieben. Für sie werden die Daten der Jahre 2001 bis 2004 dargestellt.

Die meteorologischen Werte Windrichtung und Windgeschwindigkeit werden an dem Messquerschnitt an der A 61 seit 2003 aufgenommen.

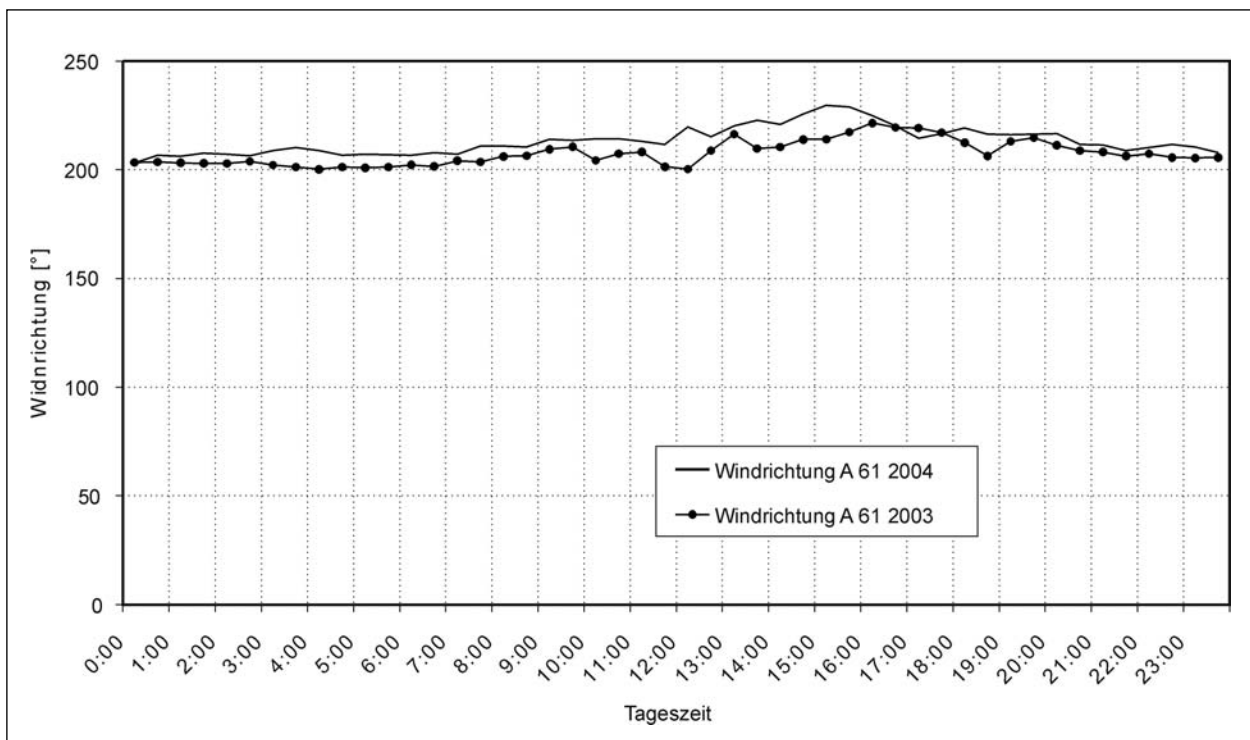
Bei den Tagesganglinien der Windrichtungen an der A 4 ist deutlich zu sehen, dass tendenziell in der Mittagszeit bis in den späten Nachmittag hinein eine Windrichtung um  $200^\circ$  vorherrscht, wohingegen sich diese in den restlichen Tagesstunden zwischen  $150^\circ$  und  $170^\circ$  bewegt (s. Bild 5.2). Dieses Verhalten deutet auf ein tagesperiodisches lokales Windsystem hin, da die Windrichtung eine der wenigen meteorologischen Größen ist, die im allgemeinen keinem Tagesgang unterliegt, wie dies auch am Messquerschnitt an der A 61 zu beobachten ist (s. Bild 5.3). An der A 4 führen möglicherweise unterschiedliche Verdunstungsvorgänge zwischen dem Waldgebiet Königsforst und dem angrenzenden Wohngebiet sowie der Autobahn zu diesen periodischen Windrichtungsschwankungen. Der Wald speichert Feuchtigkeit sehr gut, demgegenüber heizt sich Asphalt schnell auf, kühlt jedoch auch schnell wieder ab. Auf diese Weise entstehen insbesondere bei starker Sonneneinstrahlung über Fahrbahn und Wohngebiet tagsüber lokal aufsteigende Luftmassen, während sich die Luft über dem

Wald abkühlt und wieder absinkt, sodass kleinräumig Luftmassen vom Wald in Richtung Autobahn und Wohngebiet wehen. In den Nachtstunden, wenn der Asphalt schneller abkühlt als die Luft über dem Waldgebiet, kehrt sich dieses System um. An

der A 61, an der weder Bewuchs noch nennenswerte Bebauung auftreten, ist zu beobachten, dass die Windrichtung keinem Tagesgang unterliegt (s. Bild 5.3). Der mittlere Tagesverlauf schwankt ohne Einfluss der Tageszeit um etwa 200 bis 210°.



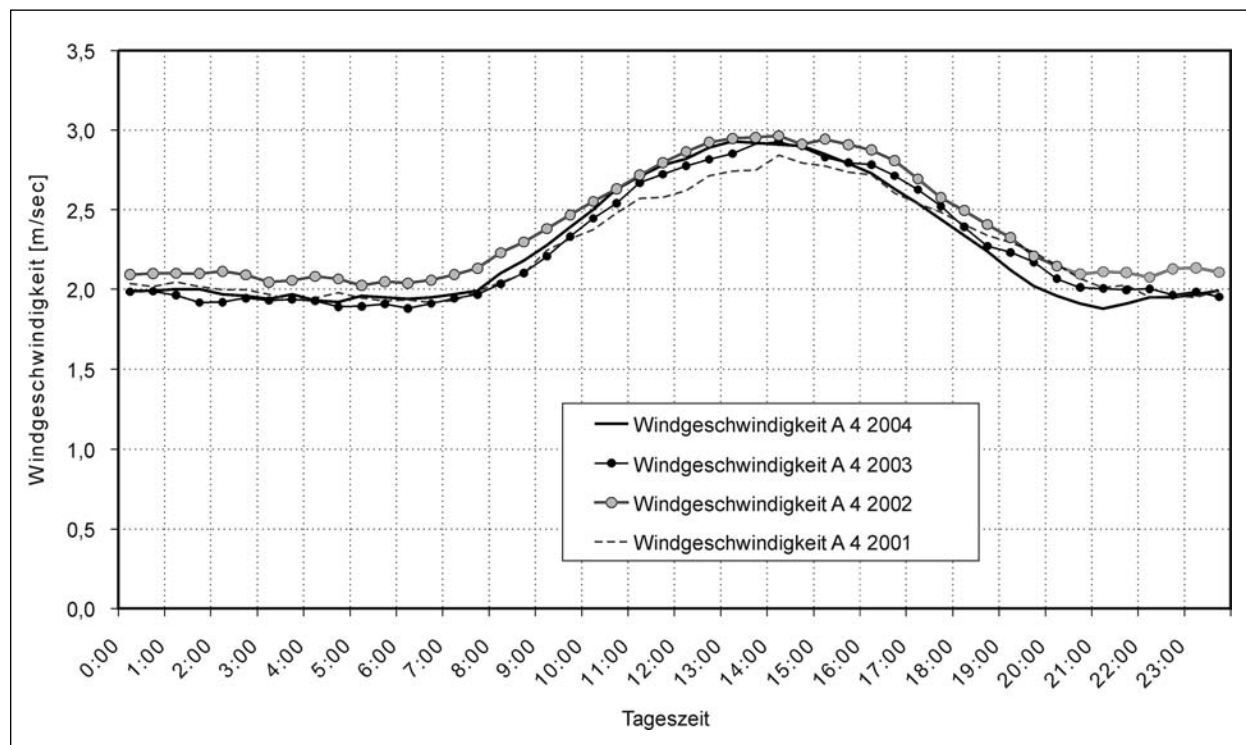
**Bild 5.2:** Tagesganglinien der Windrichtung an beiden meteorologischen Messstellen der A 4 für die Jahre 2001 bis 2004



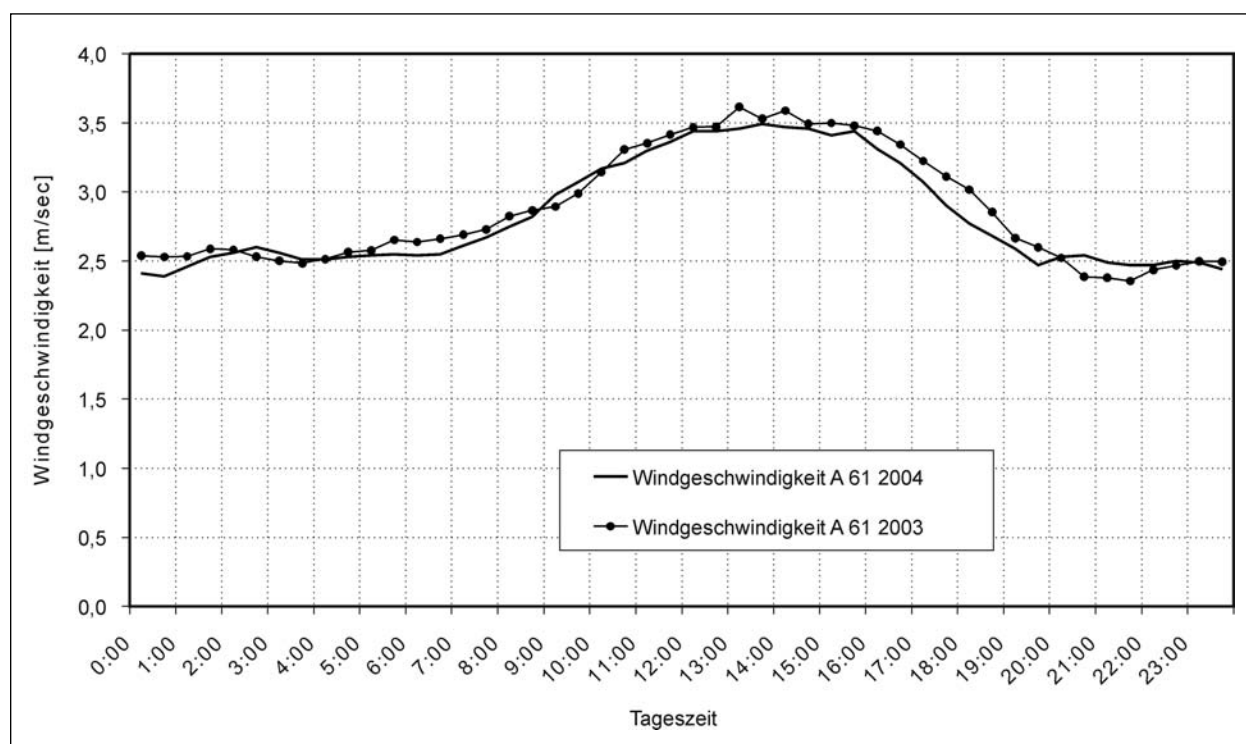
**Bild 5.3:** Tagesganglinien der Windrichtung an der A 61 für die Jahre 2003 und 2004

Bei den Windgeschwindigkeiten beider Messquerschnitte (s. Bilder 5.4 und 5.5) treten vergleichbare Verläufe im Tagesrhythmus auf. An der A 4 liegen die Tagesgänge der Jahre 2001 bis 2004 sehr nah beieinander und weisen zwischen 8 Uhr morgens

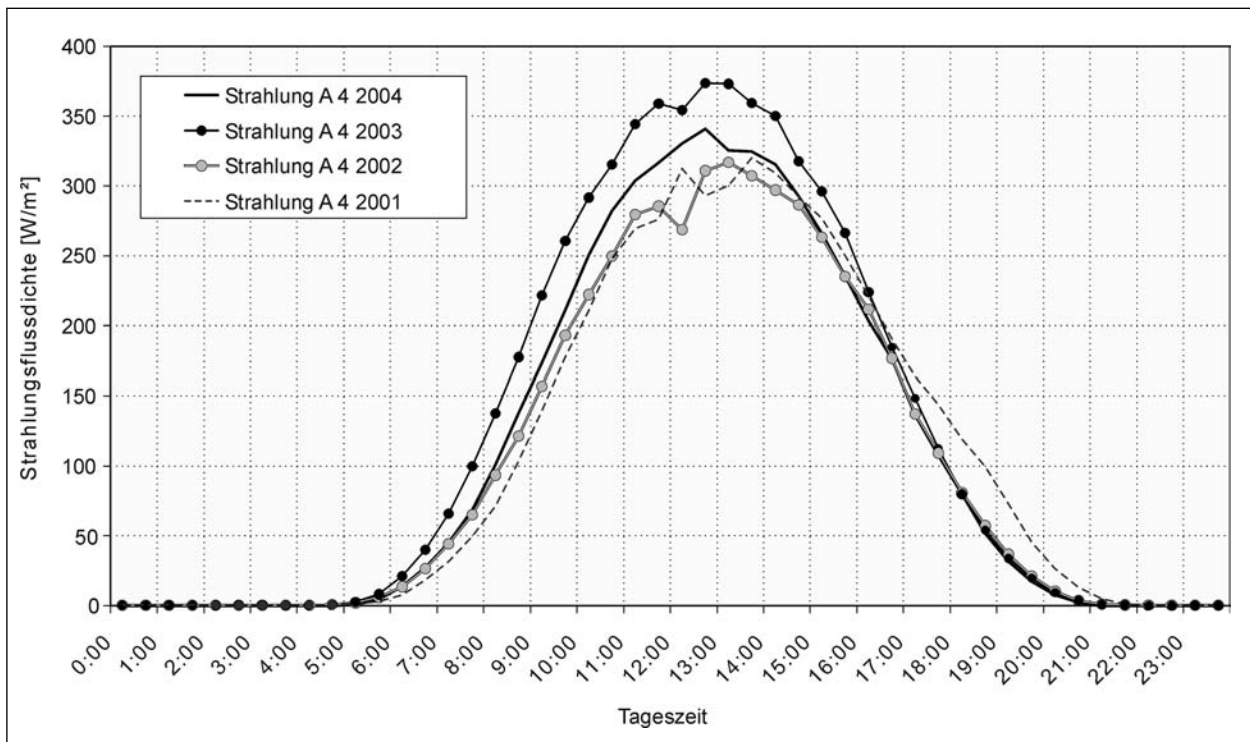
und 20 Uhr abends eine Zu- und wieder Abnahme zwischen etwa 2 m/sec und 2,8 bis 3 m/sec auf. An dem Messquerschnitt an der A 61 verläuft der Tagesgang im gleichen Zeitraum zwischen 2,5 und 3,5 m/sec, ebenfalls mit deutlich höheren Ge-



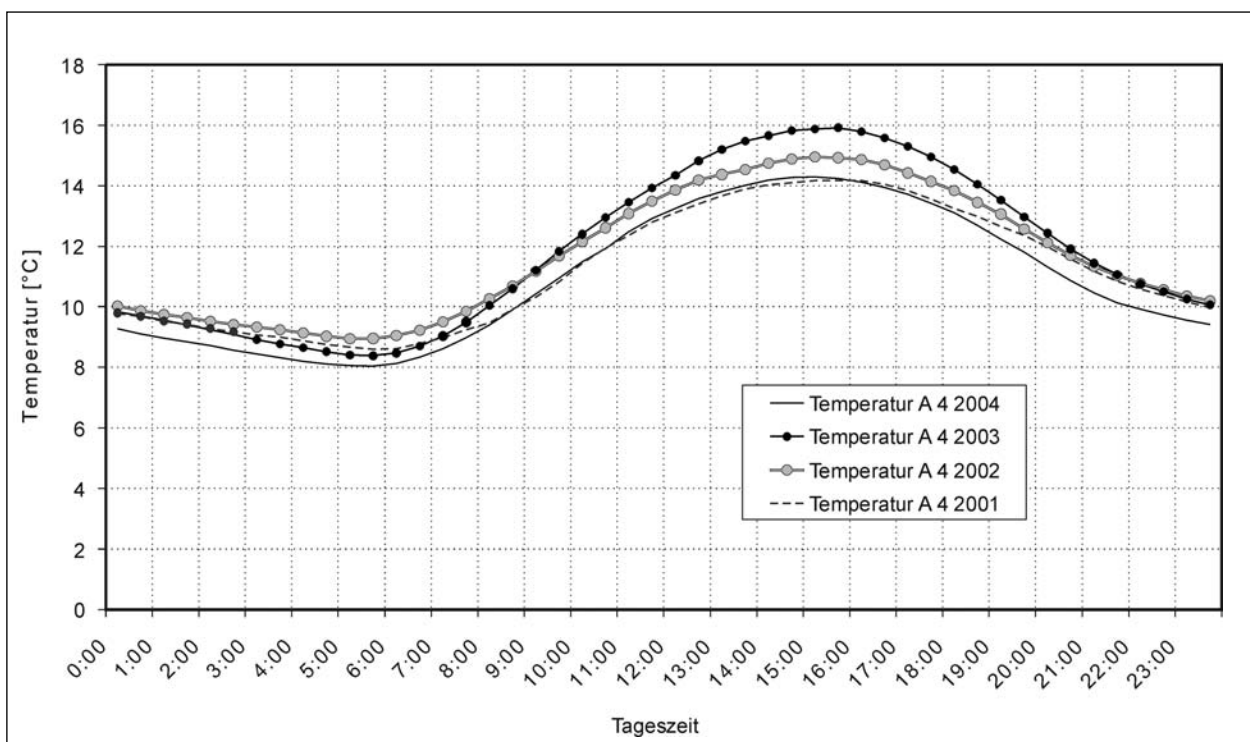
**Bild 5.4:** Tagesganglinien der Windgeschwindigkeit an beiden meteorologischen Messstellen der A 4 für die Jahre 2001 bis 2004



**Bild 5.5:** Tagesganglinien der Windgeschwindigkeit an der A 61 für die Jahre 2003 und 2004



**Bild 5.6:** Tagesganglinien der Strahlungsflussdichte an der A 4 für die Jahre 2001 bis 2004



**Bild 5.7:** Tagesganglinien der Temperatur an der A 4 für die Jahre 2001 und 2004

schwindigkeiten in den Mittagsstunden als in den restlichen Stunden des Tages.

Die typischen Tagesverläufe der Windgeschwindigkeit haben ihre Ursache in den Tagesgängen der Luftaustauschprozesse zwischen erdoberflächen-

nahen und höher gelegenen Troposphärenschichten. Mit zunehmenden Temperaturen am Vormittag entsteht eine Konvektion in den Luftmassen. Wärmere Luftpakete steigen auf, kühlere sinken ab. Dies führt zu einem erhöhten vertikalen Durchmi-

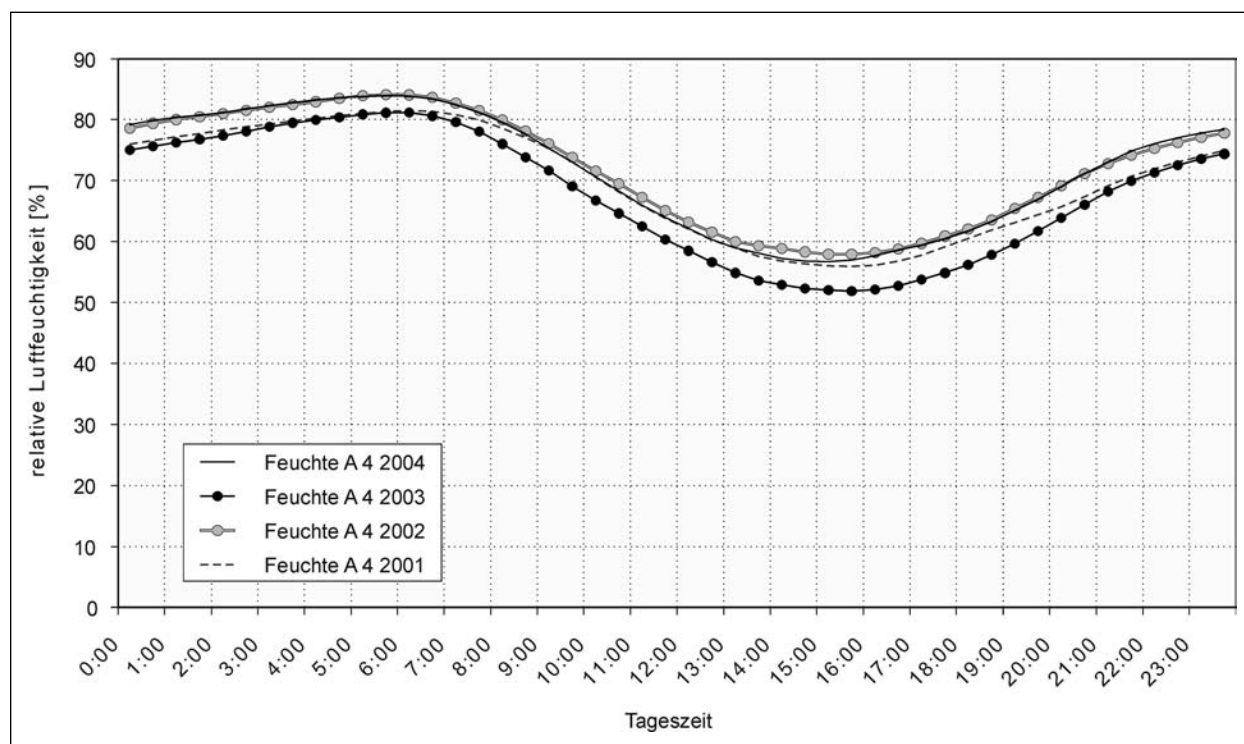


Bild 5.8: Tagesganglinien der relativen Luftfeuchte an der A 4 für die Jahre 2001 bis 2004

schen zwischen bodennahen und höheren Luftschichten. Dadurch wird ein erhöhtes Bewegungsmoment der Luft aus höheren Schichten zur Erdoberfläche übertragen und die Strömungsgeschwindigkeit in den bodennahen Schichten vergrößert. Mit der Abnahme des vertikalen Mischens in den kühleren Nachtstunden verringert sich ebenfalls die bodennahe Windgeschwindigkeit.

Die Strahlungsflussdichte, die nur am A-4-Messquerschnitt aufgenommen wird, zeigt in der Darstellung des Tagesgangs einen typischen Verlauf (s. Bild 5.6). Die einzige Auffälligkeit ist die starke Erhöhung der Werte im Jahr 2003. Dies hängt mit dem ausgeprägten Sommer in diesem Jahr zusammen. Dieser sorgte auch in den Tagesganglinien der Temperatur für eine deutliche Zunahme der durchschnittlichen Temperatur im Jahr 2003 (s. Bild 5.7). Im Kalenderjahr 2004 verläuft die Tagesganglinie der Temperatur wieder niedriger. Im Jahr 2003 zeigte sich im Vergleich zu den drei anderen betrachteten Kalenderjahren ebenfalls ein extremes Verhalten in den Tagesgängen der relativen Luftfeuchte (s. Bild 5.8).

### 5.3 Stickstoffoxide $\text{NO}_x$

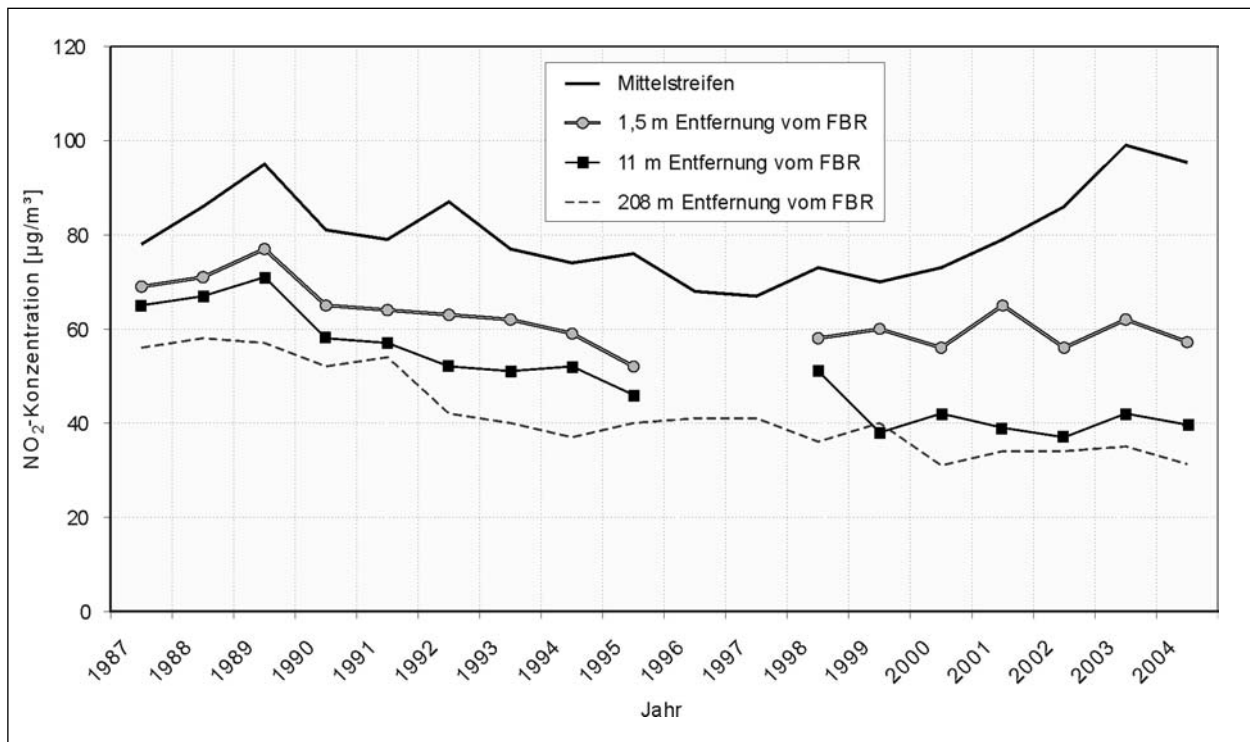
Die  $\text{NO}_x$ -Emissionen in Deutschland stiegen bis Ende der 80er Jahre deutlich an, jedoch konnte seit

1991 nach einer Stagnation eine stetige Abnahme verzeichnet werden. Im Bereich des Straßenverkehrs trug vor allem die Einführung moderner Abgasminderungstechniken zu dieser Reduzierung bei. So konnte zunächst trotz Anstiegs der Fahrleistung und Zunahme des Schwerlastverkehrs eine Abnahme der straßenverkehrsbedingten  $\text{NO}_x$ -Emissionen von 35 % registriert werden (UBA, 2002).

Wie sich demgegenüber die Entwicklung der  $\text{NO}$ - und  $\text{NO}_2$ -Immissionskonzentrationen an den BAST-Messquerschnitten zeigt, wird in diesem Kapitel dargestellt.

#### 5.3.1 Messquerschnitt BAB A 4

Am Messquerschnitt an der A 4 ist der in Bild 5.9 dargestellte Verlauf der  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwerte auf dem Mittelstreifen und an drei unterschiedlich weit vom Fahrbahnrand entfernten Messstellen zu beobachten. Deutlich zu sehen ist, dass die Immissionswerte am Mittelstreifen zwischen 1999 und 2003 deutlich zugenommen haben, jedoch im Kalenderjahr 2004 wieder leicht abgefallen sind. Eine Zunahme gegenüber dem Wert aus dem Jahr 1995 konnte auch an der Messstelle in 1,5 m Entfernung vom Fahrbahnrand registriert werden. An der Messstelle in 11 m Entfernung vom Fahrbahnrand stagnieren die  $\text{NO}_2$ -Immissionen seit etwa 1999,



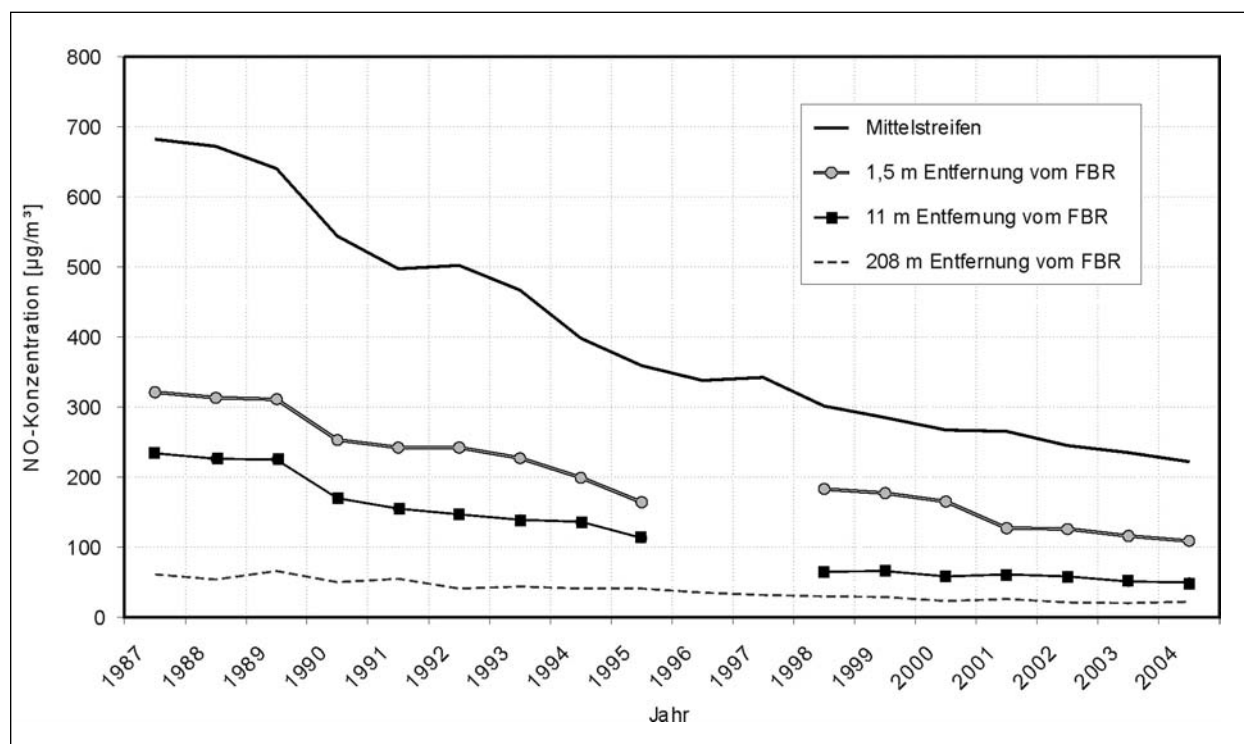
**Bild 5.9:** Jahresmittelwerte der  $\text{NO}_2$ -Immissionskonzentration auf dem Mittelstreifen und an drei verschiedenen Messstationen in unterschiedlichen Entfernungen vom Fahrbahnrand (FBR) des A-4-Messquerschnitts aus den Jahren 1987 bis 2004

nachdem sie zuvor über 6 Jahre hinweg mehr oder weniger kontinuierlich abgesunken sind. An der 208 m entfernten Messstelle ist eine Abnahme über den gesamten Aufnahmezeitraum zu verzeichnen, ein Hinweis darauf, dass es sich bei den Phänomenen der Zunahme der Luftschadstoffbelastung um solche handelt, die sich in Fahrbahnnähe abspielen. An allen Messstellen tritt im Jahr 2004 gegenüber dem Vorjahr eine leichte Absenkung auf, was damit erklärt werden kann, dass sich das Jahr 2003 meteorologisch stark von den anderen unterschieden hat. In den Kalenderjahren 1996 und 1997 konnte für die beiden Messstellen in 1,5 m und 11 m Entfernung vom Fahrbahnrand kein Jahresmittelwert gebildet werden, da in diesen Jahren bedingt durch die Errichtung einer Lärmschutzwand für die Bildung eines Jahresmittels nicht ausreichend Datenmaterial zur Verfügung gestanden hat.

Ein Grund für die Zunahme bzw. Stagnation in den Jahren bis 2003 könnte zu finden sein in den seit dem Inkrafttreten der Grenzwertstufe EURO II gebräuchlichen elektronischen Einspritzsystemen für schwere Nutzfahrzeuge, die unterschiedliche Einspritzstrategien in den verschiedenen Bereichen des Motorkennfeldes ermöglichen. Entsprechende Ergebnisse von Forschungsprojekten (UBA, 2003) deuten darauf hin, dass schwere Nutzfahrzeuge der

Grenzwertstufe EURO II in Kennfeldbereichen, die bei der Typprüfung nicht betrachtet werden, höhere Stickoxidemengen emittieren, sodass frühere Prognosen die im realen Verkehr emittierte Menge an Stickoxiden unterschätzten. Mit dem neuen Handbuch für Emissionsfaktoren, welches in einer geänderten Fassung im Jahr 2004 herausgegeben wurde (HBEFa, Version 2.1), sind diese stark unterschätzenden Fehlkalkulationen überarbeitet worden. Hiermit neu ermittelte Emissionsdaten werden zurzeit in die Emissionsmodelle eingearbeitet. Erst nach Abschluss dieser Arbeiten können Mehremissionen dieser Fahrzeugschicht gegenüber der bisherigen Berechnung quantifiziert werden.

Ein weiterer wichtiger Grund für den starken Anstieg der  $\text{NO}_2$ -Immissionsbelastungen der letzten Jahre, die auch bundesweit beobachtet werden konnten, liegt in den modernen Abgasnachbehandlungsverfahren für Diesel-Pkw. Durch diese wird der primär emittierte Anteil von  $\text{NO}_2$  zum Teil stark erhöht, da der häufig in Diesel-Pkw verwendete Oxidations-Katalysator die Bildung von  $\text{NO}_2$  durch die Oxidation von  $\text{NO}$  zu  $\text{NO}_2$  beschleunigt. Da dieses Verfahren vor allem in Diesel-Pkw und nicht in Lkw eingesetzt wird, treten Erhöhungen der  $\text{NO}_2$ -Konzentration aus dem beschriebenen Grund insbesondere am Mittelstreifen und weniger an den Messstellen zu beiden Seiten der Fahrbahn auf, da



**Bild 5.10:** Jahresmittelwerte der NO-Immissionskonzentration auf dem Mittelstreifen und an drei verschiedenen Messstationen in unterschiedlichen Entfernungen vom Fahrbahnrand (FBR) des A-4-Messquerschnitts aus den Jahren 1987 bis 2004

die Pkw vermehrt auf dem inneren Fahrstreifen und die Lkw fast ausschließlich auf dem rechten Fahrstreifen gelenkt werden.

Die Entwicklung der Jahresmittelwerte der NO-Immissionskonzentration am A-4-Messquerschnitt ist in Bild 5.10 dargestellt. Es ist an allen vier ausgewählten Messstellen eine kontinuierliche Abnahme der NO-Belastung festzustellen. Eine leichte Erhöhung ist lediglich an der Messstelle neben dem Fahrbahnrand im Zeitraum von 1998 bis 2000 aufgetreten, die auf die Errichtung der Lärmschutzwand zurückgeführt werden kann. Dieses Phänomen hat sich auf die genannte Messstelle in 1,5 m Entfernung vom Fahrbahnrand in Form einer deutlichen Zunahme der NO-Jahresmittelwerte um bis zu 24 % im Jahr 1998 ausgewirkt. Dem NO steht in unmittelbarer Nähe zur Fahrbahn wenig Zeit für die Umwandlung in NO<sub>2</sub> zur Verfügung, sodass sich diese geringe Zunahme bei weiter entfernten Messstellen nicht zeigt.

Die 98-Perzentile als Maß für die Spitzenbelastungen zeigen in den Bildern 5.11 und 5.12 seit 1987 einen kontinuierlichen Abwärtstrend für die NO-Spitzenwerte, jedoch deutliche Zuwächse in der NO<sub>2</sub>-Entwicklung. Zwischen den Jahren 2000 und 2003 wachsen die NO<sub>2</sub>-Spitzenbelastungen am Mittelstreifen sogar über alle Werte, die bis dahin

		Mittelstreifen	1,5 m Entfernung	11 m Entfernung	208 m Entfernung
Jahresmittelwerte	NO	-69 %	-66 %	-79 %	-64 %
	NO <sub>2</sub>	+22 %	-17 %	-39 %	-44 %
98-Perzentile	NO	-67 %	-66 %	-71 %	-64 %
	NO <sub>2</sub>	+21 %	-25 %	-35 %	-28 %

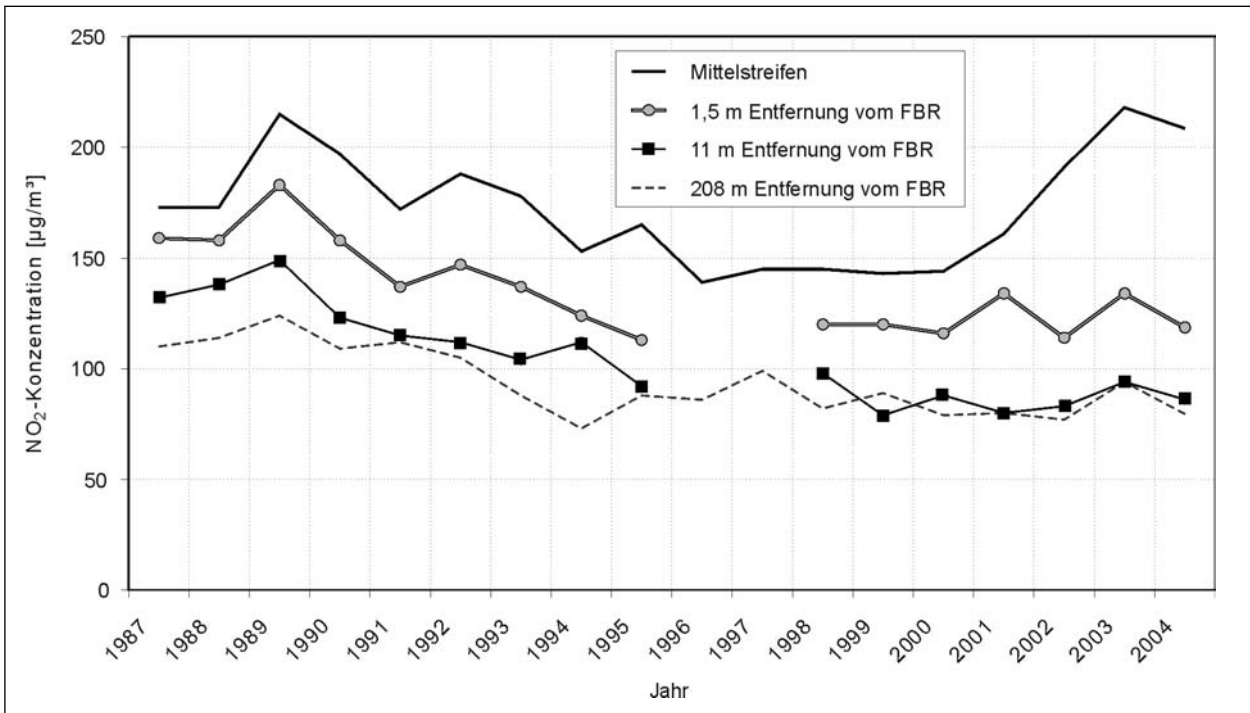
**Tab. 5.1:** Prozentuale Ab- (-) bzw. Zunahmen (+) der Jahresmittel- und 98-Perzentilwerte der Komponenten NO und NO<sub>2</sub> an der A 4 für die Werte des Jahres 2004 gegenüber den Werten des Jahres 1987

gemessen wurden. Jedoch konnte im Kalenderjahr 2004 wieder ein leichtes Abnehmen der Werte an allen vier Messstationen registriert werden. Dieses Verhalten deckt sich mit dem Verhalten der Jahresmittelwerte (s. Bild 5.12).

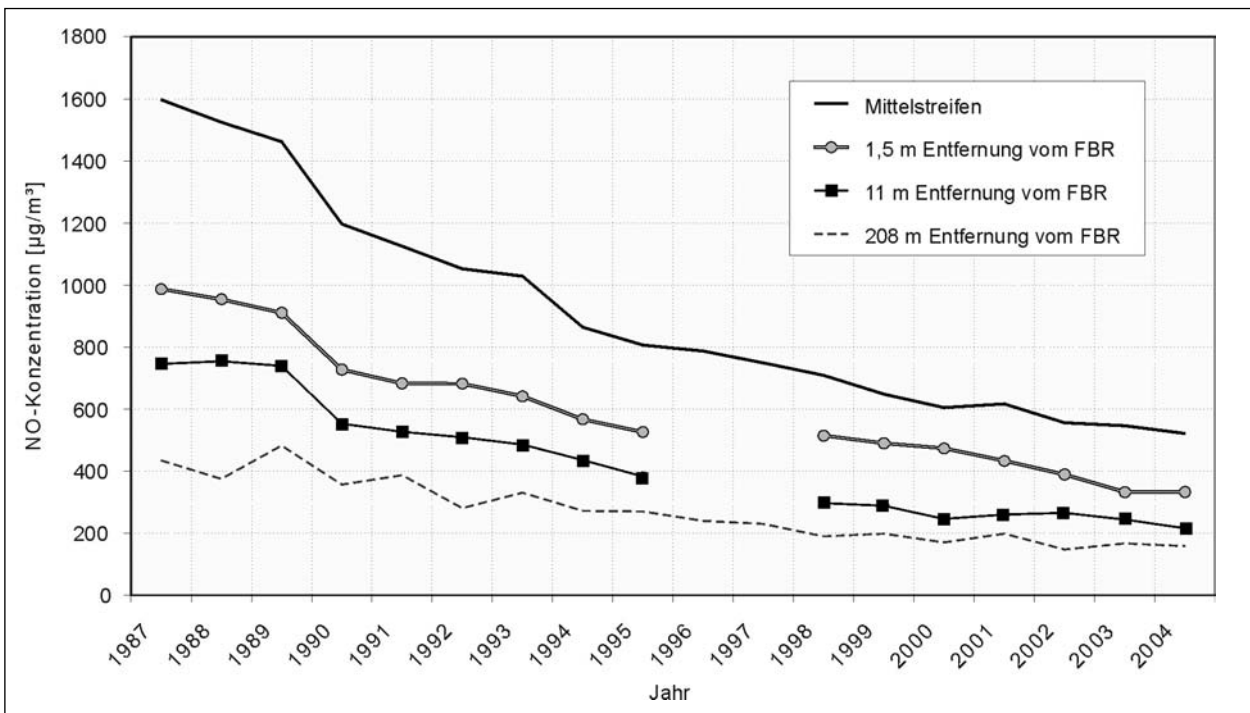
Das Absinken der NO<sub>2</sub>-Immissionen im Kalenderjahr 2004 kann in Zusammenhang damit stehen, dass die meteorologischen Gegebenheiten im Jahr 2003 gegenüber denen der Vorjahre und des Jahres 2004 als extrem bezeichnet werden können (s. a. Kapitel 5.2) und sich die Werte dieses Jahres daher hervorheben. Es bleibt abzuwarten, ob sich dieser sinkende Trend im Jahr 2005 fortsetzt.

Tabelle 5.1 fasst die prozentualen Ab- und teilweise auch Zunahmen der Jahresmittelwerte und 98-





**Bild 5.11:** 98-Perzentile der NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentration auf dem Mittelstreifen und an drei verschiedenen Messstationen in unterschiedlichen Entfernungen vom Fahrbahnrand (FBR) des A-4-Messquerschnitts aus den Jahren 1987 bis 2004



**Bild 5.12:** 98-Perzentile der NO-Immissionskonzentration auf dem Mittelstreifen und an drei verschiedenen Messstationen in unterschiedlichen Entfernungen vom Fahrbahnrand (FBR) des A-4-Messquerschnitts aus den Jahren 1987 bis 2004

Perzentile der Schadstoffkomponenten NO und NO<sub>2</sub> seit Beginn der Messungen zusammen.

In Tabelle 5.2 sind die Absolutwerte der NO- und NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte über den gesamten Zeit-

raum der Messwertaufnahme an den vier Messstellen, die in den Bilder 5.9–5.12 dargestellt wurden, aufgeführt.

Jahr	Mittelstreifen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		1,5 m Entfernung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		11 m Entfernung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		208 m Entfernung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	
	NO	NO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>
1987	682	78	321	69	234	65	61	56
1988	672	86	313	71	226	67	54	58
1989	640	95	311	77	225	71	66	57
1990	544	81	253	65	170	58	50	52
1991	497	79	242	64	155	57	55	54
1992	502	87	242	63	147	52	41	42
1993	467	77	227	62	139	51	44	40
1994	398	74	199	59	136	52	41	37
1995	359	76	164	52	113	46	41	40
1996	338	68	147	54	68	45	35	41
1997	342	67	180	59	81	51	32	41
1998	301	73	183	58	65	51	30	36
1999	285	70	177	60	66	38	29	40
2000	267	73	165	56	58	42	23	31
2001	264	79	127	65	61	39	26	34
2002	245	86	126	56	58	37	21	33
2003	235	99	116	62	51	42	20	35
2004	222	95	109	57	50	40	22	31

**Tab. 5.2:** Jahresmittelwerte der NO- und NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentration auf dem Mittelstreifen und an drei verschiedenen Messstationen in unterschiedlichen Entfernungen vom Fahrbahnrand des A-4-Messquerschnitts aus den Jahren 1987 bis 2004

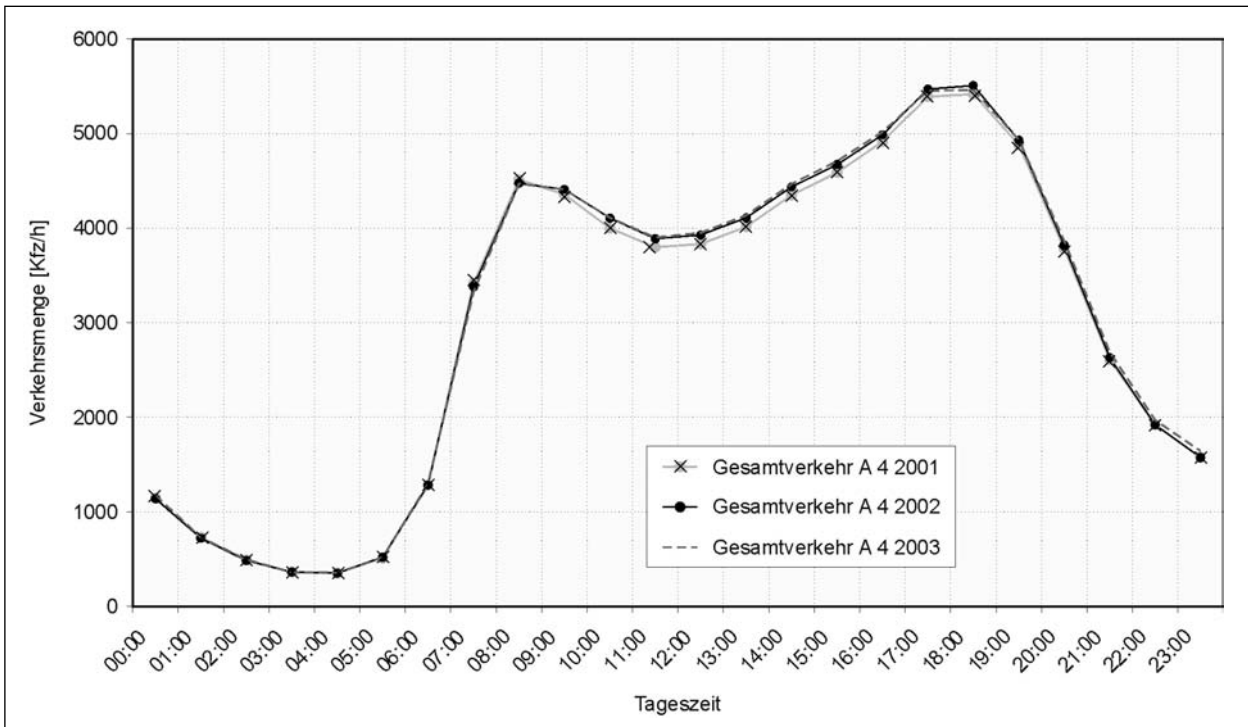
Der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelgrenzwert nach der 22. BImSchV von 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  wurde für die Zeit ab Inkrafttreten der Verordnung (September 2002) bis Ende 2002 mit einer Toleranzmarge von 16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , für 2003 mit einer Toleranzmarge von 14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und für 2004 mit einer Toleranzmarge von 12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  beaufschlagt (s. Kapitel 1.3), sodass die Werte an der gemäß Anlage 2 Nr. II 22. BImSchV repräsentativen Messstelle in 1,5 m Entfernung vom Fahrbahnrand (s. hierzu auch Kapitel 1.3) 2004 und 2003 über und 2002 gleichauf mit dem jeweils geforderten Wert lagen (s. Tabelle 5.2 und Bild 5.9). Sollte sich die Stagnation der NO<sub>2</sub>-Immissionen an dieser Messstelle in den folgenden Jahren fortsetzen, werden weitere Überschreitungen des ab 2010 gültigen NO<sub>2</sub>-Grenzwertes auftreten. Durch die anderen Messstellen können in Bezug auf diesen Grenzwert lediglich Trendaussagen für das Schadstoffverhalten in unterschiedlichen Entfernungen vom Fahrbahnrand gegeben werden, da diese nicht den oben angesprochenen Anforderungen für Probenahmestellen gemäß 22. BImSchV entsprechen.

Die Bilder 5.13 und 5.14 stellen die Tagesganglinien der Verkehrsmengen des Gesamt- und des Schwerverkehrs des Messquerschnitts an der A 4 dar. Es zeigt sich für den Gesamtverkehr ein typischer Verlauf für eine auf einen Ballungsraum zuführende Hauptverkehrsader mit Spitzenbelastun-

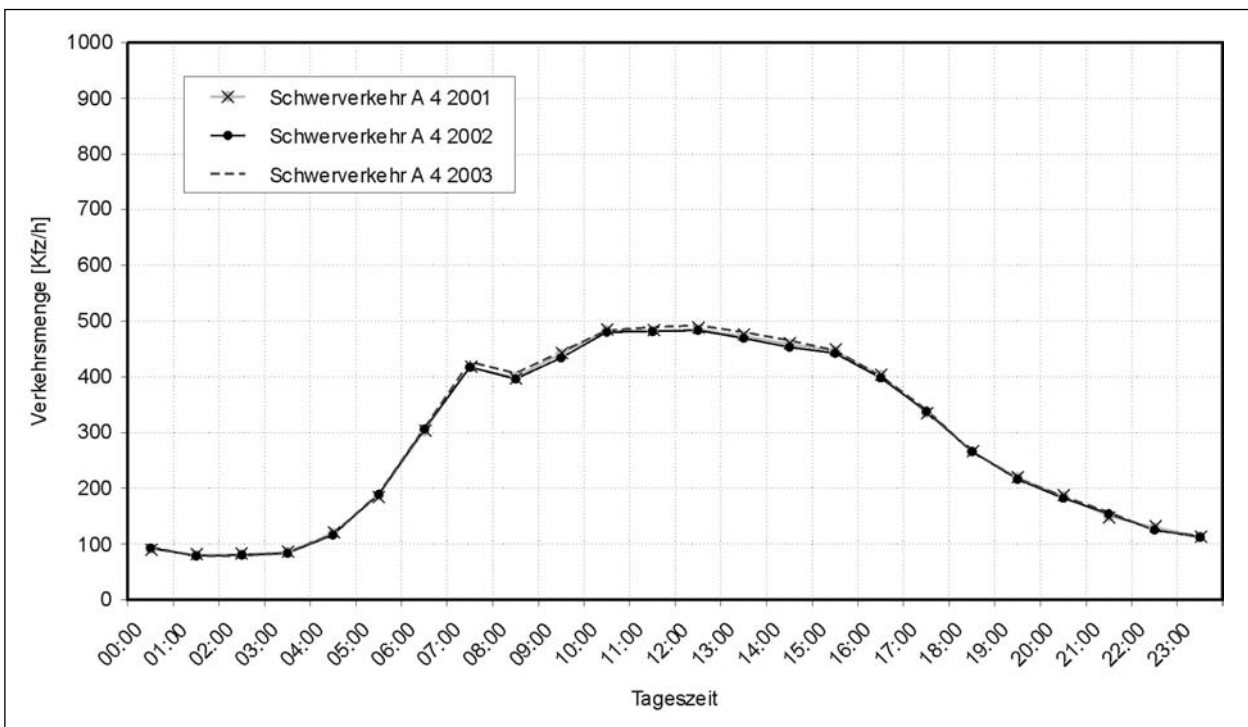
gen in den Morgenstunden gegen 8 Uhr zu Arbeitsbeginn und den Abendstunden zwischen 17 und 18 Uhr zum Feierabendverkehr. Zwischen den vier betrachteten Kalenderjahren 2001 bis 2003 ist kein erwähnenswerter Unterschied festzustellen.

Der Tagesverlauf des Schwerverkehrs zeigt bis auf den recht steilen Beginn des Fahrgeschäftes des kommerziellen Schwerverkehrs bis 7 Uhr gefolgt von einem geringen Einbruch bis 8 Uhr einen kontinuierlichen Anstieg bis in die Mittagsstunden und eine folgende ebenfalls kontinuierliche Wiederabnahme. Der steile Anstieg bis 7 Uhr lässt sich dadurch erklären, dass der Schwerverkehr vor dem beginnenden morgendlichen Hauptverkehrsstrom zu den meist sehr viel weiter zurückzulegenden Strecken aufbricht. Auch hier bestehen keine Abweichungen zwischen den Daten der betrachteten Jahre.

In den Tagesganglinien der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Jahre 2001 bis 2004 in den Bildern 5.15 bis 5.18 bildet sich der Einfluss der Werte des Gesamtverkehrs nachvollziehbar ab mit Konzentrationsspitzenwerten etwa zu den Zeiten, zu denen auch bei der Verkehrsbelastung Maxima festgestellt werden können. Dass der starke Zuwachs insbesondere in den Tagesstunden zu erkennen ist, deutet darauf hin, dass der Einstrahlung der Sonne



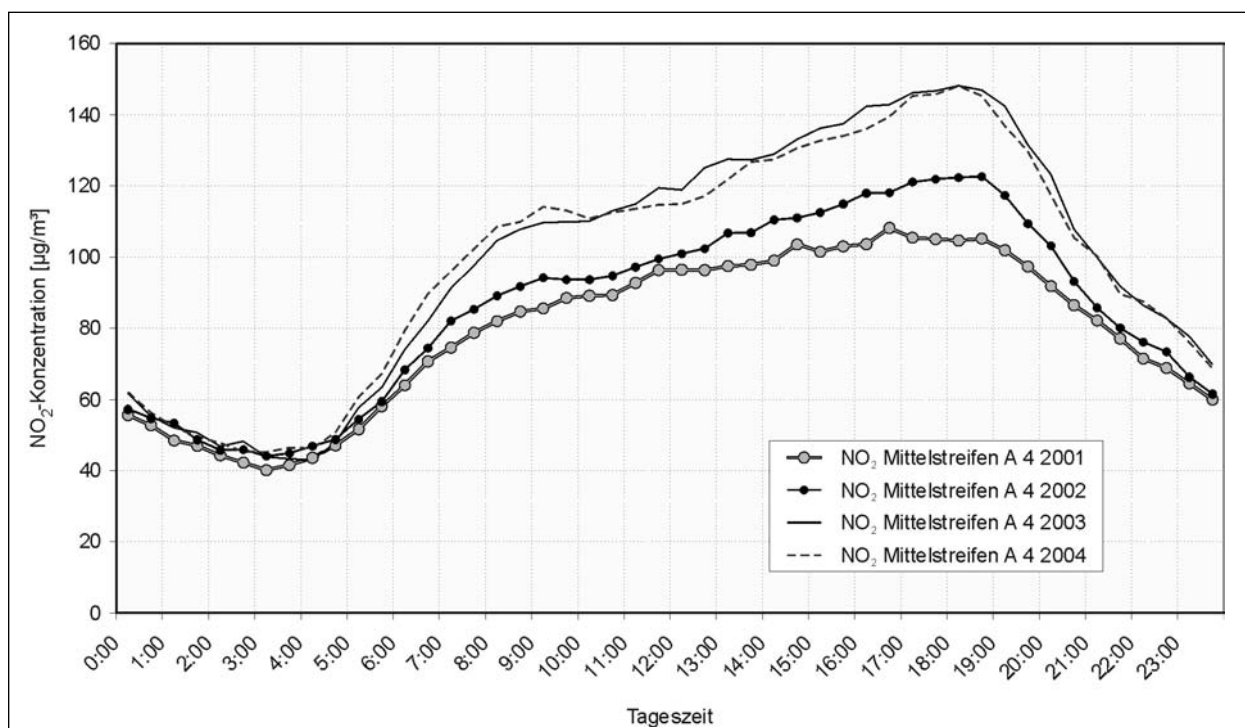
**Bild 5.13:** Tagesganglinie des Gesamtverkehrs am Messquerschnitt an der A 4 für die Jahre 2001 bis 2003 (für 2004 lagen noch keine abschließend geprüften Daten vor)



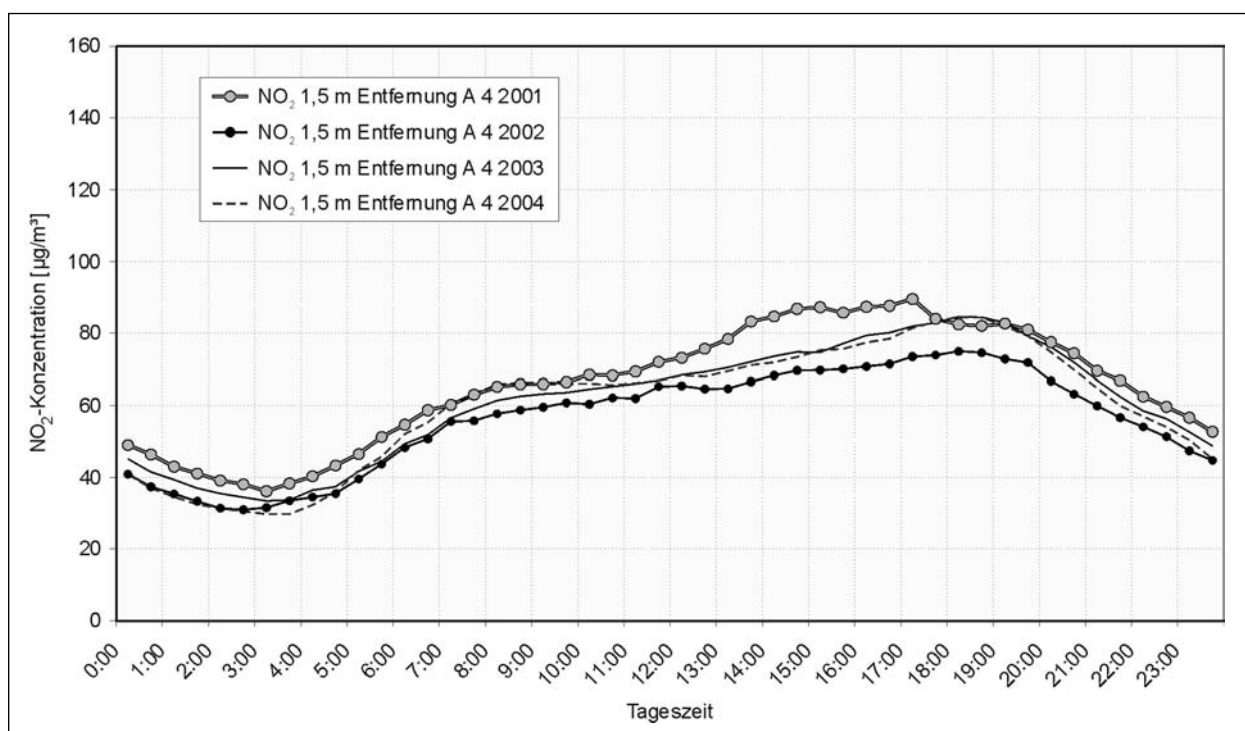
**Bild 5.14:** Tagesganglinie des Schwerverkehrs am Messquerschnitt an der A 4 für die Jahre 2001 bis 2003 (für 2004 lagen noch keine abschließend geprüften Daten vor)

eine besondere Rolle bei der Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Konzentration über den Tag hinweg zukommt (siehe hierzu auch die Ausführungen zu dem Reaktionsmechanismus zwischen Ozon und dem Ozonvorläuferstoff NO<sub>2</sub>).

Des Weiteren ist zu sehen, dass am Mittelstreifen die Werte in diesem Zeitraum um bis zu 42 % deutlich angestiegen sind, in den weiteren Entfernungen vom Fahrbahnrand die Kurven jedoch sehr nah beieinander liegen (Anstieg um bis zu 18 % in 11 m



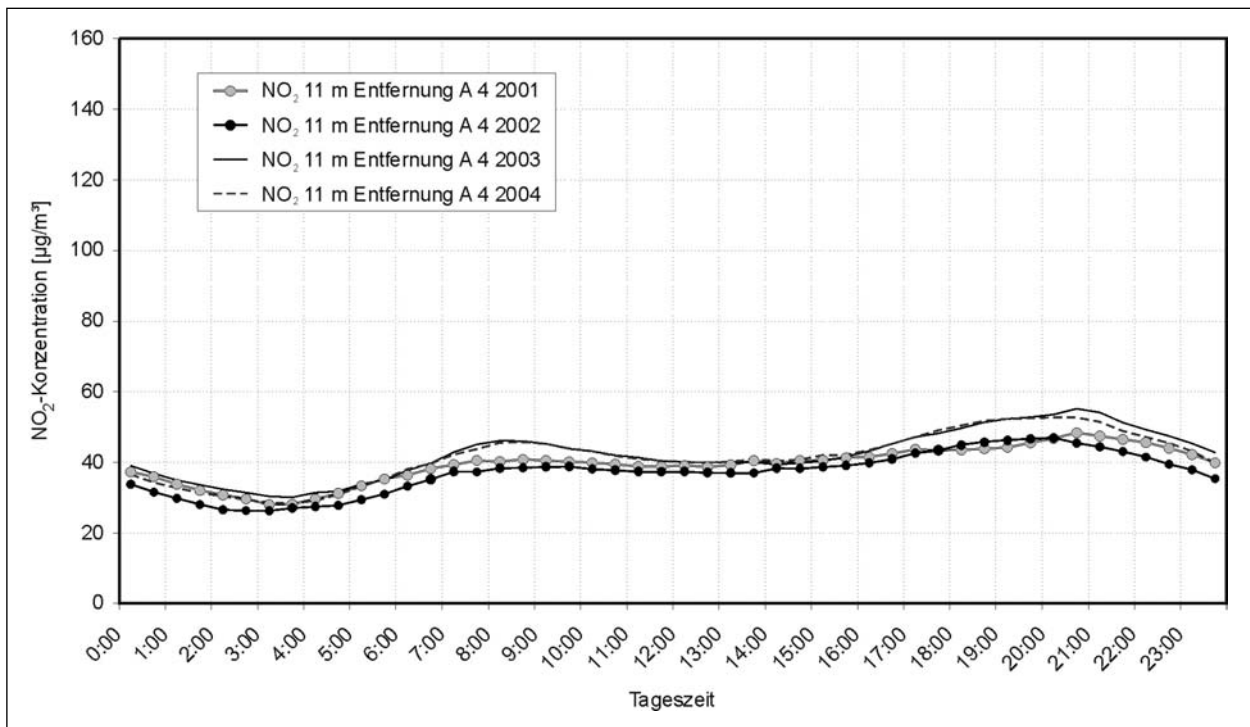
**Bild 5.15:** Tagesganglinien der  $\text{NO}_2$ -Konzentration am Messquerschnitt an der A 4 auf dem Mittelstreifen für die Jahre 2001 bis 2004



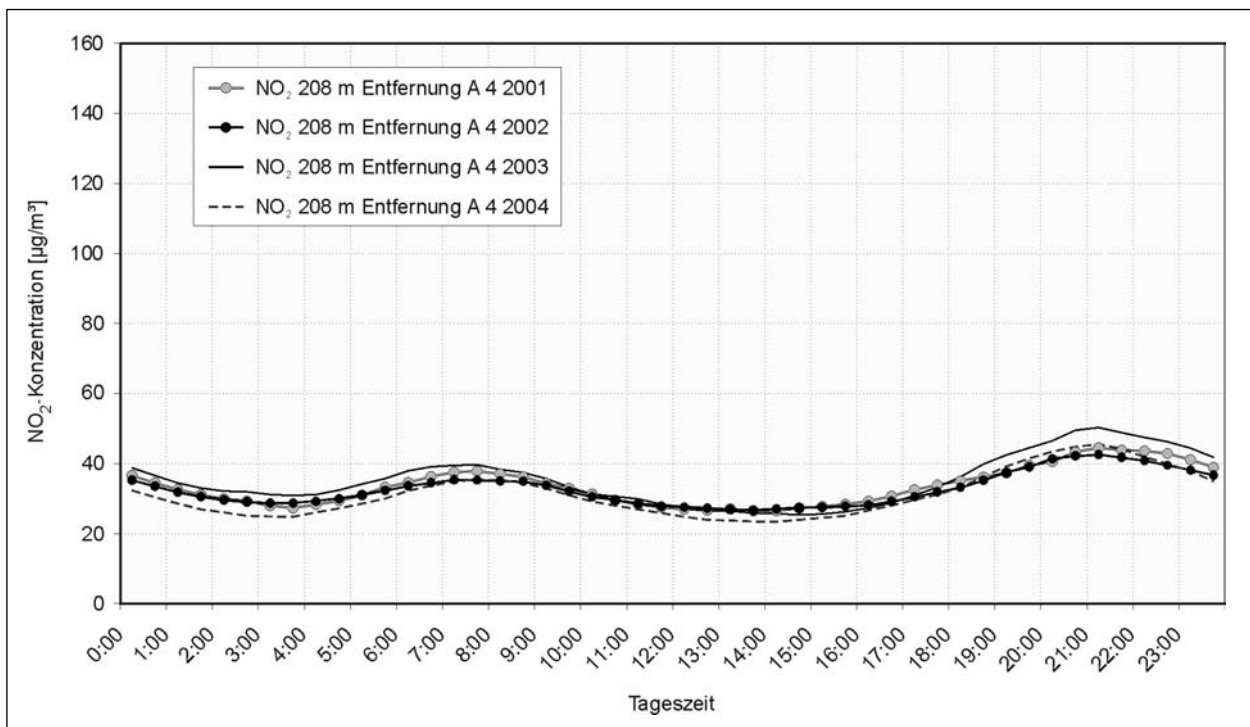
**Bild 5.16:** Tagesganglinien der  $\text{NO}_2$ -Konzentration am Messquerschnitt an der A 4 in einer Entfernung von 1,5 m vom Fahrbahnrand für die Jahre 2001 bis 2004

Entfernung) bzw. die Kurve für 2002 zum größten Teil über der für 2003 liegt (Anstieg um bis zu 3 % in 1,5 m Entfernung).

Interessant hierbei ist der Umstand, dass die Daten des Tagesgangs nach der Zunahme im Kalenderjahr 2003 im Jahr 2004 nicht wieder merklich abgesunken sind, sondern ähnlich hohe Werte aufweisen wie im Jahr zuvor. Es scheinen sich also



**Bild 5.17:** Tagesganglinien der  $\text{NO}_2$ -Konzentration am Messquerschnitt an der A 4 in einer Entfernung von 11 m vom Fahrbandrand für die Jahre 2001 bis 2004

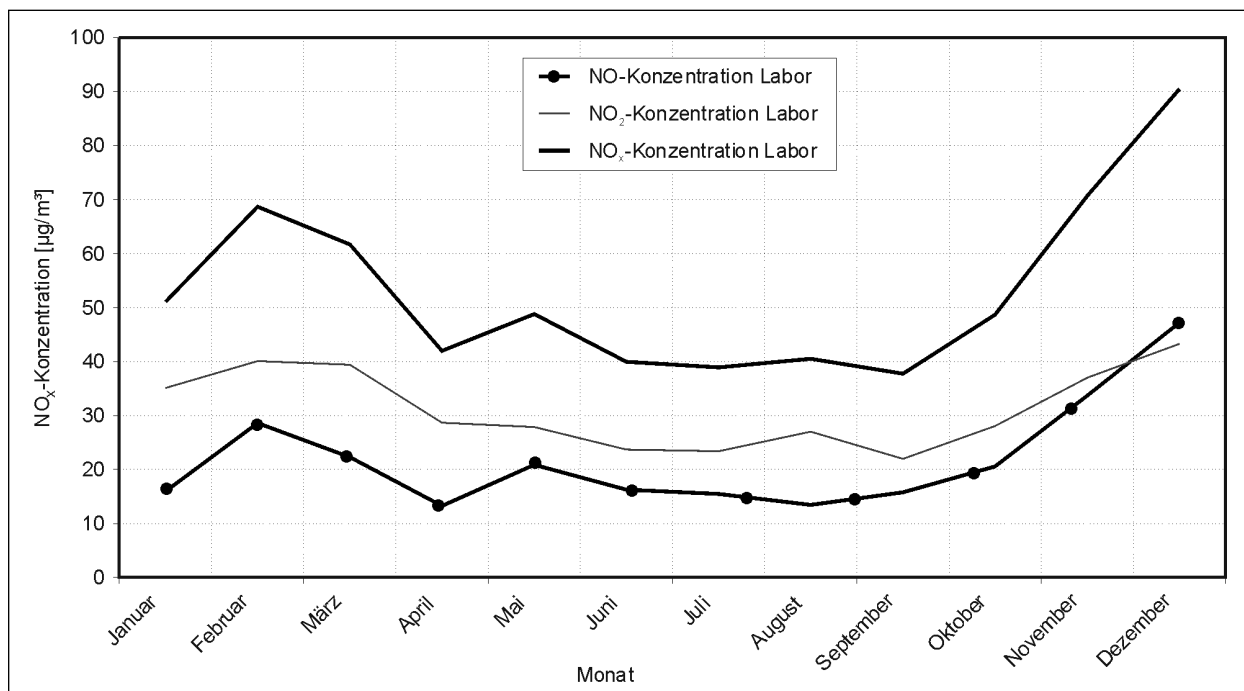


**Bild 5.18:** Tagesganglinien der  $\text{NO}_2$ -Konzentration am Messquerschnitt an der A 4 in einer Entfernung von 208 m vom Fahrbandrand für die Jahre 2001 bis 2004

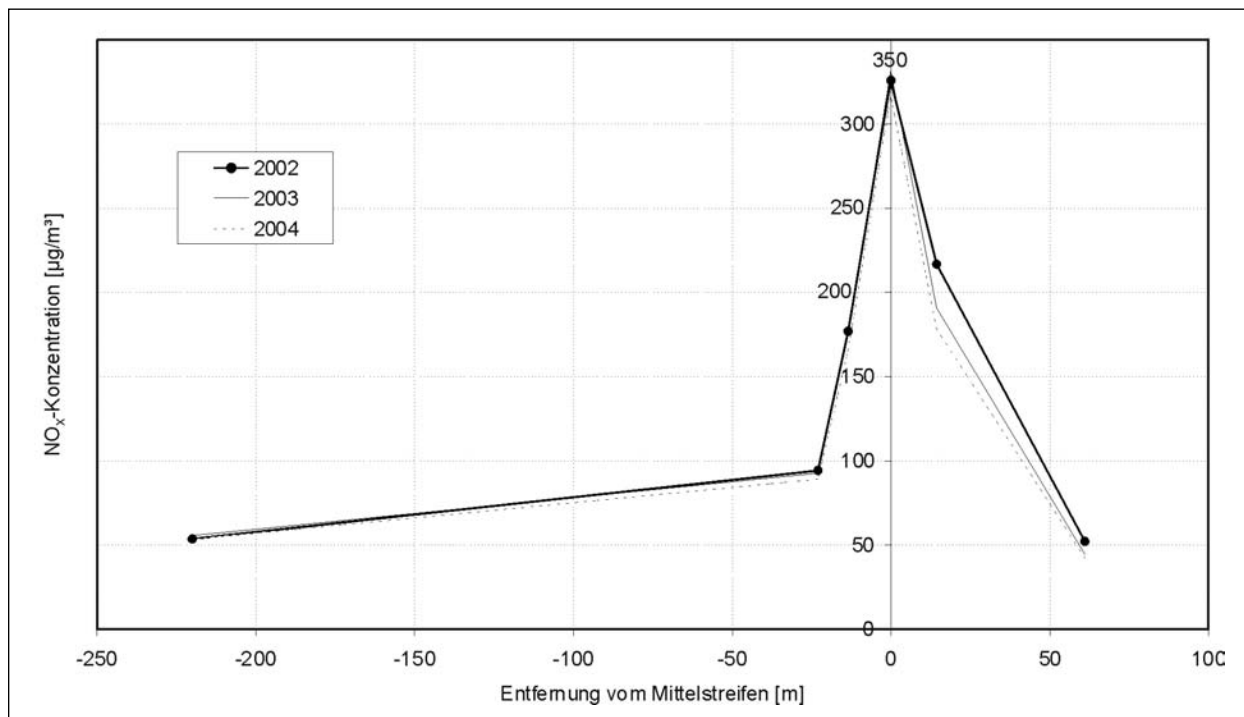
schon kleinere Unterschiede, die jeweils zwischen den beiden Tagesgängen der Jahre 2003 und 2004 festzustellen sind (s. Bilder 5.15 bis 5.18), durch eine Änderung in den Jahresmittelwerten bemerkbar zu machen (s. Bilder 5.9 und 5.11).

### $\text{NO}_x$

Als  $\text{NO}_x$  wird die Summe von Stickstoffmonoxid NO und Stickstoffdioxid  $\text{NO}_2$  (s. hierzu auch Kapitel 4.2) und als  $\text{NO}_x$ -Konzentration die Summe der



**Bild 5.19:** Zusammenhang zwischen der NO-, NO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Konzentration am Messquerschnitt an der A 4 in 208 m Entfernung vom Fahrbahnrand



**Bild 5.20:** NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwerte an allen NO<sub>x</sub>-Messstellen am Mittelstreifen und in unterschiedlichen Entfernungen vom Fahrbahnrand respektive Mittelpunkt der Autobahn (s. a. Bild 2.2) am Messquerschnitt an der A 4 für die Jahre 2002 bis 2004

Einzelkonzentrationen von NO und NO<sub>2</sub> bezeichnet. Dieser Zusammenhang ist in Bild 5.19 für die Messstelle im Labor dargestellt.

Gemäß 22. BImSchV ist ein Jahresmittelgrenzwert der NO<sub>x</sub>-Konzentration von 30 µg/m<sup>3</sup> in einer Entfernung von Straßen von mehr als 5 km zum

Schutz der Vegetation einzuhalten (s. hierzu auch Kapitel 1.3).

Die an den Messstellen an der A 4 aufgenommenen NO<sub>x</sub>-Werte der Jahre 2002 bis 2004 sind in Tabelle 5.3 aufgeführt.

Messstelle	2002	2003	2004
NO <sub>x</sub> Mittelstreifen [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	326,0	331,5	317,0
NO <sub>x</sub> 2,4 m Entfernung vom Fahrbahnrand (1O) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	216,9	190,8	178,4
NO <sub>x</sub> 49 m Entfernung vom Fahrbahnrand (5O) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	52,2	44,6	42,5
NO <sub>x</sub> 1,5 m Entfernung vom Fahrbahnrand (1K) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	177,0	175,8	166,2
NO <sub>x</sub> 11 m Entfernung vom Fahrbahnrand (2K) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	94,4	92,7	89,1
NO <sub>x</sub> 208 m Entfernung vom Fahrbahnrand (Labor) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	53,6	55,7	53,4

Tab. 5.3: NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwerte der Jahre 2002 bis 2004 an der A-4-Labor-Messstelle

Die NO<sub>x</sub>-Werte zeigen vom Mittelstreifen zu den weiter entfernt liegenden Messstellen hin eine deutliche Abnahme (s. Bild 5.20), sodass in einer Entfernung von 5 km der Jahresmittelgrenzwert von 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sehr wahrscheinlich wie gefordert unterschritten wird.

**5.3.2 Messquerschnitt BAB A 61**

Die Tagesganglinien der Werte des Gesamtverkehrs am Messquerschnitt an der A 61 (s. Bild 5.21) weisen eine steilere Zunahme während der Tagesstunden bis in die frühen Abendstunden als am Messquerschnitt an der A 4 auf. Dieser Anstieg ist zwar ebenfalls zwischen 8 und 18 Uhr zu verfolgen, jedoch fehlt hier der Einbruch in den Mittagsstunden, wie man ihn an der A 4 beobachten kann. Dies weist auf die stärkere Nutzung der A 61 durch Fernverkehr hin und zeigt insbesondere auch die

Tagesganglinie des Schwerververkehrs an der A 61 (s. Bild 5.22), die im Verlauf der des Gesamtverkehrs stark ähnelt, ganz im Gegensatz zu den Kurven für den Messquerschnitt an der A 4. Es sind sowohl beim Gesamtverkehr als auch bei den Werten für den Schwerverkehr leichte Zunahmen vom Jahr 2001 über das Jahr 2002 bis zum Jahr 2003 zu erkennen.

In den Bildern 5.23 und 5.24 werden die NO<sub>2</sub>-Tagesgänge der beiden NO<sub>2</sub>-Messstellen an der A 61 dargestellt. Die Schadstoffbelastungen des Jahres 2003 weisen wie auch an der A 4 deutlich höhere Werte als in den übrigen Kalenderjahren auf, jedoch ist diese an der A 61 auch an der Messstelle in 1,5 m Entfernung zum Fahrbahnrand zu verzeichnen; an der A 4 lagen hier die Werte des Jahres 2001 über denen der Jahre 2002 bis 2004. Am Mittelstreifen wird eine Zunahme um bis zu 26 % für

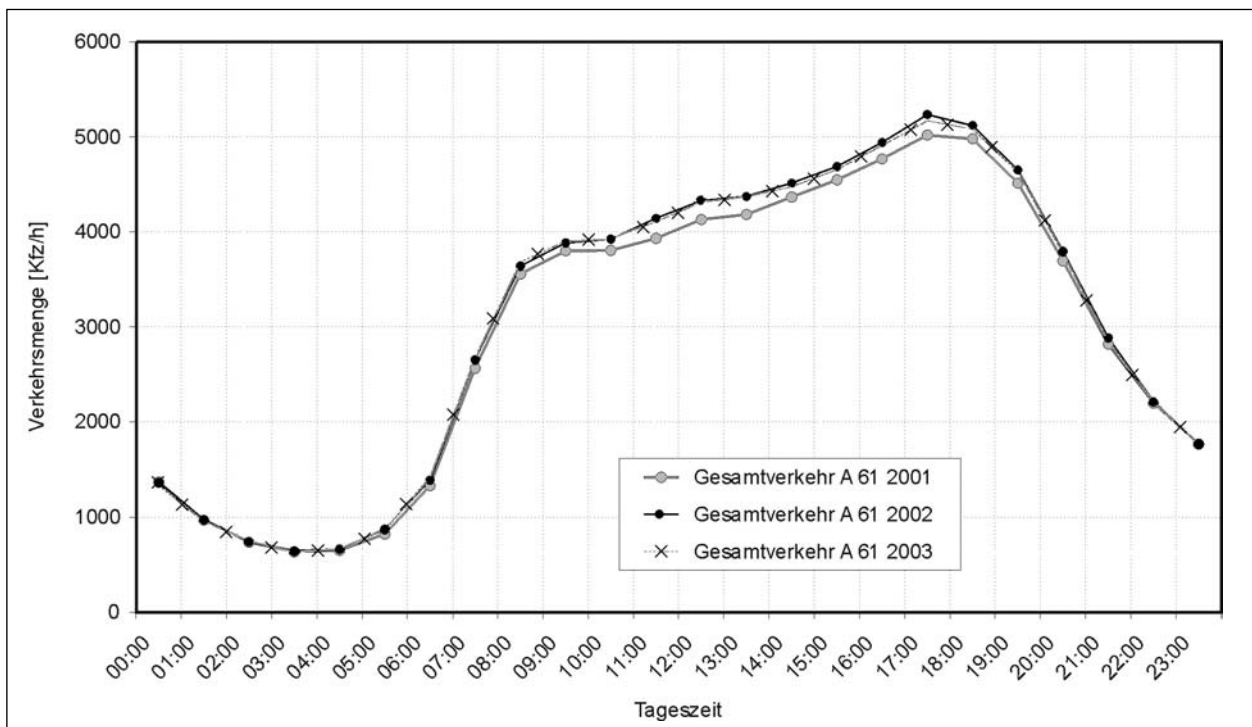
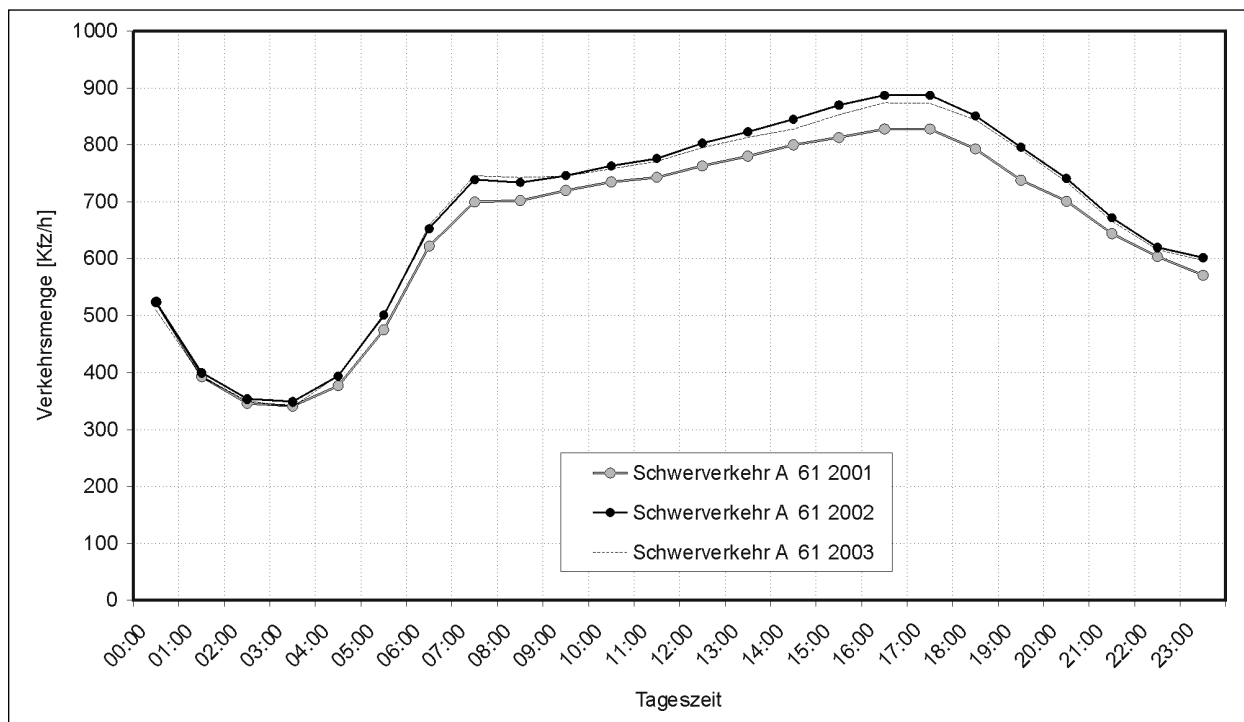


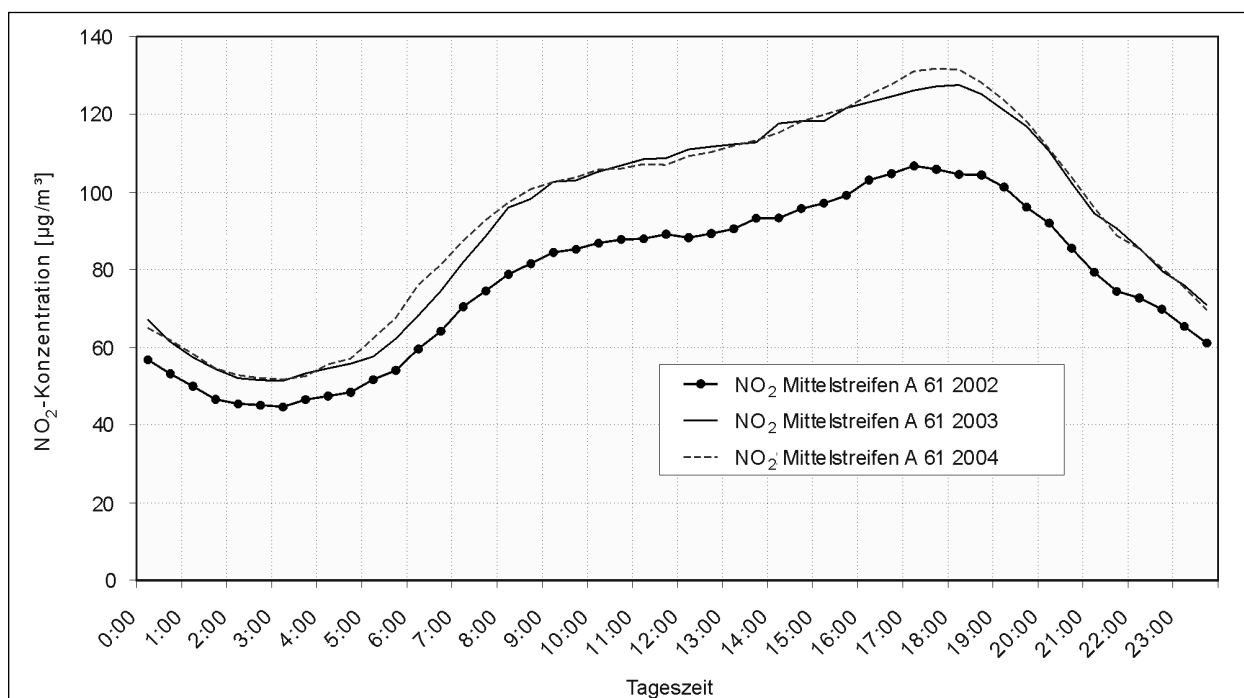
Bild 5.21: Tagesganglinie des Gesamtverkehrs am Messquerschnitt an der A 61 für die Jahre 2001 bis 2003 (für 2004 lagen noch keine abschließend geprüften Daten vor)

die Jahre 2003 und 2004 verzeichnet, an der Messstelle am Fahrbahnrand von 2002 zu 2003 um bis zu 34 % mit einer Wiederabnahme in etwa der gleichen Höhe von 2003 zu 2004. Dieser Trend der Wiederabnahme zeigt sich an der vergleichbaren Messstelle am Messquerschnitt an der A 4 nicht.

Gründe für dieses von den anderen Messstellen abweichende Verhalten am Fahrbahnrand an der A 61 können vielfältiger Natur sein. Meteorologische Einflüsse sind hier als sehr wichtiger Faktor zu nennen. So können lokal durch die unterschiedlichen Umgebungsbedingungen der beiden Mess-

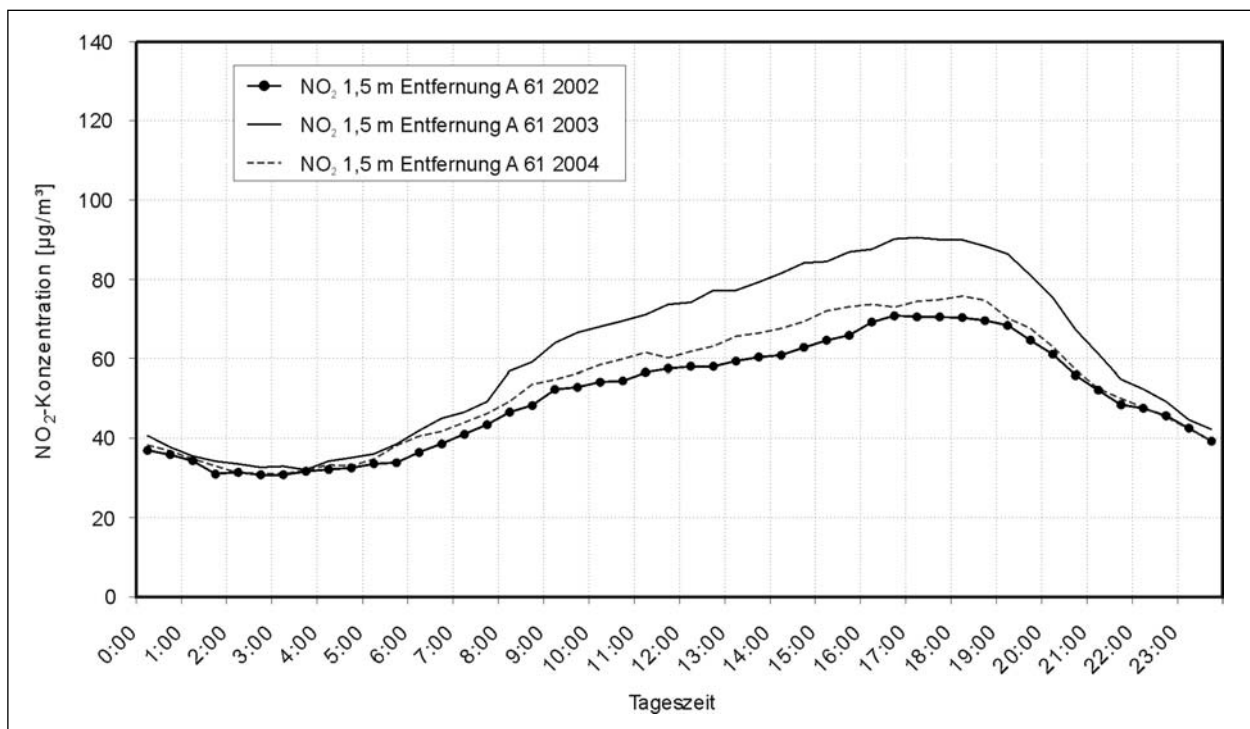


**Bild 5.22:** Tagesganglinie des Schwerverkehrs am Messquerschnitt an der A 61 für die Jahre 2001 bis 2003 (für 2004 lagen noch keine abschließend geprüften Daten vor)



**Bild 5.23:** Tagesganglinien der NO<sub>2</sub>-Konzentration am Messquerschnitt an der A 61 in einer Entfernung von 1,5 m vom Fahrbahnrand für die Jahre 2002 bis 2004





**Bild 5.24:** Tagesganglinien der  $\text{NO}_2$ -Konzentration am Messquerschnitt an der A 61 in einer Entfernung von 1,5 m vom Fahrbahnrand für die Jahre 2002 bis 2004

Messstelle	2002	2003	2004
Mittelstreifen	77,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	92,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	92,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1,5 m Entfernung vom Fahrbahnrand	50,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	60,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	52,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Jahresmittelgrenzwert + Toleranzmarge	56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**Tab. 5.4:**  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwerte am Messquerschnitt an der A 61 für die Jahre 2002 bis 2004

querschnitte auch Unterschiede in den meteorologischen Gegebenheiten entstehen, die sich auf die Schadstoffkonzentrationen auswirken.

Die  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwerte am Messquerschnitt an der A 61 sind in Tabelle 5.4 aufgeführt.

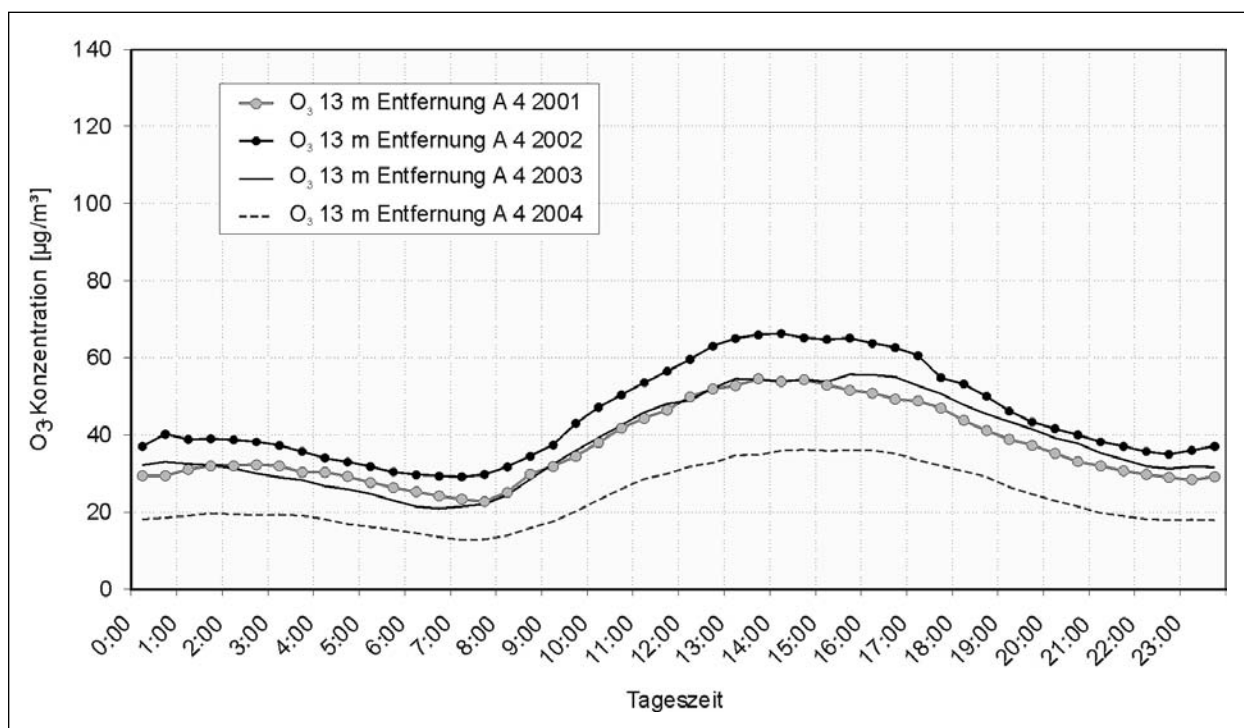
An der Messstelle in 1,5 m Entfernung vom Fahrbahnrand, die die Anforderungen für Probenahmestellen gemäß 22. BImSchV erfüllt, wurde im Jahr 2002 der Jahresmittelwert plus der für dieses Kalenderjahr geltenden Toleranzmarge eingehalten. In den Jahren 2003 und 2004 wurden diese Werte überschritten, 2004 jedoch nur minimal.

## 5.4 Ozon $\text{O}_3$

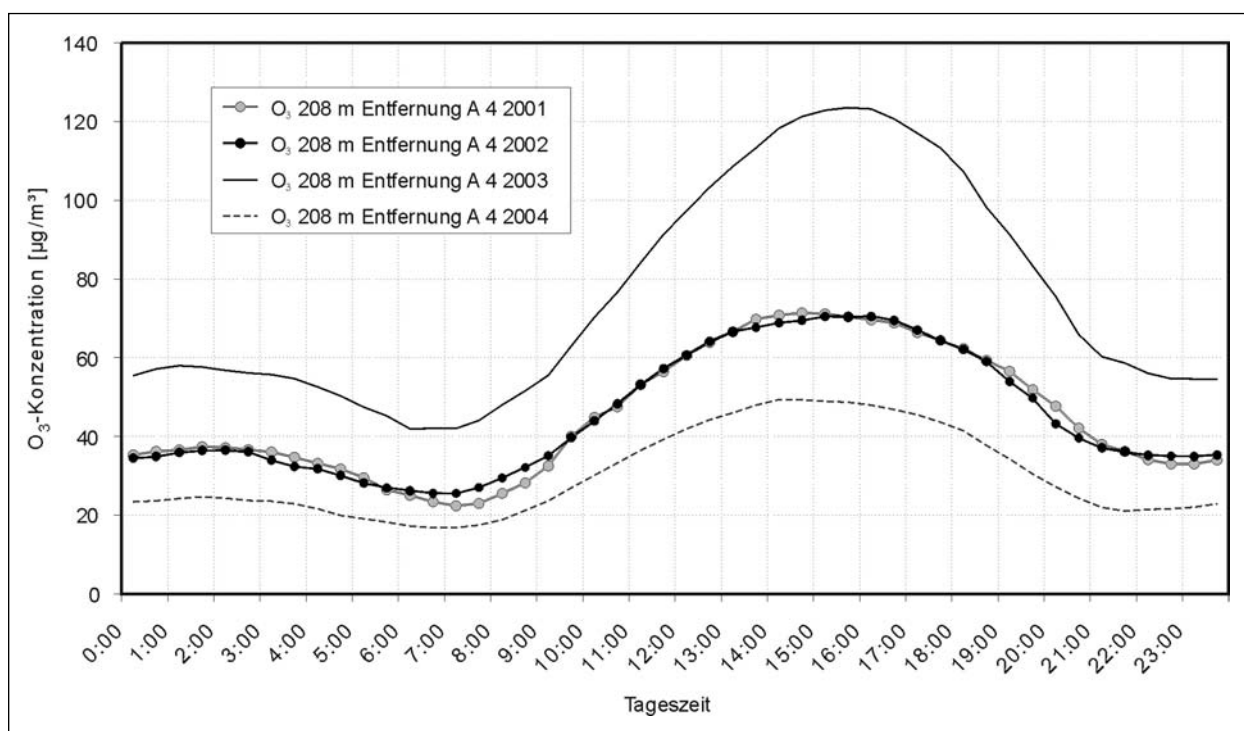
### 5.4.1 Messquerschnitt BAB A 4

Die Bilder 5.25 und 5.26 zeigen die Tagesganglinien der Ozonkonzentrationen, die an zwei unterschiedlich weit von der Fahrbahn entfernten Messstellen kontinuierlich aufgenommen wurden. In 13 m Entfernung vom Fahrbahnrand zeigen sich für die Jahre 2001 bis 2003 ähnliche Verläufe mit niedrigen Werten am frühen Morgen zwischen 20 und 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und maximalen Werten am Nachmittag zwischen 50 und 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die Daten des Kalenderjahres 2004 weisen dagegen deutlich geringere Werte auf als in den Jahren zuvor mit Höchstwerten in den Mittagsstunden zwischen 30 und 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (s. Bild 5.25).

An der Messstelle in 208 m Entfernung vom Fahrbahnrand werden in den Jahren 2001 und 2002 leicht höhere Werte, im Jahr 2003 hingegen deutlich höhere  $\text{O}_3$ -Konzentrationen als in Trassennähe beobachtet. Im Jahr 2004 gehen die Werte des Tagesganges auch an dieser Messstelle im Vergleich zu den anderen Jahren deutlich zurück (s. Bild 5.26). Dieses Verhalten lässt sich mit den Abnahmen der  $\text{NO}_2$ -Konzentration begründen, die sich zwar nicht in den Tagesgängen, aber in den Jahresmittelwerten und 98-Perzentilen aller Messstellen deutlich hervorhebt (Kapitel 5.3.1).



**Bild 5.25:** Tagesganglinien der  $O_3$ -Konzentration am Messquerschnitt an der A 4 in einer Entfernung von 13 m vom Fahrbahnrand für die Jahre 2001 bis 2004



**Bild 5.26:** Tagesganglinien der  $O_3$ -Konzentration am Messquerschnitt an der A 4 in einer Entfernung von 208 m vom Fahrbahnrand für die Jahre 2001 bis 2004

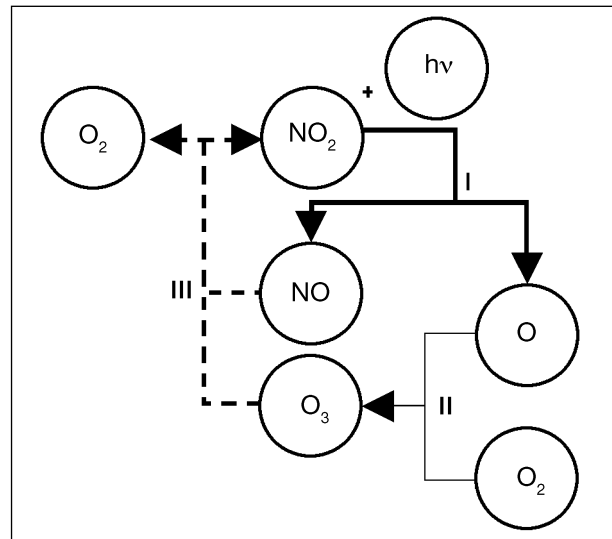
Der starke Anstieg der mittleren Ozon-Tagesverläufe im Jahr 2003 war eine Folge des sehr heißen und strahlungsstarken Sommers in diesem Jahr. Die sommerlichen Ozonepisoden im Jahr 2003 in der Zeit von Ende Juli bis in den September hinein

waren geprägt von anhaltend antizyklonaler Witterung (Strömung, die sich entgegen der Corioliskraft auf der Nordhalbkugel im Uhrzeigersinn um ein Tiefdruckgebiet herum einstellt) mit sehr heißen Abschnitten und überdurchschnittlicher Sonnen-

scheindauer. Dies sorgte insbesondere bei der Schadstoffkomponente Ozon für ungewöhnlich hohe Konzentrationswerte, die über den 5-jährigen Durchschnittswerten lagen und bei dieser Abweichung deutliche regionale Unterschiede aufwiesen. Die Witterungsbedingungen trugen dazu bei, dass die Ozonwerte im Kalenderjahr 2004 sehr gering ausfielen, wie auch an vielen Messstellen im gesamten Bundesgebiet und in diversen Waldzustandsberichten nachvollzogen werden konnte (BMVEL, 2005).

Dass die Ozon-Werte in weiteren Entfernungen von der Fahrbahn höher liegen, erklärt sich aus den photochemischen Prozessen, in die das  $O_3$  einbezogen ist (s. Kapitel 4.2). Hauptsächlich finden dabei zwei gegenläufige Prozesse zur selben Zeit statt. Der erste, der durch die Zerlegung des  $NO_2$  durch den kurzwelligen Anteil der Sonnenstrahlung in  $NO$  und  $O$  und anschließender Verbindung von  $O$  und  $O_2$  zu  $O_3$  für die Neubildung des  $O_3$  verantwortlich ist (s. Bild 5.27), überwiegt bei starkem Sonnenlicht, sofern ausreichend  $NO$  vorhanden ist. Ansonsten setzt sich der zweite Reaktionsprozess durch, der über die Verbindung von  $O_3$  und  $NO$  und Verwandlung zu  $O_2$  und  $NO_2$  insbesondere in den Nachtstunden für den Abbau des  $O_3$  sorgt. Dabei erfolgt der Abbau des  $O_3$  durch die Verbindung mit  $NO$  schneller als die  $O_3$ -Neubildung. So wird in der Nähe von stark frequentierten Straßen und Autobahnen, wo reichlich  $NO$  vorhanden ist, der  $O_3$ -Gehalt der Luft zunächst verringert. Erst in einiger Entfernung steigt er wieder an und übertrifft schließlich die Ozon-Werte in der Umgebung der Emissionsquelle, wenn unter anhaltend starker Sonneneinstrahlung, wie sie z. B. im Jahr 2003 vorlag (s. a. Tagesganglinie der Strahlung, Bild 5.7), die langsameren photochemischen Prozesse zum Abschluss gelangen, da die Stickoxidgehalte mit der Entfernung von der Straße abnehmen.

Zusätzlich kann eine Abnahme von  $NO$ -Konzentrationen starker Emissionsquellen, wie sie bei Autobahnen vorliegen, zu einem Anstieg der  $O_3$ -Werte führen, da weniger  $O_3$  mit  $NO$  zu  $NO_2$  reagieren kann. Jedoch zeigen die Jahresmittelwerte der  $NO$ -Konzentrationen der letzten 17 Jahre (s. Bilder 5.10 und 5.12), dass keine signifikanten Unterschiede bei diesen Werten zwischen den vergangenen Kalenderjahren aufgetreten sind, sondern sich eher eine Stagnation eingestellt hat. Somit sind die Zunahmen der Ozonkonzentrationen vor allem auf die extreme Wittersituation im Jahr 2003 zurückzuführen.

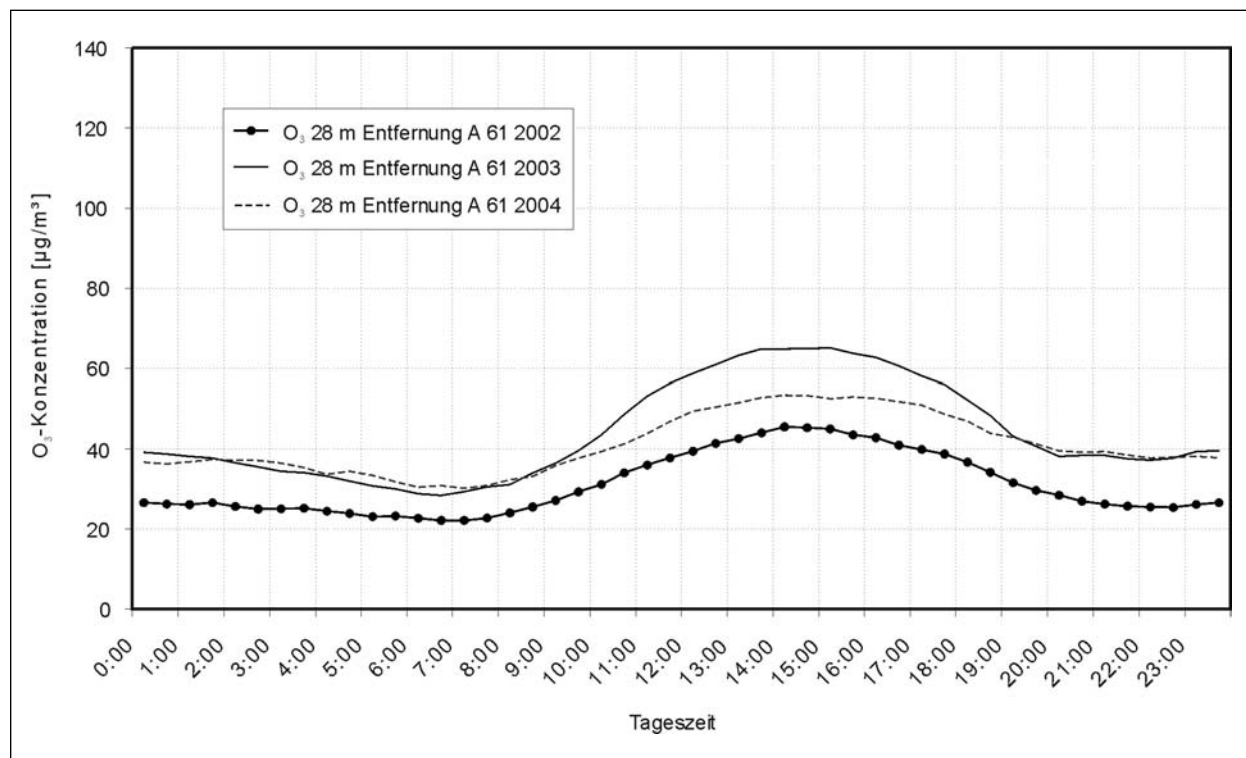


**Bild 5.27:** Darstellung des Bildungsmechanismus von bodennahem Ozon durch die Ozonvorläufersubstanz Stickstoffdioxid.  $NO_2$  wird unter Einwirkung kurzwelliger UV-Strahlung ( $h\nu$ ) in  $NO$  und  $O$  zerlegt (I).  $O$  verbindet sich unter Mitwirkung eines Stoßpartners zu  $O_3$  (II). Der Stoßpartner ist wichtig, um die Energie abzuführen, da das  $O_3$  andernfalls direkt wieder in  $O$  und  $O_2$  zerfallen würde. Das  $O_3$  verbindet sich mit  $NO$  und wird umgewandelt zu  $O_2$  und  $NO_2$  (III). Der Kreislauf beginnt wieder mit  $NO_2$  und Strahlung

Die Einzigartigkeit des Sommers 2003 und insbesondere der damit einhergegangenen Ozonepisoden wurde auch an Messstellen anderer Messnetze festgehalten (UBA, 2003). Diese Episoden zeigten durch ihre außergewöhnliche Wittersituation eine deutliche Abweichung bei Häufigkeit des Auftretens und Dauer von Schwellenwertüberschreitungen in Bezug auf die letzten acht Jahre.

#### 5.4.2 Messquerschnitt BAB A 61

Die Ozon-Tagesganglinien des Messquerschnitts an der A 61 (s. Bild 5.28) weisen eine Zunahme von 2002 zu 2003 um bis zu 50 % auf. Auch hier handelt es sich vermutlich um eine Auswirkung der extremen Witterungsverhältnisse 2003, die sich in dieser Entfernung in einer deutlichen Erhöhung der Ozonkonzentrationswerte auswirken (s. a. Kapitel 5.4.1). Im Jahr 2004 liegt die  $O_3$ -Belastung im Tagesverlauf an der A 61 in den Abend-, Morgen- und Nachtstunden zwischen 20 Uhr und 9 Uhr gleich hoch wie im Kalenderjahr 2003, jedoch in den Tagesstunden zwischen 10 Uhr und 19 Uhr um bis zu  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  unter den Werten des Vorjahres. Gegenüber 2002 ist eine Zunahme zu erkennen. Auch an der A 61 konnte am Fahrbandrand ein Rückgang des  $NO_2$ -Jahresmittelwertes beobachtet werden (Kapitel 5.3.2), der Einfluss auf den Verlauf der  $O_3$ -Belastung genommen zu haben scheint.



**Bild 5.28:** Tagesganglinien der O<sub>3</sub>-Konzentration am Messquerschnitt an der A 61 in einer Entfernung von 28 m vom Fahrbahnrand für die Jahre 2002 bis 2004

## 5.5 Vergleich der beiden Messquerschnitte

### 5.5.1 Verkehrsbelastungen

In Bild 5.29 sind die Monatsmittelwerte des DTV der beiden Messquerschnitte einander gegenübergestellt. Sie zeigen einen ähnlichen jahreszeitlichen Verlauf. Es werden hier und in Bild 5.30 die Daten des Zeitraums vom Beginn der PM<sub>10</sub>-Messwertaufnahme an der A 4 im April 2001 bis Juni 2004 dargestellt, wobei die Daten für das Kalenderjahr 2004 nicht abschließend geprüft sind. In den Monaten Dezember und Januar liegen die Werte an beiden Querschnitten jahreszeiten- und weihnachtsferienbedingt um etwa 25 % niedriger als in den Monaten Juli bis September.

Des Weiteren ist ein deutlicher Unterschied zwischen A 4 und A 61 im Ferienmonat August zu beobachten. An der A 4 entsteht ein Rückgang der Gesamtverkehrsmenge und an der A 61 im selben Monat ein Maximum. Dieses Phänomen lässt sich dadurch begründen, dass die A 61 eine bevorzugte Verbindung für den Ferienreiseverkehr ist, wohingegen die A 4 hauptsächlich vom Berufspendlerverkehr frequentiert wird.

Bild 5.30 zeigt die Schwerverkehrsbelastung in absoluten Zahlen für beide Messquerschnitte. Auch hier ist der jahreszeitliche Rhythmus zu beobachten mit den jeweils deutlichen Ausschlägen der Dezemberwerte nach unten. Diese entstehen durch die hohe Anzahl Feiertage und die Betriebsferien vieler Unternehmen zwischen Weihnachten und Silvester.

Anhand der wochentagabhängigen Tagesganglinien des Gesamtverkehrs, die in den Bildern 5.31 und 5.32 beispielhaft für das Jahr 2003 dargestellt wurden, ist zu sehen, dass der Verkehr an der A 4 an den Wochentagen Montag bis Donnerstag und Freitag sehr viel stärker ist als an den beiden Tagen Samstag und Sonntag und einen durch den Berufspendlerverkehr bedingten typischen Verlauf aufweist. Im Gegensatz dazu verhält sich der Verkehr an der A 61 von Montag bis Donnerstag ähnlich wie an der A 4, allerdings nimmt er an den Wochentagen Freitag, Samstag und Sonntag an der A 61 deutlich stärker zu als an der A 4. Dies weist wiederum darauf hin, dass die A 4 vor allem von Berufspendlerverkehr frequentiert wird und auf der A 61 sehr viel mehr Fernverkehr in Nord-Süd-Richtung stattfindet und die erhöhte Belastung insbesondere von Urlaubern und Wochenendausflüglern

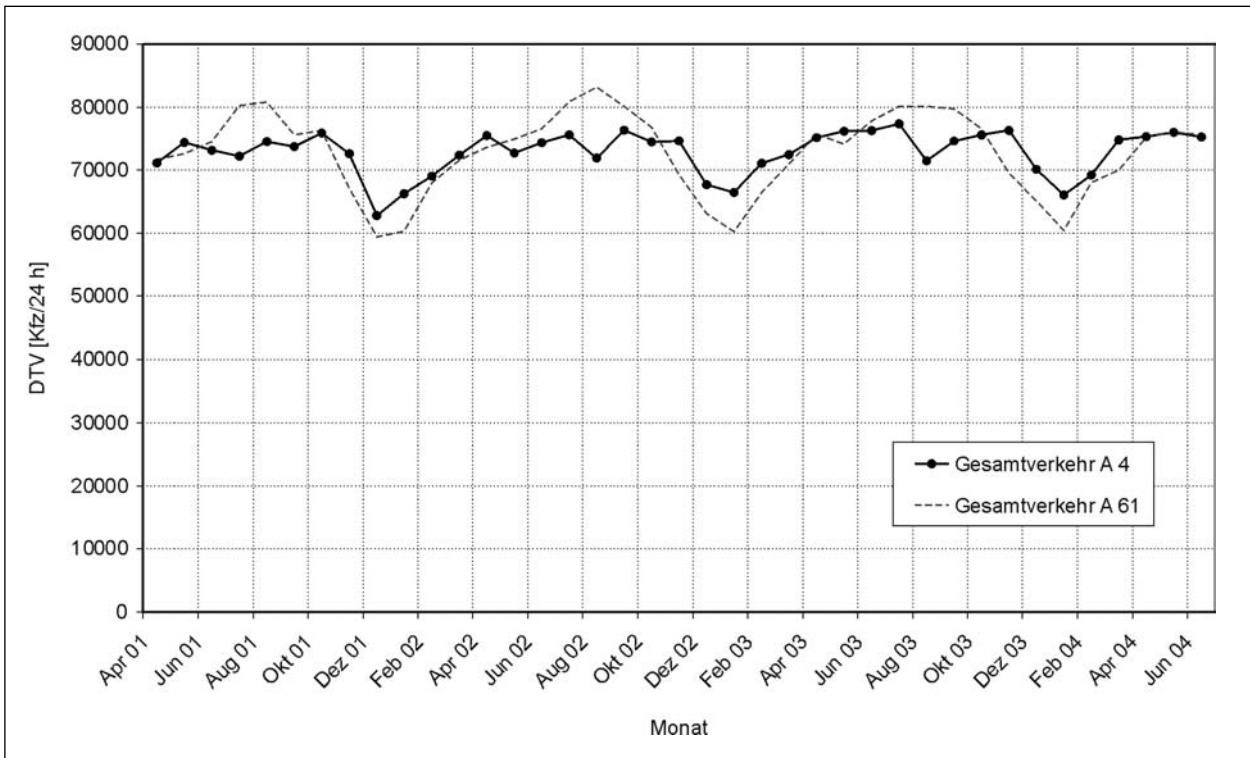


Bild 5.29: DTV an beiden Messquerschnitten für den Zeitraum April 2001 bis Juni 2004 (Daten für 2004 nicht abschließend geprüft)

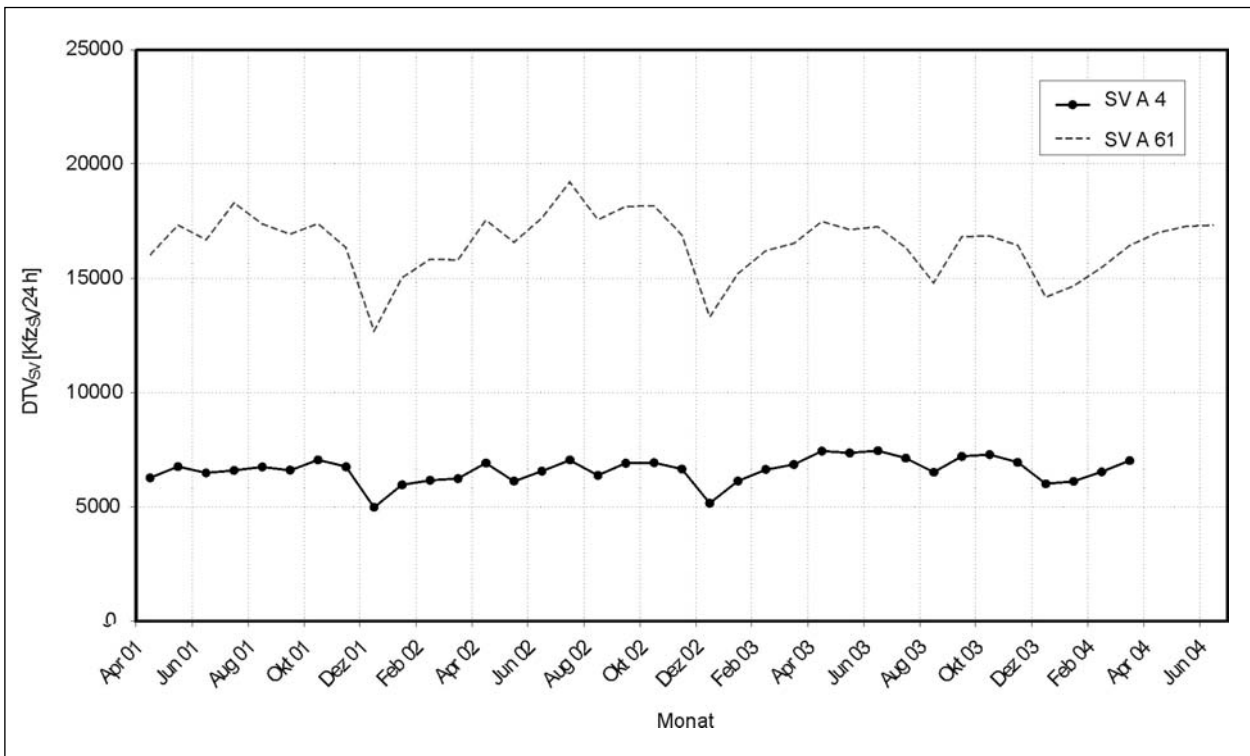


Bild 5.30: SV-Belastung an beiden Messquerschnitten für den Zeitraum April 2001 bis Juni 2004 (Daten für 2004 nicht abschließend geprüft)

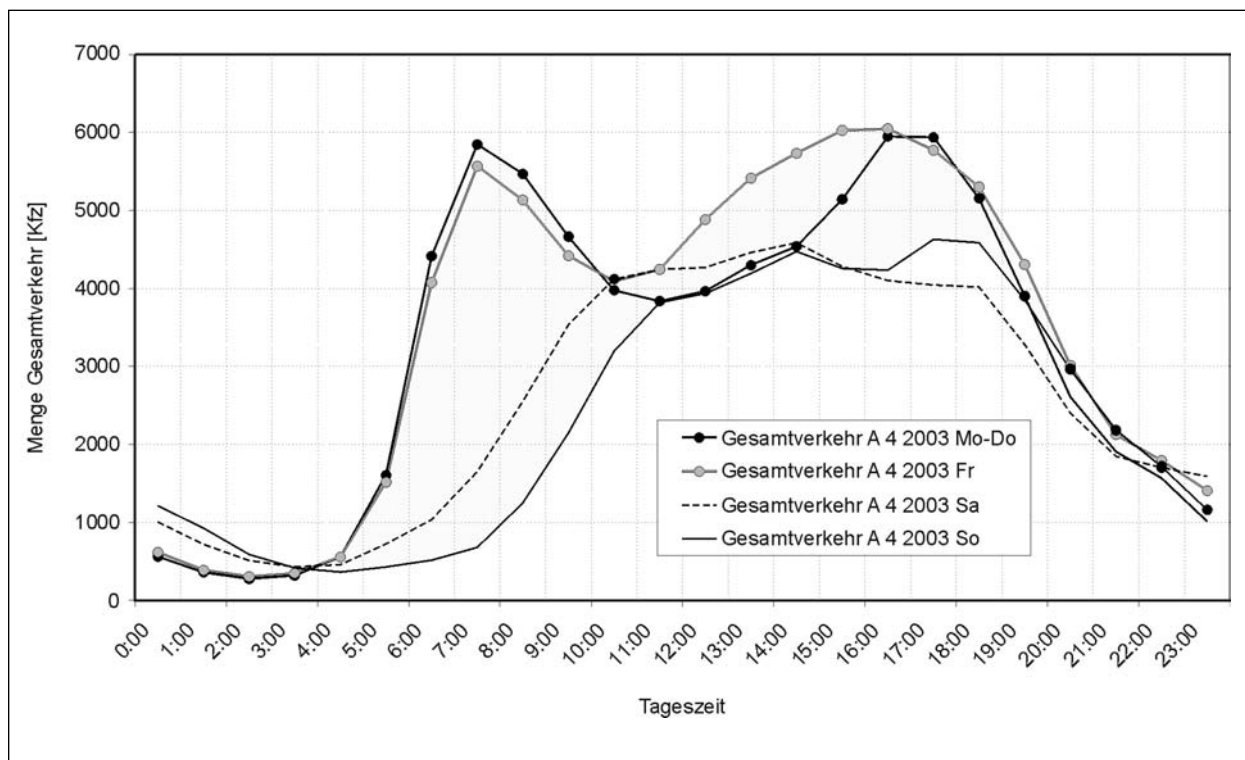


Bild 5.31: Wochentagabhängige Tagesganglinien des Gesamtverkehrs am Messquerschnitt an der A 4 für das Jahr 2003

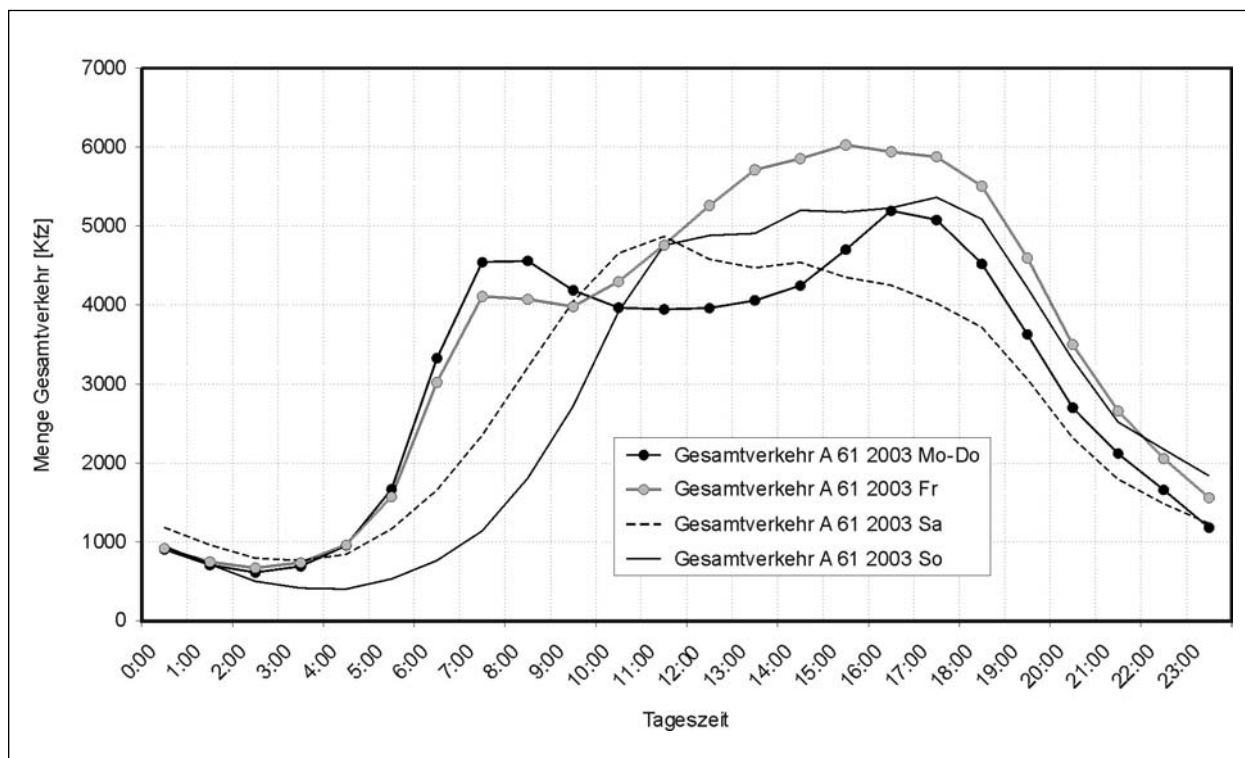


Bild 5.32: Wochentagabhängige Tagesganglinien des Gesamtverkehrs am Messquerschnitt an der A 61 für das Jahr 2003

sowie durch den nach dem Wochenendfahrverbot wieder startenden Schwerverkehr hervorgerufen wird.

Die großen Unterschiede beider Messquerschnitte im Schwerverkehr können exemplarisch für das Kalenderjahr 2003 aus den Bildern 5.33 und 5.34

entnommen werden, in denen die wochentagabhängigen Tagesganglinien der Schwerverkehrsmengen gezeigt werden. Zunächst tritt der höhere SV-Anteil am Gesamtverkehr an der A 61 deutlich in den sehr viel höheren Werten der Verkehrsstärke zutage. Aber insbesondere der starke Peak in den

Nachtstunden des Sonntags an der A 61 lässt auf den nach dem Wochenendfahrverbot wieder einsetzenden Schwerverkehr schließen. Dieser kann zwar auch an der A 4 nachgewiesen werden, aber längst nicht in dem Maße, wie dies an der A 61 der Fall ist.

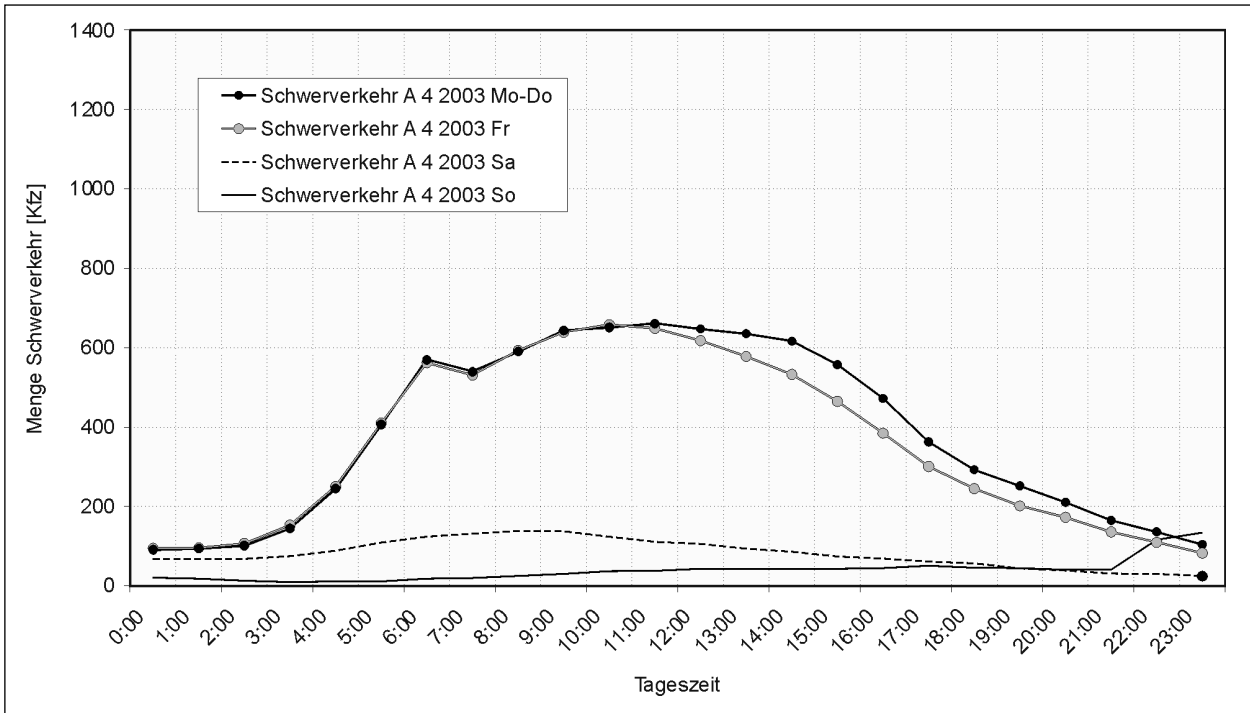


Bild 5.33: Wochentagabhängige Tagesganglinien des Schwerverkehrs am Messquerschnitt an der A 4 für das Jahr 2003

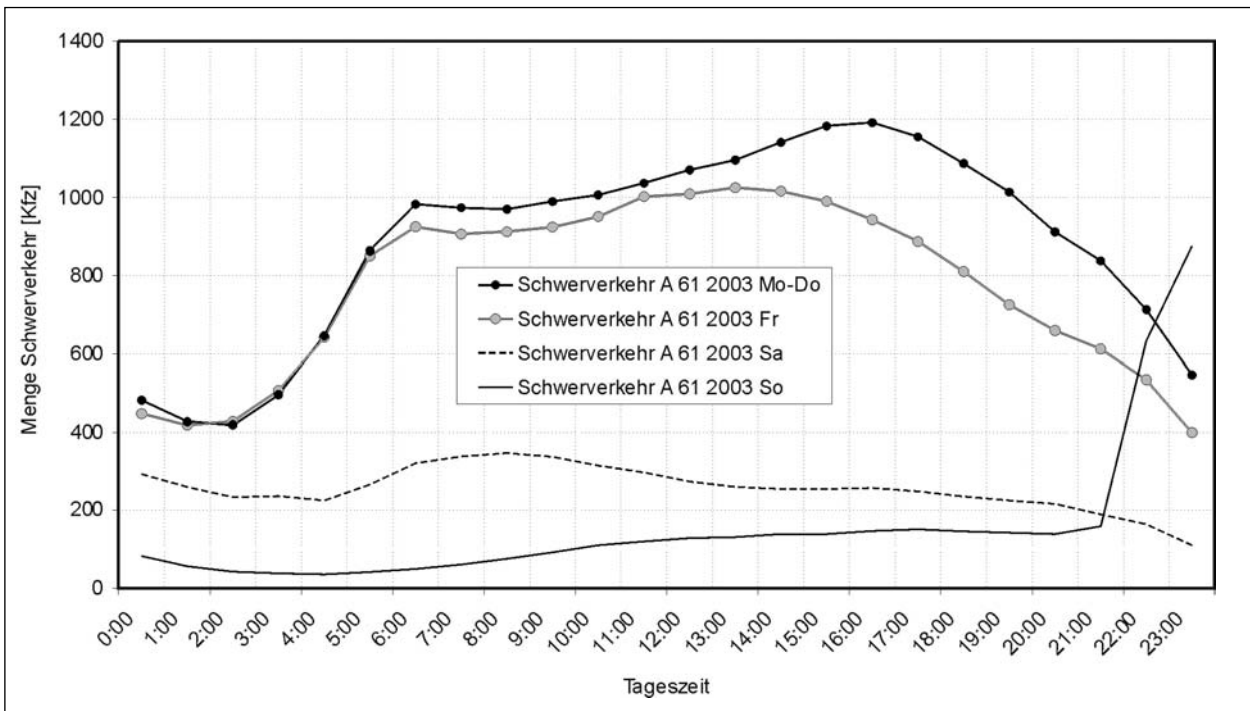


Bild 5.34: Wochentagabhängige Tagesganglinien des Schwerverkehrs am Messquerschnitt an der A 61 für das Jahr 2003

### 5.5.2 Schadstoffkonzentrationen

In den Bildern 5.36 bis 5.39 sind die Monatsmittelwerte der NO- und der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen bei der Messquerschnitte seit Inbetriebnahme des A-61-Querschnitts (April 2001) einander gegenübergestellt. An den Mittelstreifen-Messstellen tritt zunächst ein ähnlicher Verlauf sowohl für das NO als auch für das NO<sub>2</sub> auf. Bei der NO<sub>2</sub>-Komponente zeigen sich an der A 61 jedoch größere Schwankungen der Konzentrationswerte als an der A 4 seit Anfang 2003 (s. Bild 5.36). Dies korreliert mit deutlich höheren O<sub>3</sub>-Werten an der A 61 (O<sub>3</sub>-Daten lagen seit Januar 2002 vor), die seit Mai 2003 verzeichnet werden (s. Bild 5.35).

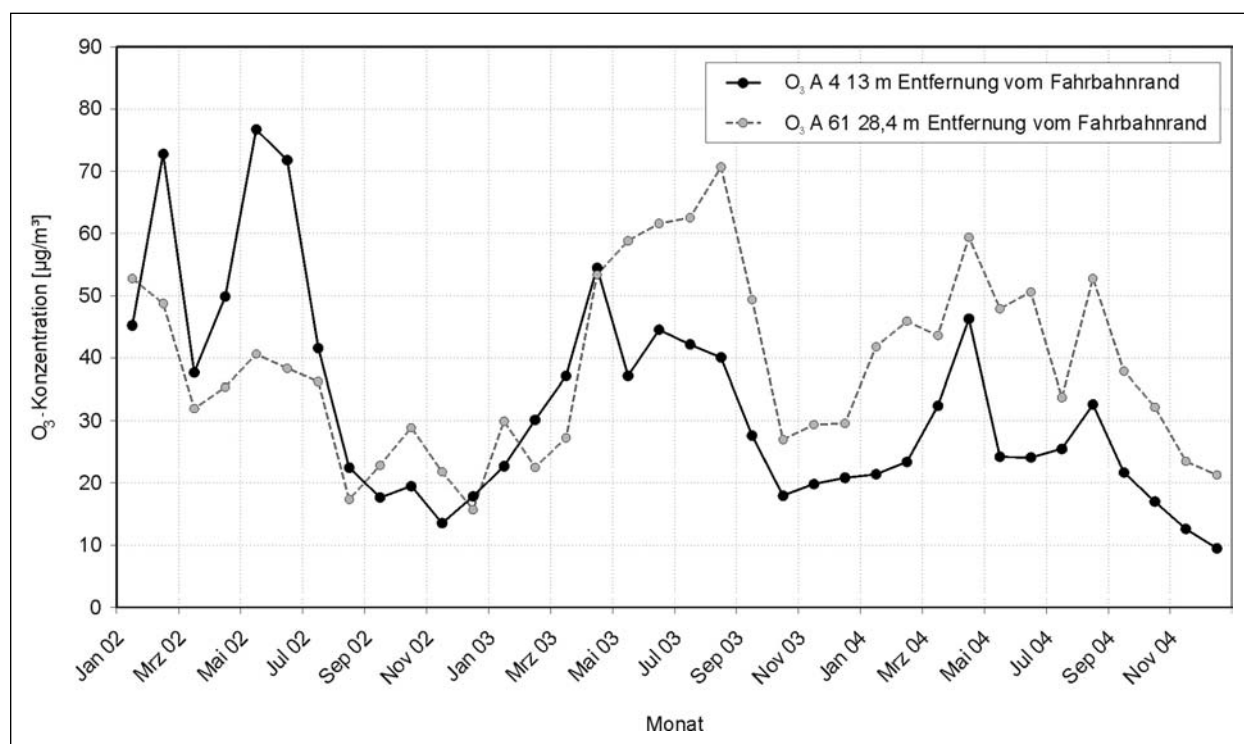
An den Messstellen in 1,5 m Entfernung vom Fahrbahnrand werden bei der NO-Komponente seit November 2002 ähnliche Werte an beiden Messquerschnitten verzeichnet. Davor lagen die Werte an der A 61 deutlich niedriger als an der A 4 (s. Bild 5.37). Bezüglich der NO<sub>2</sub>-Komponente ist an diesen Messstellen ein ähnliches Verhalten wie an der Mittelstreifenmessstelle festzustellen.

In Bild 5.36 fällt ein sehr hohes Maximum der NO-Werte an dem Messquerschnitt an der A 61 im November 2004 auf. Einfluss auf diesen Verlauf hatte eine Baumaßnahme an dem Messquerschnitt an der A 61 zwischen dem 25.10. und dem

26.11.2004, während derer die Fahrzeuge einer Geschwindigkeitsbegrenzung von 80 km/h unterlagen und der Verkehr in der Zeit dieser Arbeitsstelle wie in Bild 5.40 dargestellt umgelenkt wurde.

Während der gesamten Dauer der Baumaßnahmen verblieb der Verkehr in Richtung NW auf Standstreifen und äußerem Fahrstreifen. Der Verkehr in Richtung SO wurde in der Zeit vom 25.10. bis 13.11.2004 über den Standstreifen und den inneren Fahrstreifen der Gegenrichtung geführt und vom 14.11.2004 bis zum 26.11.2004 über die inneren Fahrstreifen beider Fahrrichtungen.

In den Aufzeichnungen der NO- und NO<sub>2</sub>-Konzentration in der Arbeitsstellenphase (s. Bilder 5.41 und 5.42) heben sich die beiden Zeitabschnitte, in denen eine unterschiedliche Verkehrsführung herrschte, voneinander ab. In der ersten Phase der Baumaßnahmen, in der insbesondere der Schwerverkehr an der Messstelle in 1,5 m Entfernung vom Fahrbahnrand vorbeigeführt wurde, nehmen die NO- und die NO<sub>2</sub>-Konzentration dort zu. Dieses Verhalten kann in der NO-Komponente besser beobachtet werden als in der NO<sub>2</sub>-Komponente, da der Umwandlungsprozess von NO zu NO<sub>2</sub> noch nicht genug Zeit hatte, um zu hohen Umwandlungsraten zu führen. In der zweiten Phase treten aus demselben Grund extrem hohe Werte an dieser Messstelle auf dem Mittelstreifen auf, da zu der



**Bild 5.35:** O<sub>3</sub>-Monatsmittelwerte in 13 m bzw. 28 m Entfernung vom Fahrbahnrand für beide Messquerschnitte im Vergleich



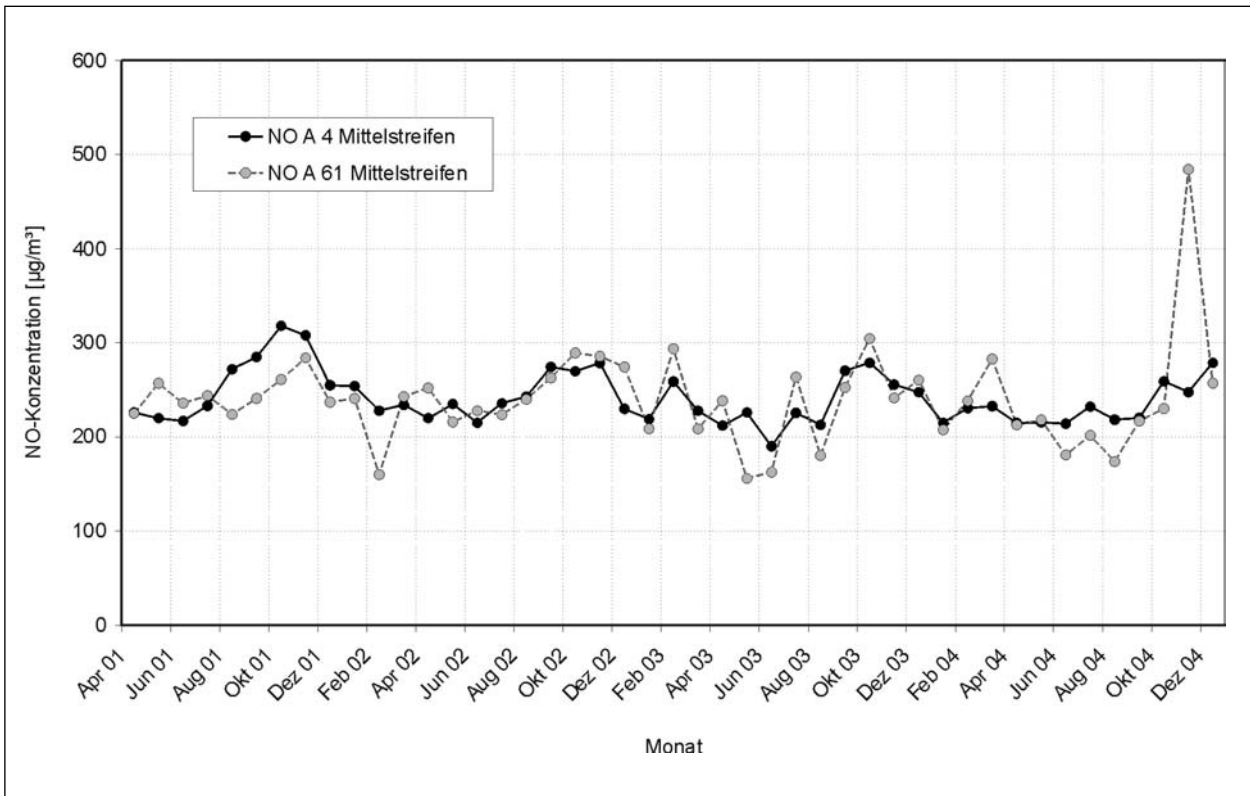


Bild 5.36: NO-Monatsmittelwerte am Mittelstreifen für beide Messquerschnitte im Vergleich

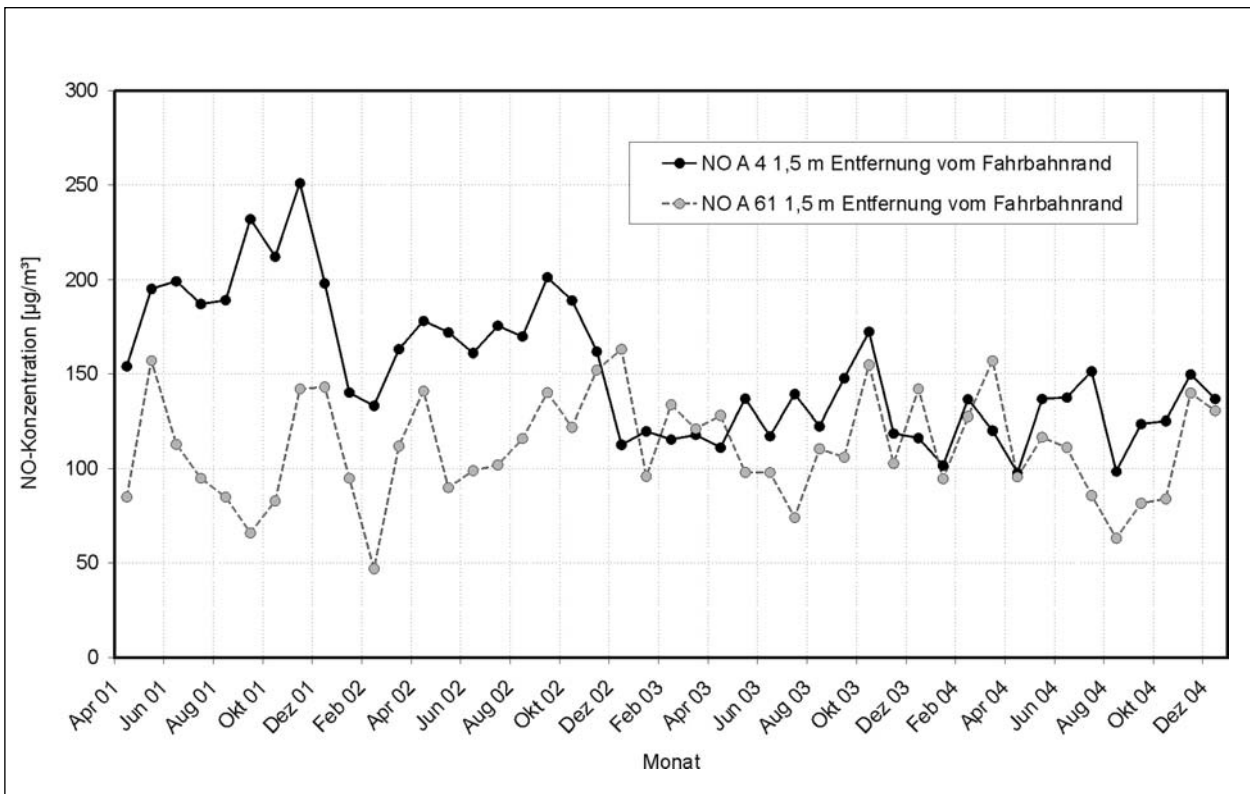
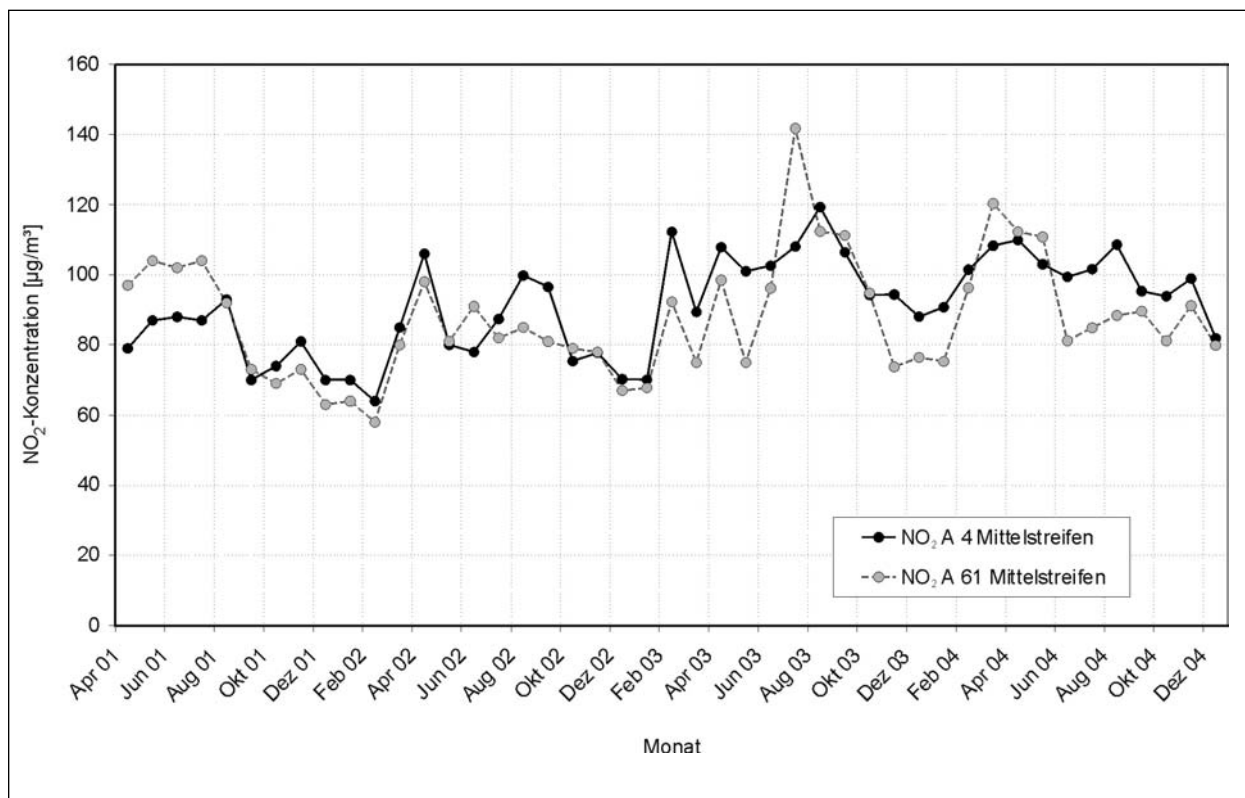
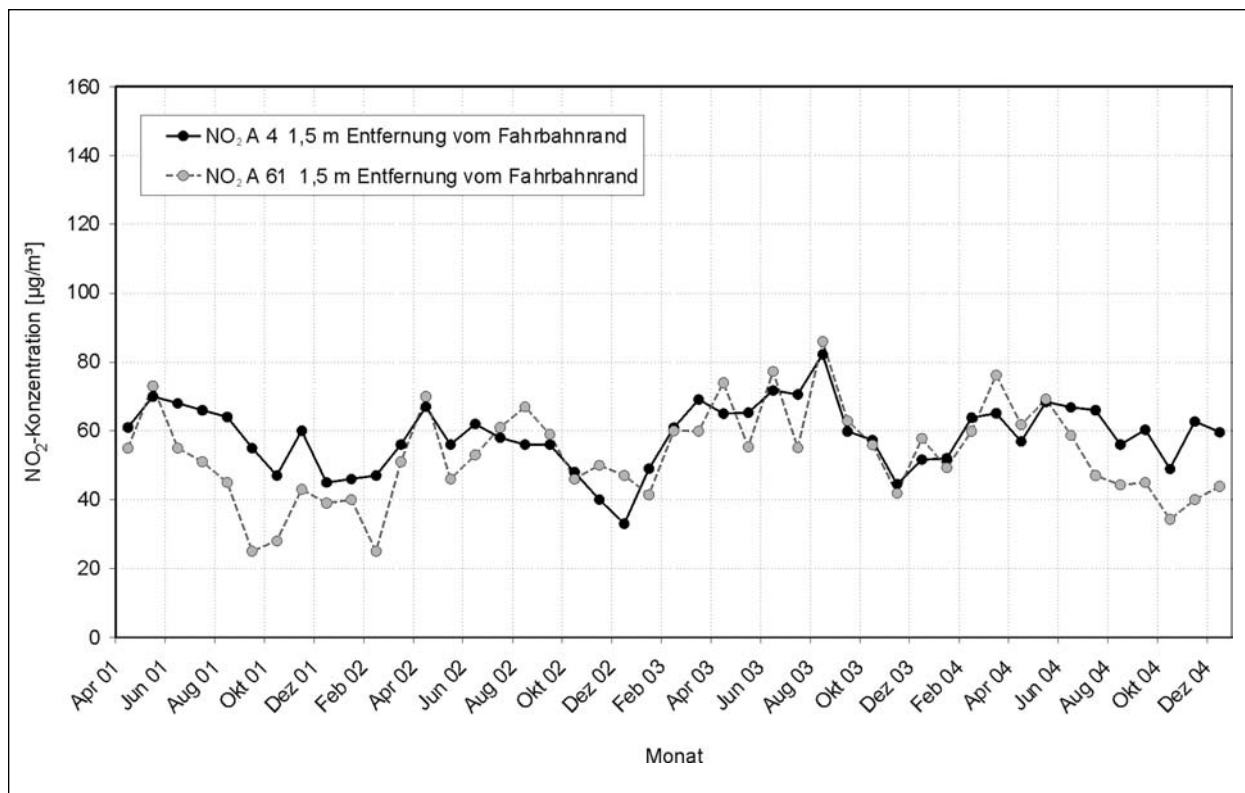


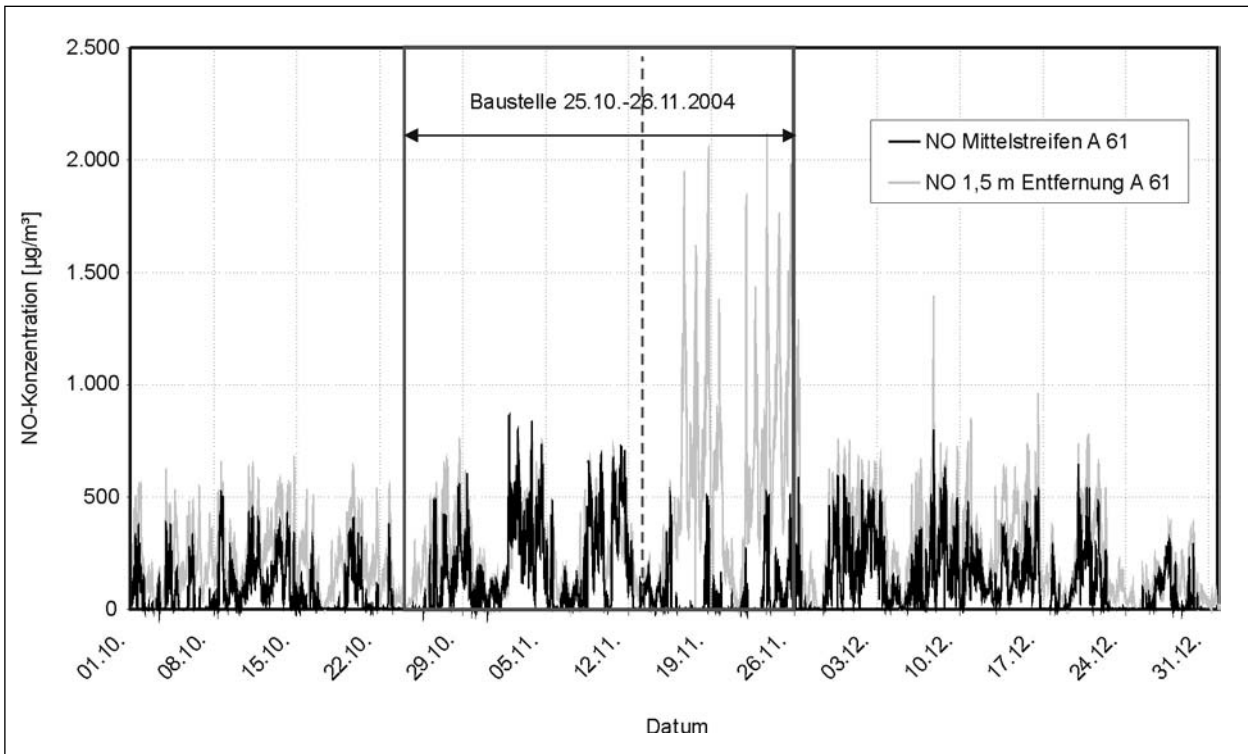
Bild 5.37: NO-Monatsmittelwerte in 1,5 m Entfernung vom Fahrbahnrand für beide Messquerschnitte im Vergleich



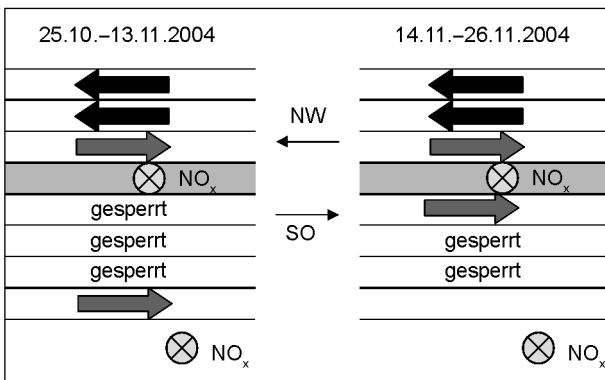
**Bild 5.38:** NO<sub>2</sub>-Monatsmittelwerte am Mittelstreifen für beide Messquerschnitte im Vergleich



**Bild 5.39:** NO<sub>2</sub>-Monatsmittelwerte in 1,5 m Entfernung vom Fahrbahnrand für beide Messquerschnitte im Vergleich



**Bild 5.41:** NO-Halbstundenmittelwerte am Messquerschnitt an der A 61 für die Monate Oktober bis Dezember 2004



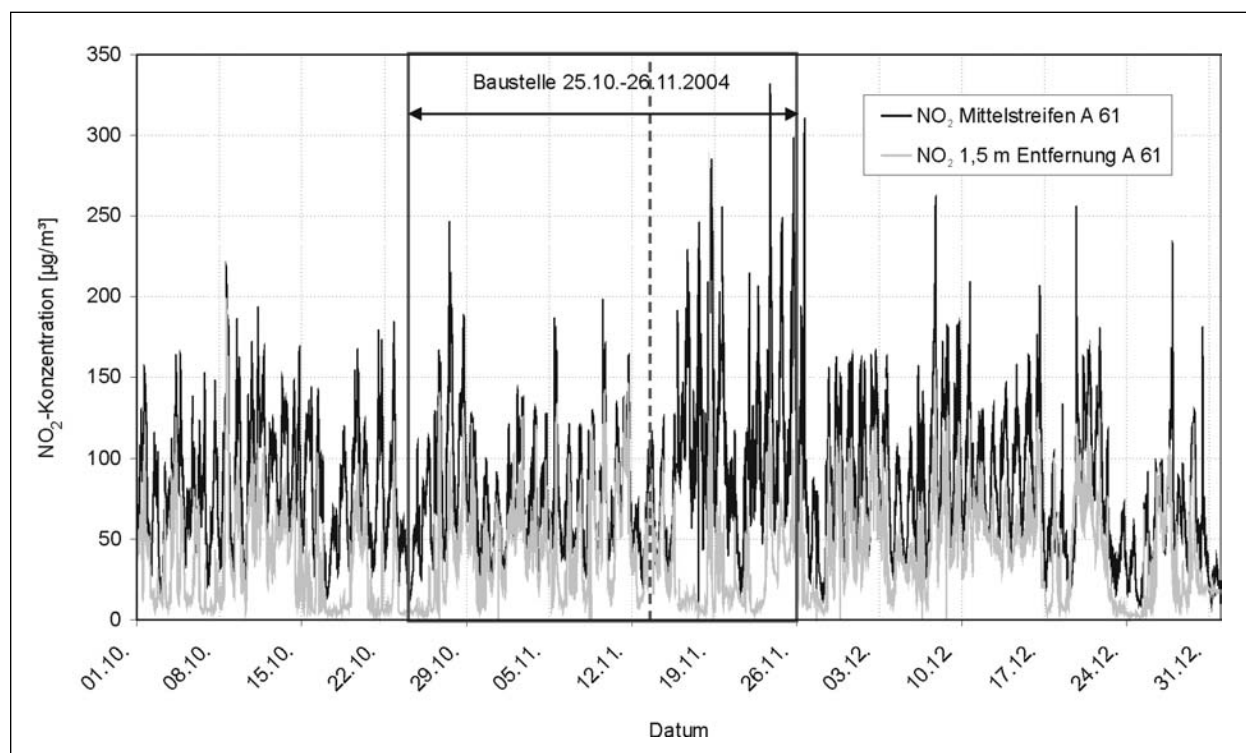
**Bild 5.40:** Linienführung des Verkehrs am Messquerschnitt an der A 61 während der Dauer der Baustelle vom 25.10. bis 26.11.2004

Zeit der Schwerverkehr direkt an der Messstelle vorbeigeführt wurde, was bei normalem Verkehrsablauf nicht der Fall ist. Durch diese erhöhten Stickoxidwerte während der Zeit der Baumaßnahmen fiel der Monatsmittelwert in der NO-Schadstoffkomponente an dem Messquerschnitt an der A 61 an der Mittelstreifenmessstelle höher aus als in den restlichen Monaten. In einer Entfernung von 1,5 m vom Fahrbahnrand ist ein leichter Anstieg im Vergleich zu den Vormonaten zu erkennen. In der NO<sub>2</sub>-Komponente fielen die Erhöhungen wegen der geringen Entfernung weniger stark aus und können nach einer Mittelung über den Monat nicht mehr nachvollzogen werden.

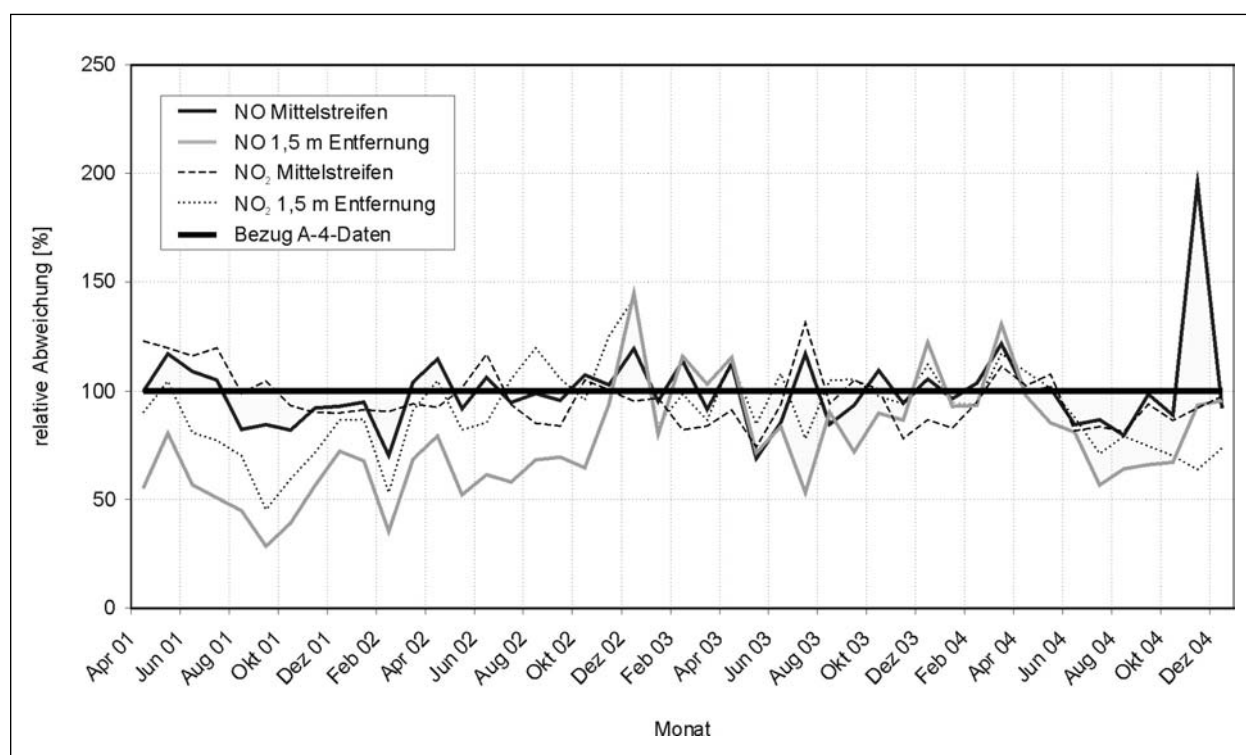
Bild 5.43 zeigt den prozentualen Unterschied der NO- und NO<sub>2</sub>-Konzentrationen beider Messquerschnitte. Die Werte, die an der A 61 aufgezeichnet wurden, liegen bis Mitte 2002 zumeist unter denen der Messstellen an der A 4. Seit Mitte 2002 schwanken die A-61-Daten jedoch für zwei Jahre bis Mitte 2004 in den gleichen Größenordnungen wie die an der A 4 aufgenommenen Stickoxidkonzentrationen. Auffällig ist hier wiederum der Peak im November 2004 (s. obige Ausführungen zu den Baumaßnahmen an der A 61). Durchschnittlich unterscheiden sich die Werte an der A 61 im Vergleich zu denen an der A 4 um den Faktor 0,9 bis 1.

In der Betrachtung des prozentualen Unterschieds der O<sub>3</sub>-Belastungen an beiden Messquerschnitten in Bild 5.44 ist zu beobachten, dass die Werte am Messquerschnitt an der A 61 bis Mitte 2003 unter denen an der A 4 liegen. Danach steigen die Belastungen an der A 61 deutlich über die an der A 4. Durchschnittlich unterscheiden sich die O<sub>3</sub>-Konzentrationen innerhalb des Untersuchungszeitraums um den Faktor 1,6.

Insgesamt scheinen sich die meteorologischen Extremwerte insbesondere der Sonnenstrahlung des Jahres 2003 stärker auf den ungeschützter liegenden Messquerschnitt an der A 61 auszuwirken als



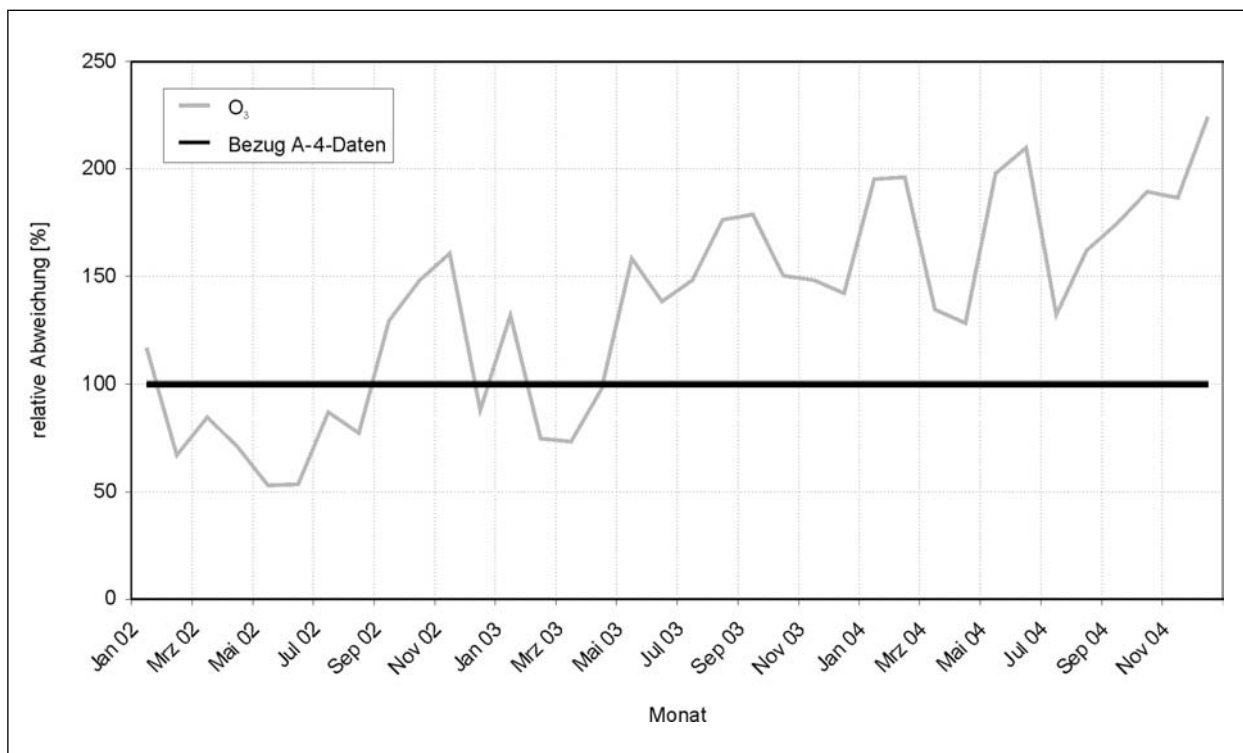
**Bild 5.42:** NO<sub>2</sub>-Halbstundenmittelwerte am Messquerschnitt an der A 61 für die Monate Oktober bis Dezember 2004



**Bild 5.43:** Relative Abweichung der NO- und NO<sub>2</sub>-Schadstoffbelastung an dem Messquerschnitt an der A 61 in Bezug auf die Belastung an dem Messquerschnitt an der A 4

auf den an der A 4, der zum Teil innerhalb eines Waldgebietes liegt. Dies würde die höheren Werte während des Kalenderjahres 2003 erklären (s. Bilder 5.43 und 5.44). Der starke Anstieg zum Ende

des Jahres 2004 wurde sehr wahrscheinlich durch die im Monat November eingerichtete Arbeitsstelle hervorgerufen. Hier müsste für eine eindeutigere Aussage über die weitere Entwicklung der Schad-



**Bild 5.44:** Relative Abweichung der O<sub>3</sub>-Schadstoffbelastung an dem Messquerschnitt an der A 61 in Bezug auf die Belastung an dem Messquerschnitt an der A 4

stoffbelastung beider Querschnitte eine Analyse der Daten aus dem laufenden Jahr 2005 abgewartet werden.

**5.5.3 Bezug zu den Anforderungen der 22. BImSchV und 33. BImSchV**

**NO<sub>2</sub>**

Die Jahresmittelwerte sind hinsichtlich der novellierten 22. BImSchV wichtige Messgrößen, um die Möglichkeit der Einhaltung des dort ab 2010 geforderten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelgrenzwertes abschätzen zu können.

In Tabelle 5.5 sind die Jahresmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Konzentration für die Jahre 2002 bis 2004 aufgeführt.

Das Jahr 2001 wurde nicht betrachtet, da für den Messquerschnitt an der A 61 lediglich Daten von April bis Dezember zur Verfügung standen. Der Aufstellung kann entnommen werden, dass der ab 01.01.2010 geforderte NO<sub>2</sub>-Jahresmittelgrenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> an den Messstellen in 1,5 m bzw. 2,4 m Entfernung vom Fahrbahnrand zurzeit nicht eingehalten werden kann. Sowohl an der A 61 als auch an der A 4 wurde der Jahresmittelgrenzwert in den betrachteten Kalenderjahren deutlich überschritten. Wird die Toleranzmarge des jeweiligen

	Jahresmittelgrenzwert (+Toleranzmarge) [µg/m <sup>3</sup> ]	A 4		A 61
		Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]		
		Fahrbahnrand Ri. Köln	Fahrbahnrand Ri. Olpe	Fahrbahnrand Ri. Koblenz
2002	56	55,6	52,7	50,1
2003	54	62,1	66,4	60,9
2004	52	57,2	58,1	52,4
...	...	...	...	...
2010	40	...	...	...

**Tab. 5.5:** NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte der beiden Messquerschnitte an der A 4 und der A 61 für die Jahre 2002 bis 2004. Die vorgegebenen Grenzwerte sind ebenfalls für das Jahr 2010 aufgeführt

Jahres auf den ab 2010 geltenden Grenzwert aufgeschlagen, erfüllen die Werte an den betrachteten Messstellen zumindest im Jahr 2002 die Anforderungen der 22. BImSchV.

Die Tatsache, dass die NO<sub>2</sub>-Werte an der A 61 unter denen an der A 4 liegen, obwohl der Schwerkverkehranteil 2,35-mal so hoch ist wie der an der A 4, ist wie oben beschrieben erklärbar durch die unterschiedlichen großräumigen Gegebenheiten (Vegetation, Trassenlage im städtebaulichen Kontext, Vorhandensein der LSW an der A 4); vor allem aber liegen die Messstellen an der A 61, bis auf

	Stundenmittelgrenzwert (+ Toleranzmarge) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	A 4		A 61	
		maximaler $\text{NO}_2$ -Stundenwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Überschreitungen [p. a.]	maximaler $\text{NO}_2$ -Stundenwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Überschreitungen [p. a.]
2002	280	436,0	4 (12)	294,9	1 (8)
2003	270	178,9	-	409,9	12 (75)
2004	260	191,5	-	302,5	1 (22)
...	...	...	...	...	...
2010	200	...	...	...	...

**Tab. 5.6:** Maximale  $\text{NO}_2$ -Stundenmittelwerte und Überschreitungshäufigkeiten gemäß 22. BImSchV an den Messstellen der beiden Messquerschnitte in 1,5 m Entfernung vom Fahrbahnrand für die Kalenderjahre 2002 bis 2004 (in Klammern: Überschreitungshäufigkeiten in Bezug auf den ab 2010 geltenden  $\text{NO}_2$ -Stundenmittelgrenzwert von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

diejenige auf dem Mittelstreifen, luvseitig zur dort vorherrschenden Windrichtung.

Als weiterer Grenzwert wird für die  $\text{NO}_2$ -Komponente ab dem 01.01.2010 ein Stundenmittelgrenzwert von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  einzuhalten sein. Dieser darf höchstens 18-mal pro Kalenderjahr überschritten werden (s. Kapitel 1.3).

Die Anzahl der  $\text{NO}_2$ -Stundenmittelwerte pro Kalenderjahr, die über dem ab 2010 gültigen Stundenmittelgrenzwert von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  plus Toleranzmarge lagen, sowie der jeweilige maximale  $\text{NO}_2$ -Stundenmittelwert ist für die Jahre 2002 bis 2004 in Tabelle 5.6 jeweils für die Messstelle an beiden Querschnitten dargestellt, die jeweils in 1,5 m Entfernung vom Fahrbahnrand Daten aufnimmt.

Den Klammern kann die Anzahl der Überschreitungen in Bezug auf den ab 2010 geltenden Grenzwert entnommen werden. Die Anzahl der Überschreitungen liegt in allen betrachteten Kalenderjahren und an beiden Messquerschnitten unter der gemäß 22. BImSchV ab 2010 zulässigen Überschreitungshäufigkeit von 18 Überschreitungen pro Kalenderjahr. In Bezug auf den Grenzwert, der am 01.01.2010 in Kraft tritt, konnten an dem Querschnitt an der A 61 in den Jahren 2003 und 2004 diese Maximalzahl von Grenzwertüberschreitungen nicht eingehalten werden.

### $\text{O}_3$

In der 33. BImSchV sind Ziel- und Schwellenwerte für Ozon angegeben (s. Kapitel 1.3). Dabei sind die Schwellenwerte auf einen Mittelungszeitraum von einer Stunde und die Zielwerte auf einen Mittelungszeitraum von 8 Stunden zu beziehen. Daher ist in Tabelle 5.7, in der für die drei Kalenderjahre 2002, 2003 und 2004 Maximalwerte der  $\text{O}_3$ -Stunden- und  $\text{O}_3$ -8-Stunden-Mittelwerte dargestellt sind, für die Informations- und die Alarmschwelle

jeweils ein gemeinsamer Stundenmittelwert aufgeführt. Es werden außerdem die Überschreitungshäufigkeiten der Ziel- und Schwellenwerte angegeben. Für den Zielwert Gesundheitsschutz ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sind ab 2010 höchstens 25 Überschreitungen pro Jahr gemittelt über drei Jahre zulässig. Nach Mittelung der Überschreitungshäufigkeiten der drei betrachteten Kalenderjahre wird diese geforderte Höchstmenge nur am Messquerschnitt an der A 61 mit einer Anzahl von 12 erfüllt. An den beiden Messstellen an der A 4 ergeben sich im Mittel über drei Kalenderjahre Überschreitungshäufigkeiten von 67 (in 208 m Entfernung vom Fahrbahnrand) und 31 (in 13 m Entfernung vom Fahrbahnrand). An der Messstelle in 13 m Entfernung vom Fahrbahnrand liegt der Wert der Überschreitungen nicht stark über den geforderten 25, sodass ein Einhalten ab dem Jahr 2010 möglich ist. Die zusätzlich zu den Überschreitungshäufigkeiten angegebene Anzahl der betroffenen Tage ist ein Maß für die Verteilung der Überschreitungen von Stunden- und 8-Stunden-Mittelwerten auf die Kalendertage im Verlauf eines Jahres.

Eine Ozonepisode, die sich in ganz NRW an zum Teil allen Ozonstationen des Messnetzes des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen bemerkbar gemacht hat und auch europaweit für  $\text{O}_3$ -Höchstwerte sorgte (UBA, 2003; LUA NRW, 2004), erstreckte sich vom 01.08.2003 bis zum 14.08.2003. Diese Episode konnte auch an allen drei Messstellen der beiden Messquerschnitte nachgewiesen werden mit Überschreitungen des Zielwertes von  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , der Informationsschwelle von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und an zwei Messstellen (A 4: 208 m Entfernung vom Fahrbahnrand; A 61: 28 m Entfernung vom Fahrbahnrand) auch der Alarmschwelle von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ebenso konnten während einer an den Messstationen des NRW-Landesmessnetzes registrierten  $\text{O}_3$ -Vorepisode zwischen dem 16.07.2003 und dem 21.07.2003 an den Messstellen an

		A 4				A 61	
		208 m		13 m		28 m	
		Maximalwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Überschreitungen [p. a.]	Maximalwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Überschreitungen [p. a.]	Maximalwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Überschreitungen [p. a.]
2002	Informationsschwelle (1 h) 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	236,1	47 (13)	332,7	190 (35)	141,9	-
	Alarmschwelle (1 h) 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		-		34 (10)		-
	Zielwert Gesundheits- schutz (8 h) 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	199,7	49 (36)	290,5	85 (50)	91,2	-
2003	Informationsschwelle (1 h) 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	335,8	366 (74)	220,2	7 (4)	619,5	56 (14)
	Alarmschwelle (1 h) 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		69 (14)		-		9 (3)
	Zielwert Gesundheits- schutz (8h) 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	279,4	145 (95)	151,0	8 (7)	180,7	32 (23)
2004	Informationsschwelle (1 h) 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	223	5 (3)	148,9	-	189,5	1 (1)
	Alarmschwelle (1 h) 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		-		-		-
	Zielwert Gesundheits- schutz (8 h) 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	135,1	6 (5)	115,1	-	136,7	4 (4)

Tab. 5.7:  $\text{O}_3$ -Maximalwerte und -Überschreitungshäufigkeiten der Ziel- (8-Stunden-Mittelwert) und Schwellenwerte (1-Stunden-Mittelwert) gemäß 33. BImSchV (in Klammern: Anzahl der Tage, an denen die Überschreitungen auftraten)

der A 4 und der A 61 Überschreitungen der Ziel- und Schwellenwerte verzeichnet werden.

Die Messnetzdaten der Länder für das Kalenderjahr 2004 werden zurzeit noch ausgewertet, so dass für diesen Zeitraum keine Vergleiche mit den an den BAST-Messquerschnitten aufgenommenen Daten gezogen werden konnten. Bei Letzteren fällt insbesondere auf, dass die Stunden- und 8-Stunden-Mittelwerte sowie die Überschreitungshäufigkeiten der Ziel- und Schwellenwerte im Gegensatz zum Vorjahr sehr niedrig lagen (s. Tabelle 5.7).

Dies kann erklärt werden durch den Umstand, dass die meteorologische Situation im Jahr 2004 deutlich weniger von ausgeprägten Hochdruckwetterlagen geprägt war als im Jahr 2003. So konnten sich die Werte von 2004 in den allgemein zu verzeichnenden Trend fallender Ozonbelastungen durch Reduktion der Emissionen der  $\text{O}_3$ -Vorläuferstoffe VOC (flüchtige organische Verbindungen) und  $\text{NO}_x$  einreihen.

## 6 Zusammenfassung

### $\text{NO}_x$

Die an der A 4 seit 1987 kontinuierlich aufgezeichneten  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwerte und die 98-Perzentile zeigen seit 2000 einen steilen Anstieg der Kon-

zentrationen am Mittelstreifen und eine Stagnation an den übrigen betrachteten Messstellen. Erst seit dem Jahr 2004 trat diesbezüglich ein rückläufiger Trend auf. Die Ursachen dafür sind vermutlich vielschichtig. Mitverantwortlich könnten insbesondere erhöhte  $\text{NO}_x$ -Emissionen von Nutzfahrzeugen sein sowie moderne Abgasminderungstechniken von Diesel-Pkw (s. Kapitel 5.3.1).

Die Zunahme der  $\text{NO}_2$ -Immissionen insbesondere am Mittelstreifen ist auch in den Tagesganglinien zu beobachten. An dem zweiten Messquerschnitt an der A 61 zeigen die Tagesganglinien an der  $\text{NO}_x$ -Messstelle am Mittelstreifen deutliche Zunahmen der  $\text{NO}_2$ -Konzentration von 2002 zu 2004, an der Messstelle neben dem Fahrbahnrand jedoch im Jahr 2004 geringere Werte als im Jahr 2003 (s. Kapitel 5.3.2).

Im Hinblick auf das Kalenderjahr 2003 ist zu beachten, dass dieses sich im Gegensatz zum Jahr 2004 durch einen extremen Sommer mit langen und heißen Trockenphasen sowie starken Ozonepisoden auszeichnete. Die Jahresmittelwerte liegen an den Messstellen beider Messquerschnitte, die die Anforderungen der 22. BImSchV in Bezug auf Probenahmestellen erfüllen, deutlich über dem ab dem Jahr 2010 einzuhaltenden  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelgrenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der ebenfalls ab diesem Zeitpunkt geforderte Stundenmittelgrenzwert von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  konnte insbesondere am Messquer-

schnitt an der A 61 nicht eingehalten werden, wurde aber unter Berücksichtigung der in den jeweiligen Kalenderjahren zusätzlich zu berücksichtigenden Toleranzmargen in keinem der Jahre mehr als 18-mal überschritten. Diese maximale Überschreitungshäufigkeit des NO<sub>2</sub>-Stundenmittelwertes wird gemäß 22. BImSchV ebenfalls ab 2010 gefordert (s. Kapitel 5.5.3).

Die vergleichende Darstellung der Monatsmittelwerte beider Messquerschnitte zeigte an den Messstellen am Mittelstreifen und in 1,5 m Entfernung vom Fahrbahnrand trendmäßig, dass die NO- und NO<sub>2</sub>-Konzentrationen an der A 61 bis etwa Sommer 2002 geringere Werte aufweisen im Vergleich zu den an der A 4 aufgenommenen Messdaten. Der extreme Sommer des Jahres 2003 beeinflusste jedoch die Schadstoffkonzentrationen des ungeschützt liegenden und durch einen höheren Schwerverkehranteil belasteten A-61-Messquerschnitts anscheinend stärker als die an den A-4-Messstellen aufgenommenen Stickoxidbelastungen. So überstiegen die Werte an der A 61 ab dem genannten Zeitpunkt bis Mitte 2004 zumeist diejenigen an der A 4. Die Extremwerte des Querschnitts an der A 61 im November 2004 wurden durch eine zu der Zeit in Betrieb befindliche Arbeitsstelle hervorgerufen (s. Kapitel 5.5.2).

### O<sub>3</sub>

Die sommerlichen Ozonepisoden im Jahr 2003 in der Zeit von Ende Juli bis in den September hinein waren durch hohe Temperaturen und Sonnenscheindauern eine Ausnahmeerscheinung. Dies sorgte für ungewöhnlich hohe O<sub>3</sub>-Konzentrationswerte, die über den 5-jährigen Durchschnittswerten lagen und bei dieser Abweichung deutliche regionale Unterschiede aufwiesen. Dieser Effekt trat auch an den Messquerschnitten an der A 4 und der A 61 auf. Im Jahr 2004 wurden weitaus geringere O<sub>3</sub>-Belastungen beobachtet (s. Kapitel 5.4 und 5.5.3).

Der Vergleich der Ozonbelastung an beiden Messquerschnitten konnte ein Verhalten ähnlich dem bei der NO- und der NO<sub>2</sub>-Konzentration aufzeigen. Durchschnittlich lagen die O<sub>3</sub>-Konzentrationen an der A 61 in den Jahren 2002 bis 2004 um einen Faktor 1,6 über denen an der A 4 (s. Kapitel 5.5.2).

Die Anforderungen der 33. BImSchV in Bezug auf die Zielwerte zum Gesundheitsschutz konnten zum Teil an beiden Messquerschnitten nicht eingehalten

werden. Dieser Zielwert von 120 µg/m<sup>3</sup> wurde an der Messstelle an der A 4 in 208 m Entfernung zum Fahrbahnrand in jedem der drei betrachteten Jahre 2002 bis 2004 überschritten und nur im Jahr 2004 konnte die geforderte maximale Anzahl der Überschreitungen von 25 eingehalten werden. An der Messstelle in 13 m Entfernung vom Fahrbahnrand konnte der Zielwert im Jahr 2004 eingehalten werden und wurde im Jahr 2003 nur 8-mal überschritten. Die O<sub>3</sub>-Werte am Messquerschnitt an der A 61 lagen nur im Jahr 2002 unter dem ab 2010 geltenden Zielwert und wurden im Jahr 2003 32-mal und im Jahr 2004 4-mal überschritten (s. Kapitel 5.5.3).

## 7 Ausblick

Es hat sich im Zeitraum der parallel durchgeführten Messwertaufnahme an den beiden Querschnitten an der A 4 und der A 61 gezeigt, dass sich insbesondere die meteorologischen Gegebenheiten und die Bebauung in der Umgebung der Standorte stark unterscheiden. Für Aussagen über den Einfluss des Schwerverkehranteils an den Luftschadstoffen müssen an zwei Messquerschnitten gleiche Voraussetzungen vorliegen. Daher wurde ein neuer Messquerschnitt gesucht, der mit dem schon in Betrieb befindlichen Querschnitt an der A 61 vergleichbar ist. Folgende Kriterien waren zu beachten:

- ähnlich hoher DTV,
- deutlicher Unterschied in den Schwerverkehranteilen beider Querschnitte,
- vergleichbare Vegetation, Bebauung etc.,
- Möglichkeit der gegenüber der Hauptwindrichtung sowohl luv- als auch leeseitigen Anordnung der einzelnen Messstellen, um durch Luv-/Leemessungen zwischen Hintergrund- und Zusatzbelastungen für eine vergleichende Darstellung beider Messquerschnitten unterscheiden zu können,
- leichte Erreichbarkeit,
- Möglichkeit zur Stromversorgung.

Es wurde ein Querschnitt an der A 555 südlich von Wesseling (km 13) gefunden, der die vorgenannten Anforderungen erfüllt. Zurzeit wird die Genehmigung zum Betreiben eines Messquerschnitts zur Aufnahme von Luftverunreinigungen eingeholt und die Vorbereitungen zur Einrichtung der Messstellen getroffen.



Zusätzlich zu dem bisher schon betriebenen Messgerät zur Aufnahme der relativen Feuchte wird ein Gerät zur Niederschlagsregistrierung in die Datenerfassung am Messquerschnitt an der A 4 eingebunden.

Bezüglich der Luftschadstoffe kann bei einer weiteren Senkung der Schadstoffbelastungen an hochfrequentierten Außerortsstraßen damit gerechnet werden, die Anforderungen der 22. und 33. BImSchV ab dem 01.01.2010 in Bezug auf die Jahres- und Stundenmittelwerte des NO<sub>2</sub> und der Ziel- und Schwellenwerte des O<sub>3</sub> erfüllen zu können.

## Literatur

- BLIEFERT, C.: „Umweltchemie“, WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 3. Auflage, 2002
- Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL): „Bericht über den Zustand des Waldes 2004“, Bonn, 2005
- CLD 700 AL Manual, Eco Physics AG, Dürnten, CH
- DIN/VDI-Taschenbuch: „Umweltmeteorologie, Meteorologische Messungen, Teil 1: Wind, Temperatur, Feuchte und Niederschlag“, Beuth-Verlag, Berlin, 1999
- Dreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (33. BImSchV, Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen) vom 13. Juli 2004, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2004, Teil I, Nr. 36
- ESSER, J., HASSKELO, H.: „Ausbreitung von Luftschadstoffen ohne bzw. mit Lärmschutzwand“, Schlussbericht zum AP-Projekt Nr. 93 663/V3, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2000
- ESSER, J., HASSKELO, H.: „Schadstoffbelastung an BAB in Abhängigkeit von der Entwicklung des Verkehrsaufkommens und der Abgasgesetzgebung“, Schlussbericht zum AP-Projekt 83 605/V3, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2001
- HOLZBAUR, U., KOLB, M., ROßWAG, H. (Hrsg.): „Umwelttechnik und Umweltmanagement“, Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, 1996
- Ingenieurbüro Dr.-Ing. Achim Lohmeyer: „PC-Berechnungsverfahren zum Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen MLuS 02 – Handbuch mit Hintergrundinformationen, Version 5.0“, Karlsruhe, 2002
- KÜMMEL, R., PAPP, S.: „Umweltchemie“, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie GmbH, Leipzig, 1990
- LAFFONT, S., NIERHOFF, G., SCHMIDT, G., KATHMANN, T.: „Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2001 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen“, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 110, Bergisch Gladbach, 2004
- Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen: „Jahresbericht 2003“, Essen, 2004
- ML@9811 Ozone Analyzer with IZS/EZS, Operation Manual, Monitor Labs, Englewood, CO, USA, 1998
- ML@9841A Nitrogen oxides Analyser, Operation Manual, Monitor Europe, Cloucestershire, UK, 2000
- MÖLLER, D.: „Luft“, Walter de Gruyter & Co. KG, Berlin, 2003
- TCS – Touring Club Schweiz: „Das Ozon“, Technik und Umwelt, Emmen, Schweiz, 1997
- TEOM® Series 1400a Ambient Particulate (PM<sub>10</sub>) Monitor (AB Serial Numbers), Operating Manual, Rupprecht & Pataschnik Co., Inc., Albany, NY, USA, 1996
- Thies clima: „Ultrasonic Anemometer 2D“, Bedienungsanleitung 4.3800.00.xx ab Version V2.1x, Göttingen, 2002
- Umweltbundesamt: „Kurzbericht Ozonsituation 2003 in der Bundesrepublik Deutschland“, Berlin, 2003
- Umweltbundesamt: „Sachstandspapier: Erhöhte NO<sub>x</sub>-Emissionen von EURO-II-Lkw“, 13.02.2003
- Umweltbundesamt: „Stickoxid-Emissionen bei schweren Lastwagen höher als durch Hersteller angegeben“, Umwelt, 4/2003, S. 226–228
- Umweltbundesamt: „Was Sie schon immer über Umweltchemikalien wissen wollten“, Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart, Berlin, Köln, 1991

Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung  
des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (22.  
BImSchV) vom 11. September 2002, Bundes-  
gesetzblatt, Jahrgang 2002, Teil I, Nr. 66

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

## 2000

- V 74: Einsatzbereiche von Angebotsstreifen**  
Hupfer, Böer, Huwer, Jacob, Nagel € 13,50
- V 75: Gesamtwirkungsanalyse zur Parkraumbewirtschaftung**  
Baier, Hebel, Peter, Schäfer € 15,00
- V 76: Radverkehrsführung an Haltestellen**  
Angenendt, Blase, Bräuer, Draeger, Klöckner, Wilken € 14,00
- V 77: Folgerungen aus europäischen F+E-Telematikprogrammen für Verkehrsleitsysteme in Deutschland**  
Philipp, Dies, Richter, Zackor, Listl, Möller € 18,50
- V 78: Kennlinien der Parkraumnachfrage**  
Gerlach, Dohmen, Blochwitz, Engels, Funke, Harman, Schmidt, Zimmermann € 15,50

## 2001

- V 79: Bedarf für Fahrradabstellplätze bei unterschiedlichen Grundstücksnutzungen**  
Alrutz, Bohle, Borstelmann, Krawczyk, Mader, Müller, Vohl € 15,50
- V 80: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 1998**  
Lensing € 13,50
- V 81: Emissionen beim Erhitzen von Fahrbahnmarkierungsmaterialien**  
Michalski, Spyra € 11,50
- V 82: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1999 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen**  
Laffont, Nierhoff, Schmidt € 19,50
- V 83: Verkehrssicherheit in Einbahnstraßen mit gegengerichtetem Radverkehr**  
Alrutz, Gündel, Stellmacher-Hein, Lerner, Mättig, Meyhöfer, Angenendt, Draeger, Falkenberg, Klöckner, Abu-Salah, Blase, Rühle, Wilken € 17,00
- V 84: Vereinfachtes Hochrechnungsverfahren für Außerorts-Straßenverkehrszählungen**  
Lensing, Mavridis, Täubner € 16,00
- V 85: Erstellung einer einheitlichen Logik für die Zielführung (Wegweisung) in Städten**  
Siegener, Träger € 14,50
- V 86: Neue Gütekriterien für die Beleuchtung von Straßen mit gemischtem Verkehr und hohem Fußgängeranteil**  
Carraro, Eckert, Jordanova, Kschischenk € 13,00
- V 87: Verkehrssicherheit von Steigungsstrecken – Kriterien für Zusatzfahrstreifen**  
Brilon, Breßler € 18,50

## 2002

- V 88: Tägliches Fernpendeln und sekundär induzierter Verkehr**  
Vogt, Lenz, Kalter, Dobeschinsky, Breuer € 17,50

- V 89: Verkehrsqualität auf Busspuren bei Mitnutzung durch andere Verkehre**  
Baier, Kathmann, Schuckließ, Trapp, Baier, Schäfer € 13,50
- V 90: Anprallversuche mit Motorrädern an passiven Schutzeinrichtungen**  
Bürkle, Berg € 16,50
- V 91: Auswirkungen der Umnutzung von BAB-Standstreifen**  
Mattheis € 15,50
- V 92: Nahverkehrsbevorrechtigung an Lichtsignalanlagen unter besonderer Berücksichtigung des nichtmotorisierten Verkehrs**  
Friedrich, Fischer € 14,00
- V 93: Nothaltemöglichkeiten an stark belasteten Bundesfernstraßen**  
Brilon, Bäumer € 17,00
- V 94: Freigabe von Seitenstreifen an Bundesautobahnen**  
Lemke, Moritz € 17,00
- V 95: Führung des ÖPNV in kleinen Kreisverkehren**  
Topp, Lagemann, Derstroff, Klink, Lentze, Lübke, Ohlschmid, Pires-Pinto, Thömmes € 14,00
- V 96: Mittellage-Haltestellen mit Fahrbahnhebung**  
Angenendt, Bräuer, Klöckner, Cossé, Roeterink, Sprung, Wilken € 16,00
- V 97: Linksparken in städtischen Straßen**  
Topp, Riel, Albert, Bugiel, Elgun, Roßmark, Stahl € 13,50
- V 98: Sicherheitsaudit für Straßen (SAS) in Deutschland**  
Baier, Bark, Brühning, Krumm, Meewes, Nikolaus, Räder-Großmann, Rohloff, Schweinhuber € 15,00
- V 99: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2000 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen**  
Laffont, Nierhoff, Schmidt € 21,00

## 2003

- V 100: Verkehrsqualität unterschiedlicher Verkehrsteilnehmerarten an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage**  
Brilon, Miltner € 17,00
- V 101: Straßenverkehrszählung 2000 – Ergebnisse**  
Lensing € 13,50
- V 102: Vernetzung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen**  
Kniß € 12,50
- V 103: Bemessung von Radverkehrsanlagen unter verkehrstechnischen Gesichtspunkten**  
Falkenberg, Blase, Bonfranchi, Cossé, Draeger, Kautzsch, Stapf, Zimmermann € 11,00
- V 104: Standortentwicklung an Verkehrsknotenpunkten – Randbedingungen und Wirkungen**  
Beckmann, Wulfhorst, Eckers, Klönne, Wehmeier, Baier, Peter, Warnecke € 17,00
- V 105: Sicherheitsaudits für Straßen international**  
Brühning, Löhe € 12,00
- V 106: Eignung von Fahrzeug-Rückhaltesystemen gemäß den Anforderungen nach DIN EN 1317**  
Ellmers, Balzer-Hebborn, Fleisch, Friedrich, Keppler, Lukas, Schulte, Seliger € 15,50
- V 107: Auswirkungen von Standstreifenumnutzungen auf den Straßenbetriebsdienst**  
Moritz, Wirtz € 12,50
- V 108: Verkehrsqualität auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen**  
Baier, Kathmann, Baier, Schäfer € 14,00
- V 109: Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf auf b2+1-Strecken mit allgemeinem Verkehr**  
Weber, Löhe € 13,00

## 2004

- V 110: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2001 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Laffont, Nierhoff, Schmidt, Kathmann € 22,00
- V 112: Einsatzkriterien für Betonschutzwände  
Steinauer, Kathmann, Mayer, Becher vergriffen
- V 113: Car-Sharing in kleinen und mittleren Gemeinden  
Schweig, Keuchel, Kleine-Wiskott, Hermes, van Hacken € 15,00
- V 114: Bestandsaufnahme und Möglichkeiten der Weiterentwicklung von Car-Sharing  
Loose, Mohr, Nobis, Holm, Bake € 20,00
- V 115: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2002 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Kathmann, Laffont, Nierhoff € 24,50
- V 116: Standardisierung der Schnittstellen von Lichtsignalanlagen – Zentralrechner/Knotenpunktgerät und Zentralrechner/Ingenieurarbeitsplatz  
Kroen, Klod, Sorgenfrei € 15,00
- V 117: Standorte für Grünbrücken – Ermittlung konfliktreicher Streckenabschnitte gegenüber großräumigen Wanderungen jagdbarer Säugetiere  
Surkus, Tegethof € 13,50
- V 118: Einsatz neuer Methoden zur Sicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer  
Steinauer, Maier, Kemper, Baur, Meyer € 14,50

## 2005

- V 111: Autobahnverzeichnis 2004  
Kühnen € 21,50
- V 119: Alternative Methoden zur Überwachung der Parkdauer sowie zur Zahlung der Parkgebühren  
Boltze, Schäfer, Wohlfarth € 17,00
- V 120: Fahrleistungserhebung 2002 – Inländerfahrleistung  
Hautzinger, Stock, Mayer, Schmidt, Heidemann € 17,50
- V 121: Fahrleistungserhebung 2002 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko  
Hautzinger, Stock, Schmidt € 12,50
- V 122: Untersuchungen zu Fremdstoffbelastungen im Straßenseitenraum  
Beer, Herpetz, Moritz, Peters, Saltzmann-Koschke, Tegethof, Wirtz € 18,50
- V 123: Straßenverkehrszählung 2000: Methodik  
Lensing € 15,50
- V 124: Verbesserung der Radverkehrsführung an Knoten  
Angenendt, Blase, Klöckner, Bonfranchi-Simović, Bozkurt, Buchmann, Roeterink € 15,50
- V 125: PM<sub>10</sub>-Emissionen an Außerortstraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM<sub>10</sub>-Konzentrationen aus Messungen an der A1 Hamburg und Ausbreitungsberechnungen  
Düring, Bösinger, Lohmeyer € 17,00
- V 126: Anwendung von Sicherheitsaudits an Stadtstraßen  
Baier, Heidemann, Klempf, Schäfer, Schuckließ € 16,50
- V 127: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2003  
Fitschen, Koßmann € 24,50
- V 128: Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen – Sicherheitsüberprüfung vorhandener Lichtsignalanlagen und Anpassung der Steuerung an die heutige Verkehrssituation  
Boltze, Reusswig € 17,00
- V 129: Modell zur Glättewarnung im Straßenwinterdienst  
Badelt, Breitenstein € 13,50

V 130: Fortschreibung der Emissionsdatenmatrix des MLuS 02

Steven € 12,00

V 131: Ausbaustandard und Überholverhalten auf 2+1-Strecken

Friedrich, Dammann, Irzik € 14,50

V 132: Vernetzung dynamischer Verkehrsbeeinflussungssysteme

Boltze, Breser € 15,50

## 2006

V 133: Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offener Straßenbeläge

Hübelt, Schmid € 17,50

V 134: Qualifizierung von Auditoren für das Sicherheitsaudit für Innerortsstraßen

Gerlach, Kesting, Lippert € 15,50

V 135: Optimierung des Winterdienstes auf hoch belasteten Autobahnen

Cypra, Roos, Zimmermann € 17,00

V 136: Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlagemodellen

Wermuth, Sommer, Wulff € 15,00

V 137: PM<sub>x</sub>-Belastungen an BAB

Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00

V 138: Kontinuierliche Stickoxid (NO<sub>x</sub>)- und Ozon (O<sub>3</sub>)-Messwertaufnahme an zwei BAB mit unterschiedlichen Verkehrsparametern 2004

Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,50

---

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10  
D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.