

# PM<sub>x</sub>-Belastungen an BAB

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 137

**bast**

# PM<sub>x</sub>-Belastungen an BAB

von

Anja Baum  
Hakki Hasskelo  
Ralf Becker  
Wilfried Weidner

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 137

**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 03637 des Arbeitsprogrammes der Bundesanstalt für Straßenwesen:**  
PM<sub>x</sub>-Belastungen an BAB

### **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

### PM<sub>x</sub>-Belastungen an BAB

Im Zuge der Umsetzung der EU-Richtlinie 1999/30/EG (über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft) in nationales Recht wurde die 22. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (22. BImSchV) im September 2002 novelliert.

Da für Autobahnen bisher keine aussagekräftigen Daten von PM<sub>10</sub>-Belastungen existierten, war es Ziel des Projektes, solche messtechnisch aufzunehmen und Ergebnisse zu erhalten, mit denen sich genauere Aussagen über die PM<sub>10</sub>-Immissionen an hochfrequentierten Autobahnen treffen lassen. Dabei wurden Daten an zwei Messquerschnitten an der BAB A 4 und der BAB A 61 mit unterschiedlich hohen Schwerverkehrsanteilen 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 Schwerverkehrsanteil am Gesamtverkehrsaufkommen auf.

Die Untersuchung der meteorologischen Parameter in Bezug auf die Höhe der PM<sub>10</sub>-Immissionen am Messquerschnitt an der A 4 hat ergeben, dass insbesondere die relative Luftfeuchte eng mit der PM<sub>10</sub>-Belastung korreliert. Ein weiterer Einfluss auf die Höhe der Feinstaubbelastungen konnte teilweise während der Schulferien am Messquerschnitt an der A 4 beobachtet werden, während derer sehr wahrscheinlich durch einen Rückgang der Verkehrsmengen und dadurch zunehmende Fahrzeuggeschwindigkeiten eine Erhöhung der Schadstoffbelastung hervorgerufen wurde. Eine Änderung der durchschnittlichen PM<sub>10</sub>-Belastung trat ebenfalls während der Zeit von Baumaßnahmen innerhalb des Messquerschnitts an der A 61 auf, während derer eine Geschwindigkeitsbeschränkung auf 80 km/h galt und innerhalb derer der Schwerverkehr über unterschiedliche Fahrstreifen geführt wurde.

Auch wurden die PM<sub>10</sub>-Daten der beiden Messquerschnitte einander gegenübergestellt. Im Mittel lagen die Immissionswerte an der A 61 um 0,4 % unter denen, die an der A 4 aufgenommen wurden.

Insgesamt zeigt sich deutlich, dass sich die Feinstaubpartikel durch viele verschiedene Einflussgrößen sehr komplex verhalten und ihr Ausbreitungsverhalten noch wenig verstanden wird.

### PM<sub>x</sub> loads on the BAB (Bundesautobahn = Federal Highway)

The 22<sup>nd</sup> ordinance on the Federal Immission Control Act (22. BImSchV) was amended in the course of the conversion of the EU guideline 1999/30/EC (on limits for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and nitrogen oxides, particles and lead content in the air) into national law in September 2002.

Since there were no significant data on PM<sub>10</sub> loads till now, it was the aim of the project to record these by measurement and to obtain results with which more precise statements on PM<sub>10</sub> immissions on motorways with heavy traffic could be made. Data was recorded at two measurement cross sections on the BAB A 4 and the BAB A 61 with a varying proportion of heavy traffic to the traffic on the whole. The measurement cross section on the A 61 here 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 examination of the meteorological parameters with respect to the amount of PM<sub>10</sub> immissions at the measurement cross section on the A 4 showed that the relative air moisture in particular correlates closely with the PM<sub>10</sub> load. A further influence on the load of particulate matter could partly be observed during the school holidays at the measurement cross section on the A 4, during which time, most probably, an increase in the pollutant load was caused by a decrease in traffic and thus an increase in vehicle speeds. A change in average PM<sub>10</sub> load also occurred during the period of construction work within the measurement cross section on the A 61 during which period there was a speed limit of 80km/h and within which time the heavy traffic ran over various traffic lanes.

The PM<sub>10</sub> data of both the measurement cross sections were compared with each other. The average was the immission values on the A 61

which were 0.4% below those recorded on the A 4.

On the whole there is a clear indication that the particles of fine dust behave in a very complex manner due to many different influencing variables and that their dispersion behaviour is still not well understood.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	7
1.1	Projektziel .....	7
1.2	Begriffsbestimmungen .....	7
1.3	Rechtlicher Kontext .....	8
<b>2</b>	<b>Messgebiete und Messaufbau</b> .....	8
2.1	A 4 (Streckenkilometer 92,7) .....	8
2.2	A 61 (Streckenkilometer 177,5) .....	9
<b>3</b>	<b>Messdurchführung</b> .....	11
3.1	Partikel PM <sub>10</sub> .....	11
3.2	Partikel PM <sub>x</sub> .....	12
3.3	Meteorologie .....	12
<b>4</b>	<b>Grundlagen des Schadstoff- verhaltens</b> .....	13
4.1	Partikelquellen .....	13
4.2	Verkehrsbedingte Partikel- emissionen .....	13
4.3	Partikelgrößen .....	14
4.4	Lebensdauer von Partikeln .....	15
4.5	Gesundheitliche Auswirkungen von Partikeln .....	16
<b>5</b>	<b>Messergebnisse</b> .....	17
5.1	Verkehrsmengen und Schwer- verkehrsanteile .....	17
5.2	Meteorologie .....	20
5.3	Partikel PM <sub>x</sub> .....	24
5.3.1	Anforderungen der 22. BImSchV .....	24
5.3.2	Einfluss Meteorologie .....	27
5.3.3	Einfluss Schulferien .....	32
5.3.4	Einfluss Arbeitsstelle .....	37
5.3.5	Vergleichsmessungen an zwei Messquerschnitten .....	38
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	41
<b>7</b>	<b>Ausblick</b> .....	42
	<b>Literatur</b> .....	43



# 1 Einleitung

## 1.1 Projektziel

Im Zuge der Umsetzung der EU-Richtlinie 1999/30/EG (über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft) in nationales Recht wurde die 22. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (22. BImSchV) im September 2002 novelliert. In-situ-Messungen in Stadtbereichen und an Bundesstraßen und Modellierungen von Luftverunreinigungen an Autobahnen und sonstigen Außerortsstraßen haben gezeigt, dass die in der 22. BImSchV geforderten Grenzwerte insbesondere für Partikel (PM<sub>10</sub>) vor allem bei hoher Hintergrundbelastung heutzutage und auch in Zukunft zum größten Teil nicht eingehalten werden können.

Da für Autobahnen bisher keine aussagekräftigen Daten von PM<sub>10</sub>-Belastungen existierten, war es Ziel des Projektes, solche messtechnisch aufzunehmen und Ergebnisse zu erhalten, mit denen sich genauere Aussagen über die PM<sub>10</sub>-Immissionen an hochfrequentierten Autobahnen treffen lassen. Dabei wurden Daten an zwei Messquerschnitten an der BAB A 4 und der BAB A 61 mit unterschiedlich hohen Schwerverkehrsanteilen am Gesamtverkehr aufgenommen, um neben dem Einfluss der meteorologischen Größen auch Informationen über die Auswirkung dieses Parameters zu erhalten. Der Messquerschnitt an der A 61 weist dabei im Vergleich zu den an der A 4 registrierten Werten einen 2,35-mal so hohen Schwerverkehrsanteil am Gesamtverkehrsaufkommen auf (siehe Tabelle 1.1).

Da sich mit sinkendem Durchmesser der Partikel ihr Gefahrenpotenzial für den Respirationstrakt des Menschen erhöht (BLIEFERT, 2002; WICHMANN et al., 2002), sollte eine Messwertaufnahme nicht auf die PM<sub>10</sub> begrenzt bleiben, sondern zeitgleiche Messungen mehrerer Partikel-Fractionen (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>1</sub>) durchgeführt werden.

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 (Bezugsjahr 2003)

## 1.2 Begriffsbestimmungen

### 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 (siehe 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-Gebäude. Am Messquerschnitt an der A 61 existiert eine Messstation.

### Messstelle

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

### Halbstundenmittelwert

Mittelwert der über eine halbe Stunde aufgenommenen Konzentrationswerte der Schadstoffbelastung.

### Stundenmittelwert

Wert der aufgenommenen und über eine volle Stunde gemittelten Halbstundenmittelwerte der Schadstoffbelastung. (In der 22. BImSchV werden für die Schadstoffkomponenten SO<sub>2</sub> und NO<sub>2</sub> Stundenmittelgrenzwerte gefordert.)

### Tagesmittelwert

Wert der aufgenommenen und über einen betrachteten Tag gemittelten Halbstundenmittelwerte der Schadstoffbelastung. (In der 22. BImSchV werden für die Schadstoffkomponenten SO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub>-Tagesmittelgrenzwerte gefordert.)

### Monatsmittelwert

Wert der aufgenommenen und über einen betrachteten Monat gemittelten Halbstundenmittelwerte der Schadstoffbelastung.

### Jahresmittelwert

Wert der aufgenommenen und über ein Kalenderjahr gemittelten Halbstundenmittelwerte der Schad-

stoffbelastung. (In der 22. BImSchV werden für die Schadstoffkomponenten  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$ , Pb und  $\text{C}_6\text{H}_6$  Jahresmittelgrenzwerte gefordert.)

Tagesganglinien

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

### 1.3 Rechtlicher Kontext

In der zuletzt im Juli 2004 geänderten 22. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (22. BImSchV) werden durch Umsetzung der EU-Richtlinie 1999/30/EG in nationales Recht Grenzwerte für Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ), Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ), Partikel ( $\text{PM}_{10}$ ), Blei (Pb), Benzol ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) und Kohlenmonoxid (CO) vorgegeben, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten wirksam werden. Die seit 01.01.2005 in Kraft getretenen Grenzwerte für die Schadstoffkomponente  $\text{PM}_{10}$  sind in Tabelle 1.2 aufgeführt.

Die in Tabelle 1.2 aufgeführten Grenzwerte gelten zum Schutz der menschlichen Gesundheit. Die Probenahmestellen, an denen diesbezügliche Messungen vorgenommen werden, „sollten“ gemäß Anlage 2 Nr. 1 22. BImSchV „so gelegt werden, dass Daten zu den Bereichen innerhalb von Gebieten und Ballungsräumen gewonnen werden, in denen die höchsten Konzentrationen auftreten, denen die Bevölkerung wahrscheinlich direkt oder indirekt über einen Zeitraum ausgesetzt sein wird, der der Mittelungszeit des betreffenden Immissionsgrenzwertes Rechnung trägt“.

Auch sollten die Probenahmestellen 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

Werte	$\text{PM}_{10}$	
	Tagesmittelgrenzwert	Jahresmittelgrenzwert
Grenzwert	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
erlaubte Überschreitungen ab 01/2005	35/a	-

**Tab. 1.2:** Grenzwerte und erlaubte Überschreitungen der Grenzwerte für  $\text{PM}_{10}$  gemäß RL 1999/30/EG bzw. 22. BImSchV (BGBl 2002)

sollte, dass sie für die Luftqualität in einem umgebenden Bereich von mindestens 200  $\text{m}^2$  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 ausgeführt: „Probenahmestellen für den Verkehr sollten

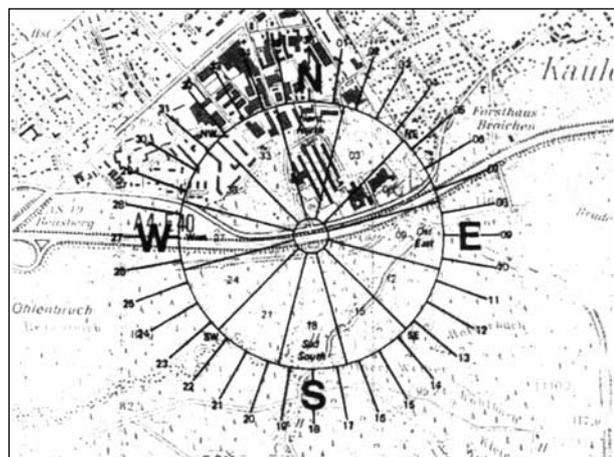
- in Bezug auf alle Schadstoffe mindestens 25 m von großen Kreuzungen und mindestens 4 m von der Mitte des nächstgelegenen Fahrstreifens entfernt sein;
- für Stickstoffdioxid- und Kohlenmonoxid-Messungen höchstens 5 m vom Fahrbahnrand entfernt sein;

zur Messung von Partikeln, Blei und Benzol so gelegen sein, dass sie für die Luftqualität nahe der Baufluchtlinie repräsentativ sind.“

## 2 Messgebiete und Messaufbau

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

Die  $\text{PM}_{10}$ -Messstelle, die an der in dieser Höhe von W nach O verlaufenden A 4 betrieben wird, liegt auf der südlichen Seite der Autobahntrasse (siehe Bilder 2.1 und 2.2). Das Analysegerät ist in einer Messstation untergebracht, die sich in einem Waldgebiet (Königsforst) befindet. Auf einem der Dächer des BAST-Gebäudes werden die Parameter Windgeschwindigkeit, -richtung, Temperatur, Feuchte und Gesamtstrahlung aufgenommen. In



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

beiden Fahrtrichtungen sind Schleifendetektoren zur Erfassung von Verkehrsstärke und Verkehrszusammensetzung in die Fahrbahn eingelassen. Auf der Trassenseite befindet sich eine etwa 5 m hohe Lärmschutzwand. Die gesamten Messstellen

Messstelle	Laterale Lage gegenüber Fahrbahn	Höhe	Messparameter
5 O	49 m südlich des Fahrbahnrandes (Richtung Olpe)	1,6 m über Grund	NO NO <sub>2</sub>
<b>4 O</b>	<b>13 m südlich des Fahrbahnrandes (Richtung Olpe)</b>	<b>3,5 m über Grund (O<sub>3</sub> und PM<sub>10</sub>) 7,3 m über Grund (Meteorologie)</b>	<b>O<sub>3</sub> PM<sub>10</sub> Meteorologie</b>
1 O	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>
1 K	1,5 m nördlich des Fahrbahnrandes (Richtung Köln)	1,7 m über Grund	NO NO <sub>2</sub>
2 K	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 (**fett:** PM<sub>10</sub>-Messstelle)

des Messquerschnitts sind in Tabelle 2.1 dargestellt.

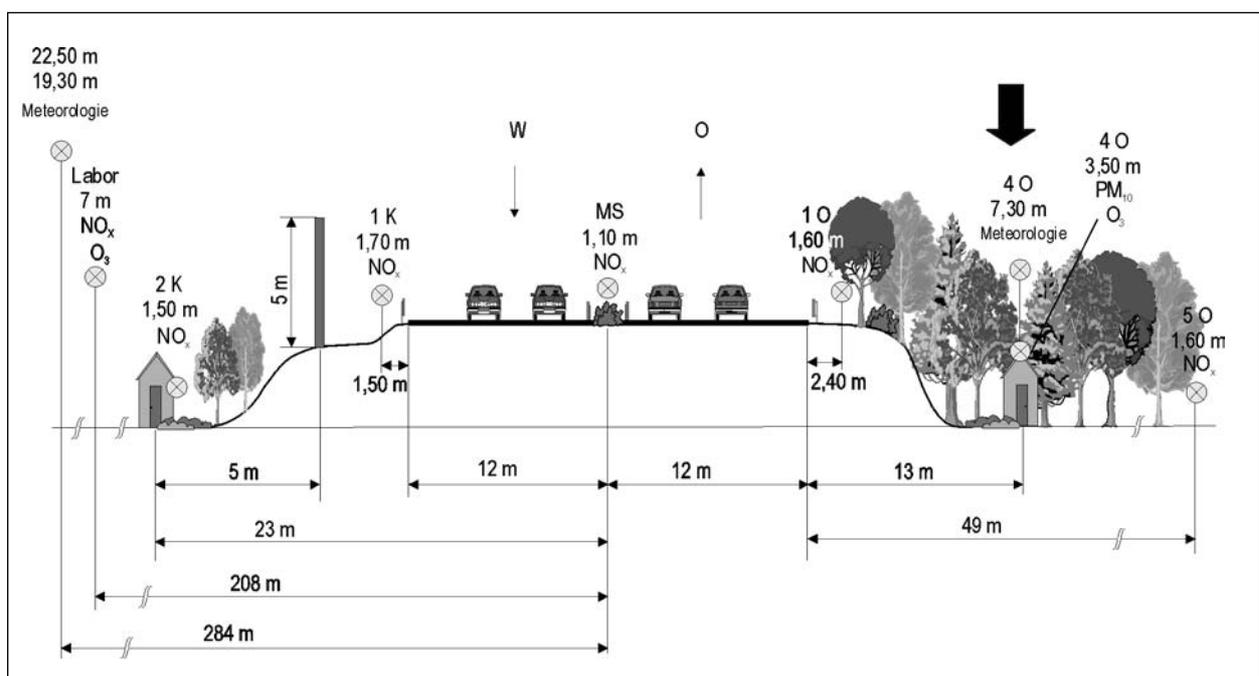
Die Messstelle 4 O für die PM<sub>10</sub>-Komponente erfüllt die lokalen Standortkriterien für Probenahmestellen aus Anlage 2 Nr. II 22. BImSchV. Darüber hinaus kann der gesamte Messquerschnitt als repräsentativ für einen umgebenden Bereich von mindestens 200 m<sup>2</sup> gemäß Anlage 2 Nr. I 22. BImSchV angesehen werden (siehe Kapitel 1.3).

An dem Messquerschnitt an der A 4 tritt eine vorherrschende Windrichtung aus dem Bereich 120°–150° (OSO–SSO, siehe Bild 2.1) auf. 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 liegt.

## 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. Direkt angrenzend befindet sich in Fahrtrichtung Koblenz der Rastplatz „Goldene Meile“.

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



**Bild 2.2:** Messquerschnitt an der A 4; Seitenansicht in Richtung Osten (Olpe). Der Pfeil gibt den Standort der PM<sub>10</sub>-Messstelle an

landwirtschaftlicher Bebauung. Schleifendetektoren für die Erfassung von Verkehrsstärke und -zusammensetzung in beiden Fahrrichtungen sind ebenso vorhanden wie eine Messstelle zur Aufnahme der meteorologischen Parameter. Das PM<sub>10</sub>-Messgerät befindet sich in einem Wetterschutzschrank (siehe Bild 3.2) auf der südwestlichen Seite der Autobahntrasse. Es wird eine vorherrschende Windrichtung aus 220°–230° (SW) beobachtet (siehe Kapitel 5.2), also senkrecht zum Verlauf der Autobahn.

Die Messstellen des gesamten Querschnitts sind wie in Tabelle 2.2 aufgeführt verteilt.

Die Messstelle der PM<sub>10</sub>-Komponente erfüllt hier ebenfalls 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 mindestens 200 m<sup>2</sup> gemäß Anlage 2 Nr. I 22. BImSchV angesehen werden (siehe Kapitel 1.3).

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

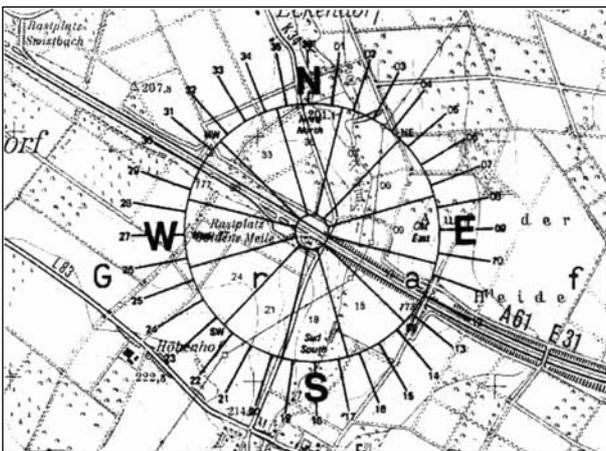


Bild 2.3: Topografische Lage des Messquerschnitts (im Zentrum der Windrose) an der A 61

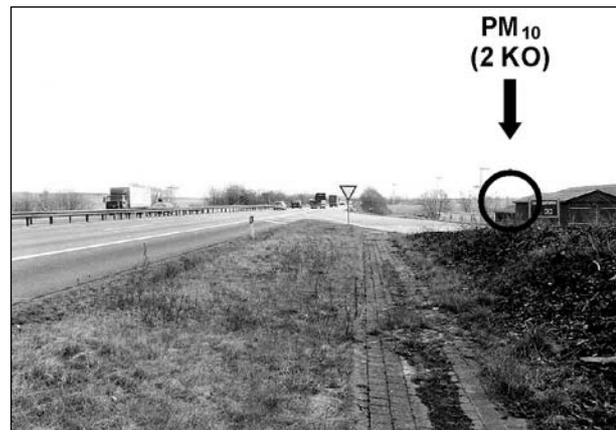


Bild 2.5: Messquerschnitt an der A 61. Auf der rechten Bildseite befindet sich der Rastplatz „Goldene Meile“; Blickrichtung ist SO (Richtung Koblenz)

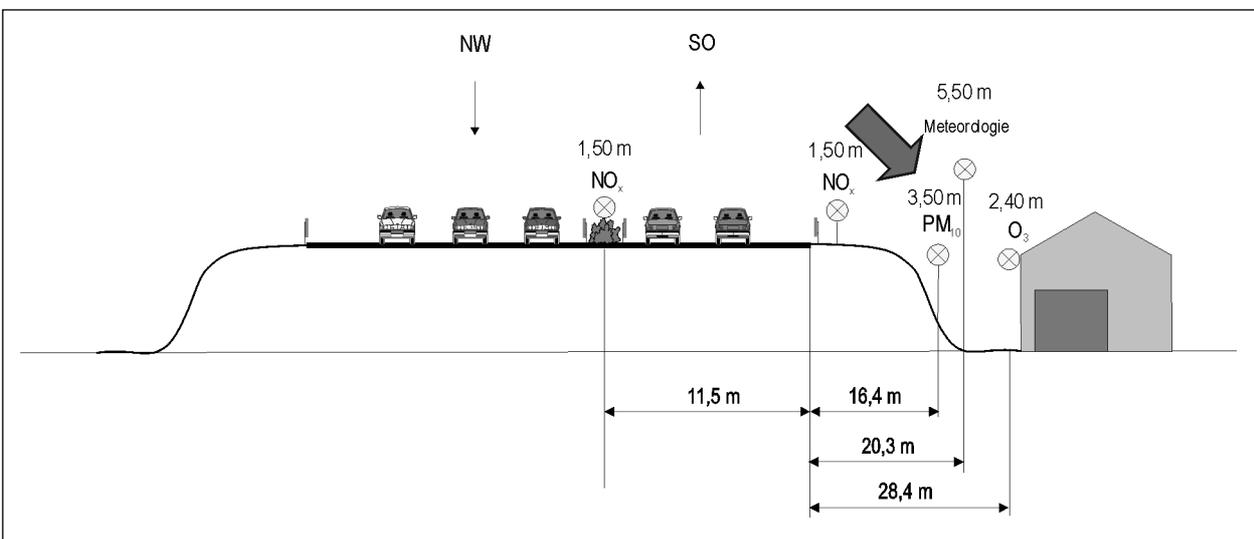


Bild 2.4: Messquerschnitt an der A 61; Seitenansicht in Richtung Südosten. Der Pfeil gibt den Standort der PM<sub>10</sub>-Messstelle an

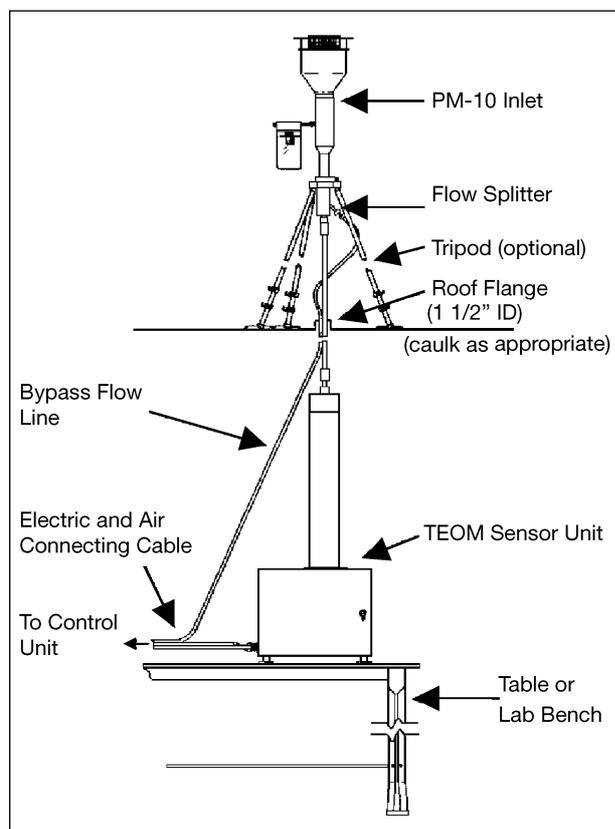
### 3 Messdurchführung

#### 3.1 Partikel PM<sub>10</sub>

Das verwendete Gerät TEOM 1400a der Firma MLU ist ein gravimetrisches Messgerät, welches die Umgebungsluft mit einer konstanten Flussrate durch ein Filter saugt, kontinuierliche Messungen des Filtergewichts vornimmt und Massenkonzentrationen in annähernd Echtzeit (10 Minuten) bestimmt. Zusätzlich hierzu können Gesamtmassenkonzentration und 30-Minuten-, 1-Stunden-, 8-Stunden- sowie Tagesmittelwerte errechnet werden. Die aufgenommenen Daten werden auf eine zentrale Datenerfassungsanlage, die im Luftschadstofflabor der BAST aufgestellt ist, übertragen und dort abgespeichert.

Der gesammelte Massenstrom wird im Instrument auf eine Temperatur von 50 °C aufgeheizt, bevor er durch den Massenumwandler geleitet wird, um die Effekte von stark schwankenden Umgebungskonditionen auszugleichen und bei einer gleich bleibend sehr niedrigen Feuchte zu messen.

Zunächst wird der gesammelte Massenstrom mit einer vorgegebenen Flussrate von 16,7 l/min durch



**Bild 3.1:** Schematische Darstellung des PM<sub>10</sub>-Messgerätes TEOM 1400a (Rupprecht & Pataschnik Co., 1996)

das PM<sub>10</sub>-Filter (dieses lässt ausschließlich Partikel mit einer Größe < 10 µm aerodynamischen Durchmessers passieren) gesaugt, hinter dem er in einen Bypassstrom von 13,7 l/min und einen Teilstrom von 3 l/min geteilt wird. Letzterer wird an einen Massenwertumwandler weitergeleitet, in dem er ein teflonbeschichtetes Silikatfilter passiert, welches alle zwei Sekunden gewogen wird. Die Differenz zwischen dem jeweils gemessenen Gewicht und dem Anfangsgewicht des Filters, das automatisch nach Einsetzen eines neuen Filters gewogen wird, gibt die Gesamtmasse der gesammelten Partikel an. Die so gewonnenen Werte werden sofort exponentiell geglättet. Die Massenrate wird sodann unter Verwendung der Zunahme der geglätteten Gesamtmasse zwischen aktuell gemessenem Wert und dem gerade vorangegangenen Messwert berechnet und in g/sec angegeben. Dieser Wert wird



**Bild 3.2:** PM<sub>10</sub>-Messstelle am Messquerschnitt an der A 61

ebenfalls exponentiell geglättet. Die Massenkonzentration wird letztendlich errechnet durch Division von Massenrate durch Flussrate (korrigiert durch EPA-Standard-Temperatur und -Druck) und so angegeben. Während der Teilstrom wie oben beschrieben das austauschbare Filter im Massenwertumwandler durchläuft und über das zweite Filter an den Massenfluss-Controller weitergeleitet wird, wird der Bypassstrom ebenfalls in einem großen Bypassfilter gefiltert, bevor er einen zweiten Massenfluss-Controller passiert.

Bei den TEOM-Partikelmessgeräten treten Fehlzeiten vor allem im Zusammenhang mit dem Erhitzen des gesammelten Massenstroms auf etwa 50 °C auf, da es dabei zum Verdampfen der flüchtigen Staubbestandteile kommen kann, die somit von dem Messgerät nicht erfasst werden können und nicht in die Massenbilanz eingehen. Zur Vermeidung dieses Effekts wurde ein so genanntes Sample Equilibration System (SES) eingesetzt, welches einen Gerätebetrieb bei etwa 30 °C für sowohl hohe als auch niedrige Außentemperaturen und hohe Außenluftfeuchtigkeit ermöglicht.

Für PM<sub>10</sub>-Probenahmegeräte werden gemäß DIN EN 12341 „Ermittlung der PM<sub>10</sub>-Fraktion von Schwebstaub“ Prüfverfahren für den Vergleich von Messergebnissen aus einer Feldprüfung mit einem Testgerät und einem PM<sub>10</sub>-Referenzgerät festgelegt zum Nachweis der Gleichwertigkeit von Messverfahren und Referenzmethode. Damit soll die messtechnische Überwachung im Rahmen der Richtlinie 96/62/EG (Rahmenrichtlinie über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität) sowie der ersten Tochterrichtlinie 99/30/EG vereinheitlicht werden. Die eingesetzten PM<sub>10</sub>-Geräte wurden gemäß dieser Norm auf Gleichwertigkeit mit dem Referenzverfahren geprüft. Jedoch müssen bei der Messwertaufnahme mit den zur Verfügung stehenden unterschiedlichen Messmethoden auch in der Richtlinie 99/30/EG respektive der 22. BImSchV geforderte Datenqualitätsziele erfüllt werden. Bei kontinuierlichen Messverfahren, wie sie in diesem Projekt verwendet wurden, ist hierfür die Verwendung von Korrekturfunktionen erforderlich. Wurde kein eigener Korrekturfaktor bestimmt, kann ein vorläufiger Korrekturfaktor von 1,3 verwendet werden (EC WG on Particulate Matter, 2002). Dieser liegt auch in der Größenordnung des für Nordrhein-Westfalen bestimmten standortunabhängigen Faktors für TEOM-Geräte, der im Mittel bei 1,28 liegt (PFEFFER et al., 2004).

### 3.2 Partikel PM<sub>x</sub>

Es wurde über drei Monate ein Gerät der Firma Grimm für die kontinuierliche und gleichzeitige Aufnahme mehrerer Feinstaubkomponenten angemietet, um Vergleichsmessungen mit den bisher eingesetzten TEOM-Geräten durchzuführen.

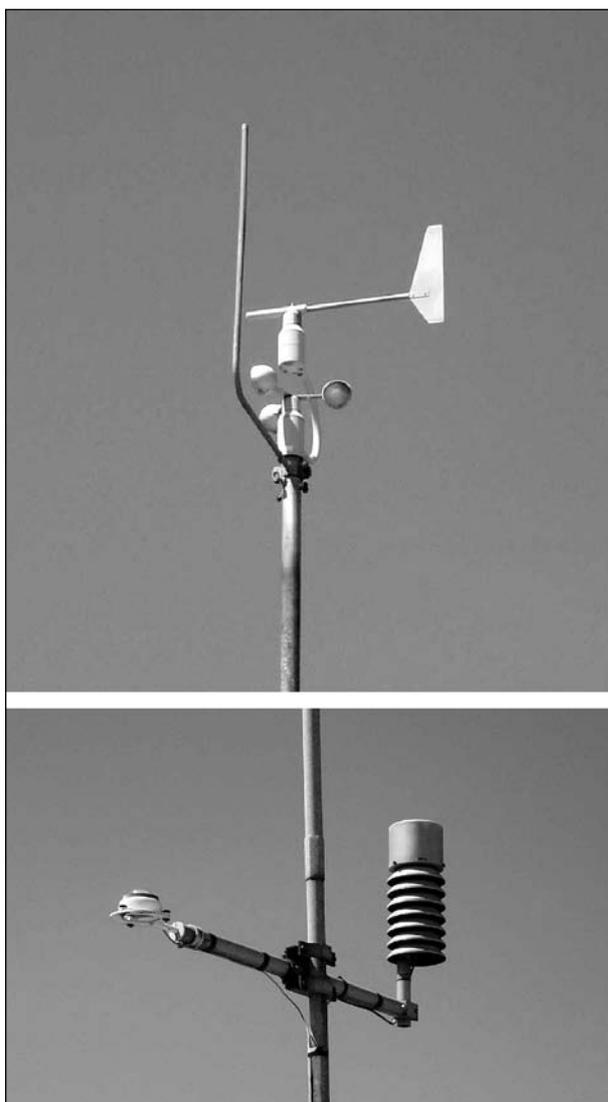
Bei diesem Gerät handelt es sich um das Immissions-Feinstaubmesssystem ENVIROcheck 107 zur gleichzeitigen Messung der PM<sub>10</sub>-, PM<sub>2,5</sub>- und PM<sub>1</sub>-Fraktion. Es registriert Staubmassewerte der angegebenen drei Komponenten; zusätzlich werden Temperatur, relative Feuchte und Luftdruck aufgenommen.

Zur Bestimmung der Massenkonzentrationen der Stäube und deren Aerosolverteilung wird das Prinzip der Streulichtmessung der Einzelpartikel genutzt. Hierbei dient ein Halbleiterlaser als Lichtquelle, durch deren Strahl innerhalb der Messzelle die zu detektierenden Partikel durch eine interne volumengesteuerte Pumpe geleitet werden. An den Partikeln wird so ein Streulicht erzeugt, welches erfasst und auf einen Detektor geleitet wird. Die dort gemessene Lichtintensität ist der Partikelgröße proportional. Bei bekanntem Partikeldurchmesser und bekannter Dichte kann unter Annahme der Kugelform der Partikel die Partikelmasse aus der Partikelanzahl abgeleitet werden. Die Streulichtintensitäten werden mit Testaerosolen bekannter Teilchengröße und Dichte genormt und zur Bestimmung der Massenkonzentration polydisperser Gemenge mit einem empirisch ermittelten Korrekturfaktor versehen.

### 3.3 Meteorologie

Der kombinierte Windsensor erfasst die Werte der Windgeschwindigkeit (durch einen trägheitsarmen Schalenstern) und der 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. Der Windgeber ist gegen Eis- und Raureifbildung im Winterbetrieb mit einer thermostatisch geregelten elektrischen Heizung ausgestattet.

Der Strahlungssensor (Pyranometer) auf dem Dach des BAST-Gebäudes erfasst die kurzwellige Strahlung im Spektralbereich von 0,3 bis 3 µm. Diese Globalstrahlung setzt sich aus der direkten



**Bild 3.3:** Wind- und Strahlungsgeber auf dem Dach des BAST-Gebäudes

Sonnenstrahlung und der diffusen Himmelsstrahlung zusammen, gemessen auf einer horizontalen Fläche. 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 zu messende Strahlung.

Der Feuchtigkeitssensor (Hygrometer) misst die relative Luftfeuchtigkeit in einem Messbereich von 10 bis 100 % relativer Feuchte nach dem Prinzip der Ausdehnung eines menschlichen Haares bei zunehmender Feuchtigkeit.

## 4 Grundlagen des Schadstoffverhaltens

### 4.1 Partikelquellen

Partikel- oder Staubemissionen aus anthropogenen Quellen entstehen in der Atmosphäre vorwiegend bei Verbrennungsvorgängen, durch mechanische Prozesse oder durch Aufwirbelung und werden dispersiv in Gasen verteilt. Neben Seesalz ist Bodengrausch die größte Quelle von partikelförmiger Substanz in der Atmosphäre. Er entsteht durch (Wind-)Erosion und Resuspension durch anthropogene Aktivitäten, z. B. auch den Straßenverkehr (MÖLLER, 2003). Die direkt vom Menschen emittierten Stäube entstehen bei Verbrennungsprozessen (Flugasche, (Diesel-)Ruß), bei sonstigen Industrieprozessen (Materialverarbeitung), beim Umschlag von Schüttgütern, in der Landwirtschaft sowie durch den Abrieb von Reifen, Kupplung und Bremsen im Straßenverkehr. Dieser anthropogene Staub enthält durchschnittlich mehr als 80 %  $PM_{10}$ -Partikel und in städtischen Gebieten liegt unter normalen Emissionsbedingungen (kein unmittelbarer Einfluss einer Emissionsquelle, durchschnittliche Windgeschwindigkeiten, keine größeren Flächen mit unbefestigtem, nicht bewachsenem, sandigem Boden) der Anteil der  $PM_{10}$  am gesamten Luftstaub recht konstant bei etwa 85 % (BLIEFERT, 2002).

Die Zusammensetzung von Aerosolen hängt stark von der Herkunft der in ihnen enthaltenen Partikel ab. In Mineralstaub sind vor allem Calcium-, Aluminium- und Siliziumverbindungen enthalten. In Aerosolen, deren Ursprung in Verbrennungsprozessen fossiler Brennstoffe zu finden ist, sind organische Verbindungen und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) angereichert. Die in Regenwassertröpfchen enthaltenen Ionen hingegen stammen insbesondere aus Seesalzaerosolen, Erdstaub sowie biologischen und anthropogenen Emissionen aus Industrie- und Verbrennungsprozessen (BLIEFERT, 2002).

### 4.2 Verkehrsbedingte Partikelemissionen

Motorbedingte Partikel werden bei den Verbrennungsprozessen im Fahrzeugmotor erzeugt. Hierbei ruft nicht nur der Betrieb von Dieselfahrzeugen Feinstaubemissionen hervor, auch bei direkt einspritzenden Pkw werden solche freigesetzt (UMK

AG, 2004). Jedoch gehen von Dieselfahrzeugen die höheren Partikelmengen aus. Durch eine stetige Zunahme der neu zugelassenen Diesel-Pkw – der Anteil der Diesel-Pkw an den Neuzulassungen beträgt mittlerweile 40 % (Stand 2003) – konnte daher trotz verbesserter, emissionsärmerer Motorentechnik keine Minderung der Feinstaubkonzentrationen registriert werden. Der Anteil der ultrafeinen Partikel, die aus Diesel-Fahrzeugen stammen, hat sogar zugenommen (UBA, 2003).

Durch Verbesserung der Verbrennungsprozesse konnte der Ausstoß von motorbedingten Partikeln in den vergangenen Jahren deutlich gemindert werden. Eine weitere Senkung der Feinstaubemissionen kann nach dem derzeitigen Stand der Technik jedoch nur mit einer Abgas-Nachbehandlung durch Partikelfilter erreicht werden. Minderungsraten liegen hier für die Partikelmasse bei weit über 90 % und hinsichtlich der Partikelanzahl bei über 99,99 % (UBA, 2003).

Nicht-motorbedingte Partikel setzen sich zusammen aus Abrieben von Bremsen, Reifen, Kupplung und Fahrbahn, durch Eintrag von außen aus natürlichen (z. B. Mineralstaub) und anthropogenen Quellen (z. B. Industrie) sowie durch Wiederaufwirbelung des schon deponierten Materials. Mehrere Studien lassen vermuten, dass der Anteil der nicht-motorbedingten Partikel an den Gesamt-PM<sub>10</sub> im flüssigen Verkehr etwa in der Größenordnung der motorbedingten Partikel liegt. Durch Brems- und Anfahrvorgänge werden aber sehr viel mehr Partikel abgerieben bzw. wieder aufgewirbelt, sodass z. B. an Lichtsignalanlagen drei- bis viermal mehr Partikel emittiert werden als im fließenden Verkehr (UVEK, 2003; UMK AG, 2004).

Der Schwerverkehr ruft den größten Teil sowohl der motorbedingten als auch der nicht-motorbedingten Partikelemissionen hervor. Die Nutzfahrzeuge verursachen etwa 70 % der durch den Straßenverkehr hervorgerufenen motorbedingten Partikelemissionen (UVEK, 2003). Im Schwerverkehr, der bundesweit einen durchschnittlichen Anteil von 15 % am Gesamtverkehr hat (Erhebungsjahr 2002, BASt 2004), ist daher ein großer Beitrag zu den Feinstaubbelastungen an Straßen zu sehen.

### 4.3 Partikelgrößen

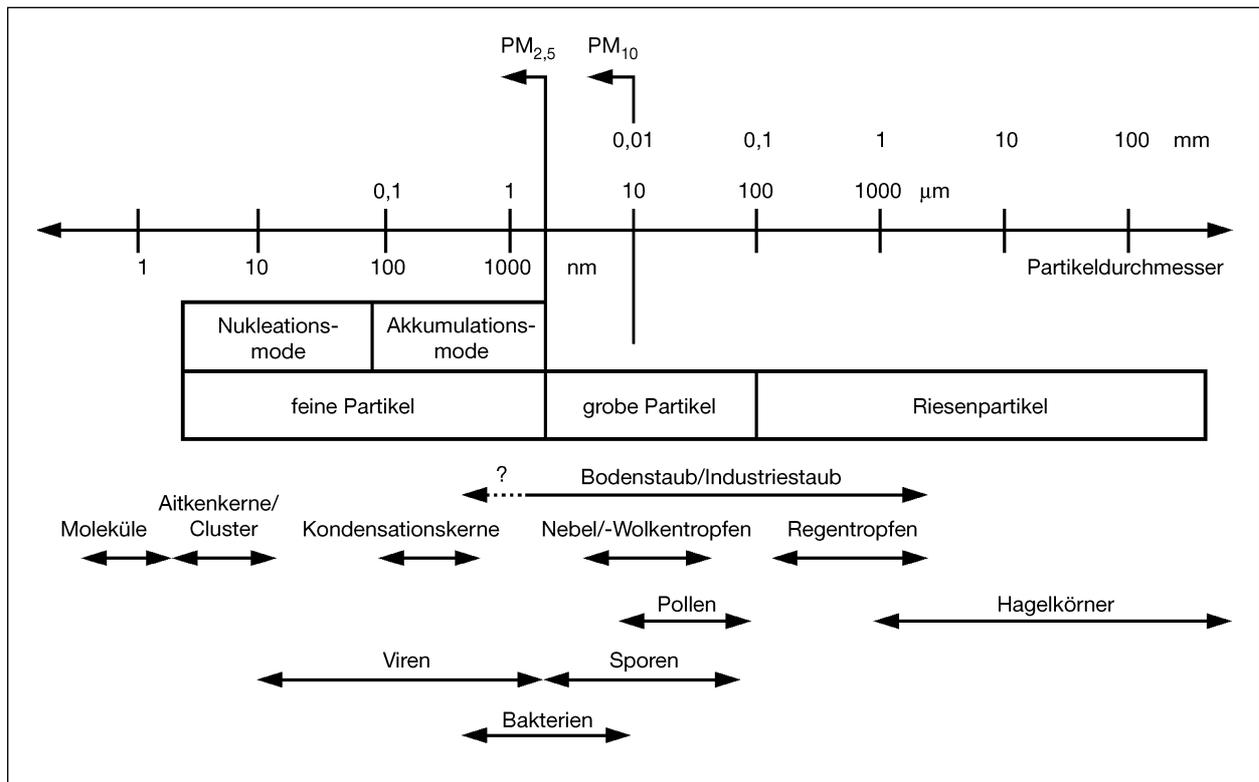
Bei den PM<sub>10</sub>-Partikeln (PM: particulate matter) handelt es sich um Staubpartikel mit einem aerodynamischen Durchmesser  $d_{ae} \leq 10 \mu\text{m}$ , auch Feinstaub genannt im Gegensatz zu Feinstaub und Grobstaub; teilweise wird auch von Ultrafeinstaub gesprochen. Alle Kategorien gehören zu der Staubfraktion der Schwebstoffe in der Atmosphäre, die in ihrem kolloidalen System mit der Luft auch als Aerosol bezeichnet werden.

Unter dem aerodynamischen Durchmesser versteht man den Durchmesser einer Kugel mit der gleichen Sinkgeschwindigkeit wie das betrachtete Partikel, aber mit der Einheitsdichte  $\rho_0 = 1 \text{ g/m}^3$ .

In Bezug auf die Lungengängigkeit wird in der DIN EN 481 (DIN EN 481:1993 „Arbeitsplatzatmosphäre – Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel“) auch zwischen einatembarer, (extra-)thorakaler, tracheobronchialer und alveolengängiger Fraktion unterschieden (BLIEFERT, 2002). Tabelle 4.1 stellt beide Nomenklaturen einander gegenüber.

Bezeichnung	Einteilung nach DIN EN 481	Lungengängigkeit	aerodynamischer Durchmesser $d_{ae}$
Grobstaub	einatembare und (extra-)thorakale Fraktion	wird durch Mund und Nase eingeatmet und dringt nicht über den Kehlkopf hinaus ein	$d_{ae} \leq 200 \mu\text{m}$
Gesamtschwebstaub (TSP)	einatembare und (extra-)thorakale Fraktion	wird durch Mund und Nase eingeatmet und dringt nicht über den Kehlkopf hinaus ein	$d_{ae} \leq 15 \mu\text{m}$ (früher: $d_{ae} \leq 35 \mu\text{m}$ )
Feinstaub	tracheobronchiale Fraktion	dringt über den Kehlkopf hinaus ein, gelangt aber nicht bis in die Lungenbläschen (Alveolen)	$d_{ae} \leq 10 \mu\text{m}$ (teilweise auch: $d_{ae} \leq 2,5 \mu\text{m}$ )
Feinststaub	alveolengängige Fraktion	gelangt bis in die Lungenbläschen	$d_{ae} \leq 1 \mu\text{m}$
Ultrafeinstaub	alveolengängige Fraktion	gelangt bis in die Lungenbläschen	$d_{ae} \leq 0,1 \mu\text{m}$

**Tab. 4.1:** Teilchendurchmesser der unterschiedlichen Partikelfraktionen. Je nach Quelle variieren diese Angaben



**Bild 4.1:** Größenordnungen typischer Partikel in der Umgebungsluft (MÖLLER, 2003)

In Bild 4.1 ist die typische Verteilung der Größenordnungen von Partikeln dargestellt.

#### 4.4 Lebensdauer von Partikeln

Die Lebensdauer von Aerosolen in der Nähe der Erdoberfläche wird durch den aerodynamischen Durchmesser der Aerosolpartikel und den daraus resultierenden Mechanismus ihrer Deposition bestimmt. Man unterscheidet hierbei zwischen Koagulation, nasser Ausscheidung, z. B. durch Regen, und Sedimentation (siehe Tabelle 4.2).

Die Ultrafeinpartikel im Größenbereich kleiner  $0,1 \mu\text{m}$  koagulieren aufgrund ihrer hohen diffusiven Eigenbeweglichkeit miteinander zu größeren Teilchen. Dies geschieht je nach Aerosolkonzentration und thermodynamischen Bedingungen innerhalb von Bruchteilen von Sekunden bis zu Stunden. Sie werden auch Nukleationsmode genannt. Bei den Partikeln im Größenbereich zwischen  $0,1$  und  $10 \mu\text{m}$  nimmt die Diffusionsgeschwindigkeit ab und ihre Lebensdauer kann luftgetragen bis zu mehreren Wochen betragen. Sie werden auch Akkumulationsmode genannt und können sehr weite Strecken (bis zu mehreren  $1.000 \text{ km}$ ) während dieser Zeit zurücklegen. Sie werden hauptsächlich durch Wolkenbildung und Regen aus der Atmos-

Partikeldurchmesser	Hauptmechanismus der Ablagerung	Lebensdauer
$d_{ae} \leq 0,1 \mu\text{m}$	Koagulation	bis zu Stunden
$0,1 \mu\text{m} < d_{ae} \leq 10 \mu\text{m}$	nasse Ausscheidung	Tage bis Wochen
$d_{ae} > 10 \mu\text{m}$	Sedimentation	0,5 d

**Tab. 4.2:** Mittlere Lebensdauer von Aerosolen in Abhängigkeit vom Partikeldurchmesser (BLIEFERT, 2002; WICHMANN et al., 2002)

phäre ausgewaschen, können aber auch trocken deponiert werden. Die Partikel größer  $10 \mu\text{m}$  unterliegen zum größten Teil einer Sedimentation.

Die Ultrafeinpartikel weisen eine höhere Koagulationsrate bei Anlagerung an die größeren Feinpartikel auf (polydisperse Koagulation) als bei Anlagerung an Partikel ihrer Größe (monodisperse Koagulation), wenn die Feinpartikel in der gleichen Konzentration wie die Ultrafeinpartikel vorhanden sind. Dadurch werden Ultrafeinpartikel in Gegenwart von Feinpartikeln weggefangen (sog. scavenging effect). Da jedoch über die vergangenen Jahrzehnte die Anzahl der großen Partikel in der Luft abgenommen und die der kleinen zugenommen hat, werden die Ultrafeinpartikel weniger effektiv beseitigt und erreichen eine hohe Halbwertszeit in der

Atmosphäre. Diese Entwicklung ist insbesondere auf die vollständigere Verbrennung in Motoren, Brennern in Kraftwerken und im Hausbrand zurückzuführen. So konnte selbst bei nicht gesteigener Emission von Ultrafeinpartikeln deren Konzentration in der Umwelt in den letzten Jahren und Jahrzehnten ansteigen (WICHMANN et al., 2002). Konsequenzen zeigen sich vor allem in Hinblick auf die gesundheitliche Auswirkung der Partikel der unterschiedlichen Größenbereiche (siehe Tabelle 4.1 und Kapitel 4.5).

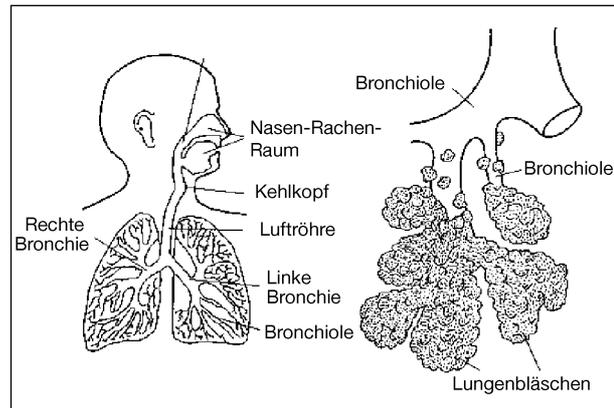
#### 4.5 Gesundheitliche Auswirkungen von Partikeln

Luftverunreinigungen durch Partikel tragen zur Trübung der Atmosphäre und somit zur Sichtminderung bei. Dies wird insbesondere durch die Partikel mit einem Durchmesser von 0,1 bis 1  $\mu\text{m}$  hervorgerufen, da dieser sich in der Größenordnung der Wellenlänge von sichtbarem Licht (0,4 bis 0,8  $\mu\text{m}$ ) bewegt. Durch die Staubbelastung kann die Sonneneinstrahlung in städtischen Gebieten bis zu 30 % gemindert werden und somit den Strahlungshaushalt der Erde und damit auch das Klima nachhaltig beeinflussen (BLIEFERT, 2002).

Aber Aerosole zeichnen sich nicht nur durch ihre Wirkungen auf das Erdklima aus, sondern auch durch ihr gesundheitliches Schadenspotenzial. An den Partikeln können sich toxische und kanzerogene Substanzen anlagern, wie z. B. polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe oder N-Nitrosamine, und durch die Lungengängigkeit der Partikel in den Respirationstrakt gelangen (WICHMANN et al., 2002).

Dabei entscheiden Größe und Form der Partikel, ihre chemische Zusammensetzung sowie Atemmuster und Anatomie der Lunge über Deposition und Depositionsort im Atemtrakt (WICHMANN et al., 2002). Je größer die Teilchen, desto früher lagern sie sich an kleinen Haaren und den Nasenschleimhäuten ab und werden durch den Nasenschleim oder Hustenreiz wieder ausgeschieden.

Kleinere Teilchen hingegen, an und in denen Schadstoffe gebunden sind und die unter Umständen bis in die Alveolen vordringen können, werden von der Lunge nur sehr langsam und unvollständig entfernt. So können Schwermetalle und andere mitgeführte toxische Stoffe (PAK) im Atemtrakt (siehe Bild 4.2) und durch Resorption auch im übrigen Organismus einwirken (MÖLLER, 2003). Zur



**Bild 4.2:** Darstellung der menschlichen Atemwege zur Erläuterung der Lungengängigkeit (siehe Tabelle 4.1) (BLIEFERT, 2002)

Entfernung solcher Fremdkörper aus der Lunge werden sie im extrathorakalen Bereich der Atemwege durch den Mucus (Bronchialschleim) gebunden und nach Transport innerhalb von einigen Tagen über den Kehlkopf verschluckt. In den tieferen Bereichen der Lunge (alveolarer Bereich) kann die Aufenthaltsdauer der Partikel bis zu einigen Jahren andauern. Hier können Partikel von Alveolarmakrophagen als Fremdkörper erkannt und phagozytiert werden. Diese Partikel wandern mit einem solchen Alveolarmakrophagen durch den Mukoziliartransport über den Kehlkopf in den Magen-Darm-Trakt und werden ausgeschieden. Jedoch muss davon ausgegangen werden, dass die Ultrafeinpartikel nur in geringer Zahl auf diesem Wege eliminiert werden. Ein erheblicher Teil wird von Epithelzellen aufgenommen und verbleibt dort oder wird weiter ins Bindegewebe transportiert (WICHMANN et al., 2002).

Ein Unterschied besteht bei diesen Mechanismen zwischen Mund- und Nasenatmung. Wird durch die Nase geatmet, werden hauptsächlich Partikel größer 2,5  $\mu\text{m}$  und ein Teil der Partikel mit einem Durchmesser zwischen 1 und 2,5  $\mu\text{m}$  ausgefiltert, bevor sie in die Lungenperipherie gelangen können. Bei Mundatmung hingegen werden die meisten Partikel größer 5  $\mu\text{m}$  in Mund-Rachenraum und den großen Bronchien abgelagert. Die Partikel kleiner 5  $\mu\text{m}$  können so ungehindert in die Bronchiolen und Alveolen vordringen (WICHMANN et al., 2002).

Auch über die Ablagerung auf den Blättern von Nutzpflanzen und die folgende Inkorporation durch pflanzliche Nahrung können Partikel aufgenommen werden (ALLOWAY und AYRES, 1996). Jedoch ist die chemische (toxikologische) und mechanische Wirkung von Aerosolpartikeln auf den menschl-

chen Organismus sehr komplex und nicht vollständig bekannt.

Eine neue Studie hat weiterhin einen Zusammenhang zwischen Arteriosklerose und  $PM_{10}$ -Belastung festgestellt. Es wird vermutet, dass durch das Einatmen des Feinstaubes eine chronische Entzündung ausgelöst und somit die Ablagerung von oxidierten Fetten in der Arterienwand beschleunigt werden kann (Umwelt, 2004). In Tierversuchen mit Ratten hat sich außerdem gezeigt, dass ultrafeine Stäube über den Riechnerv ins Gehirn gelangen und dort eventuell zu degenerativen Hirnkrankheiten wie Alzheimer und Parkinson führen können (NZZ, 2004).

## 5 Messergebnisse

### 5.1 Verkehrsmengen und Schwerverkehrsanteile

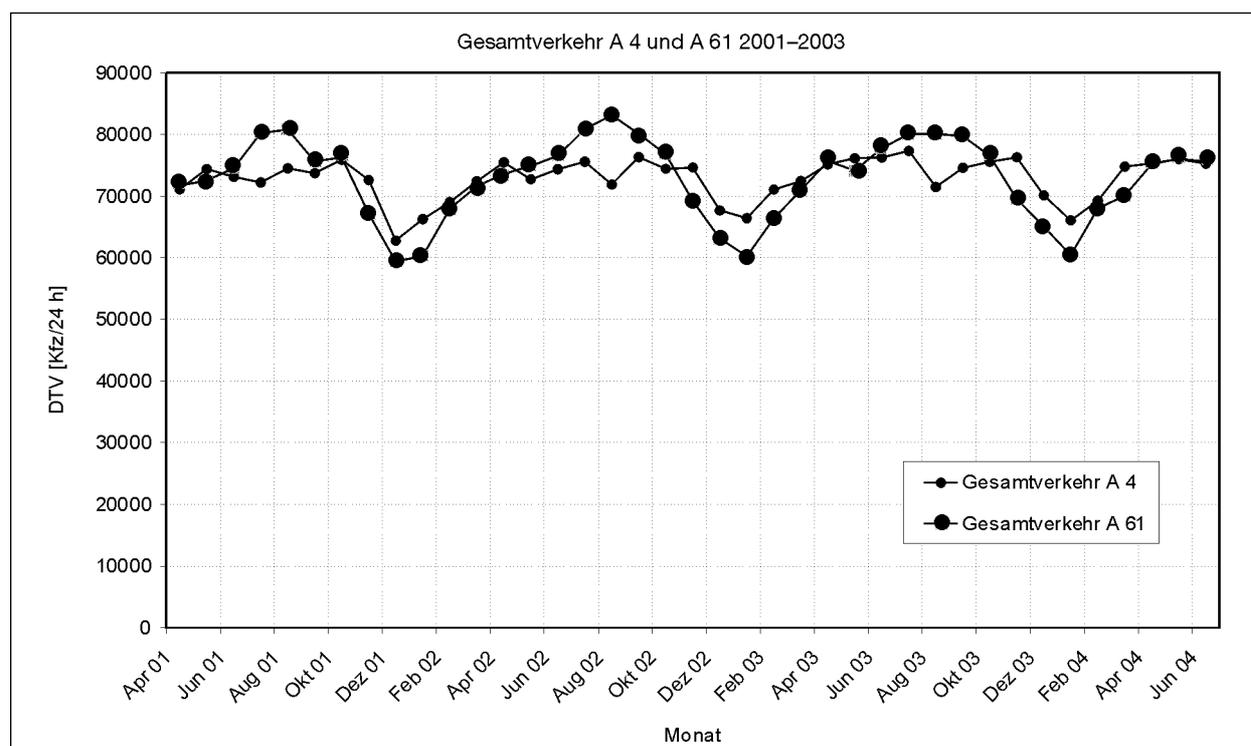
In Bild 5.1 sind die Monatsmittelwerte des DTV der beiden Messquerschnitte einander gegenübergestellt. Sie zeigen einen ähnlichen jahreszeitlichen Verlauf. Es werden hier und in Bild 5.2 die Daten des Zeitraums vom Beginn der  $PM_{10}$ -Messwertaufnahme an der A 4 im April 2001 bis Juni 2004 dargestellt, 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 5.2 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.

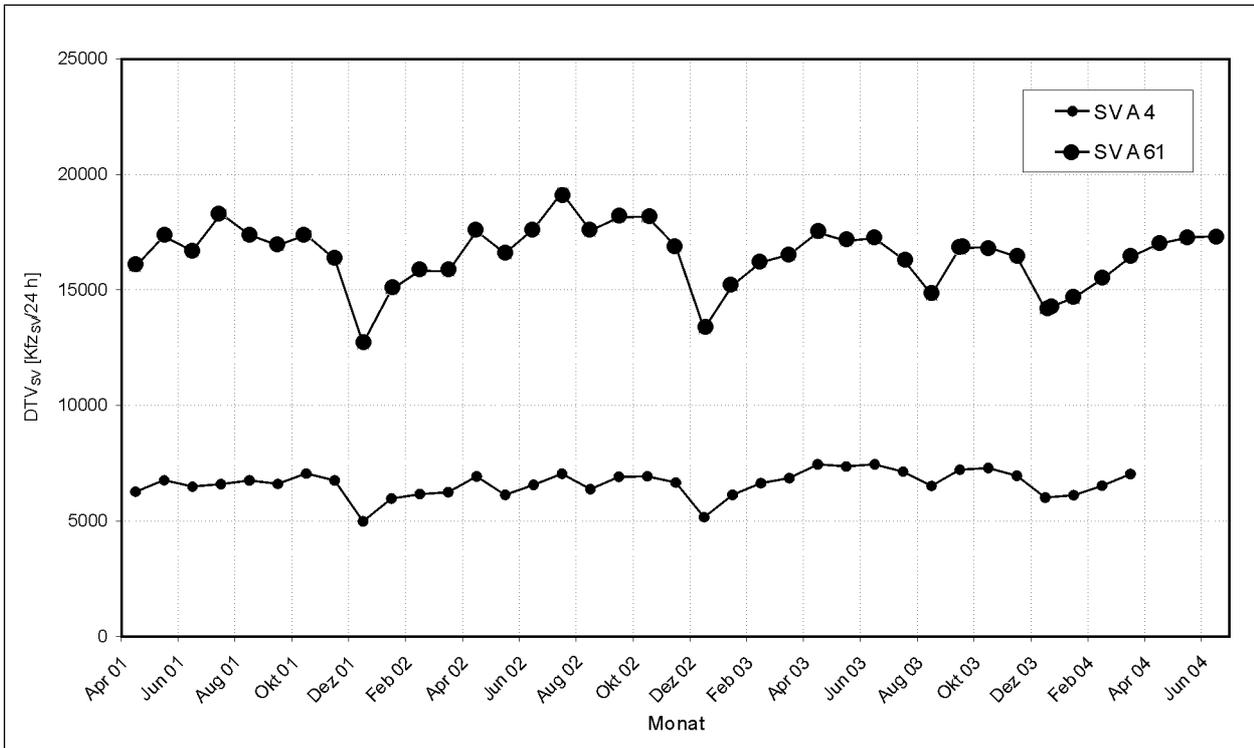
Anhand der wochentagabhängigen Tagesganglinien des Gesamtverkehrs, die in den Bildern 5.3 und 5.4 beispielhaft für das Jahr 2003 dargestellt wurden, ist zu sehen, dass der Verkehr an der A 4 an



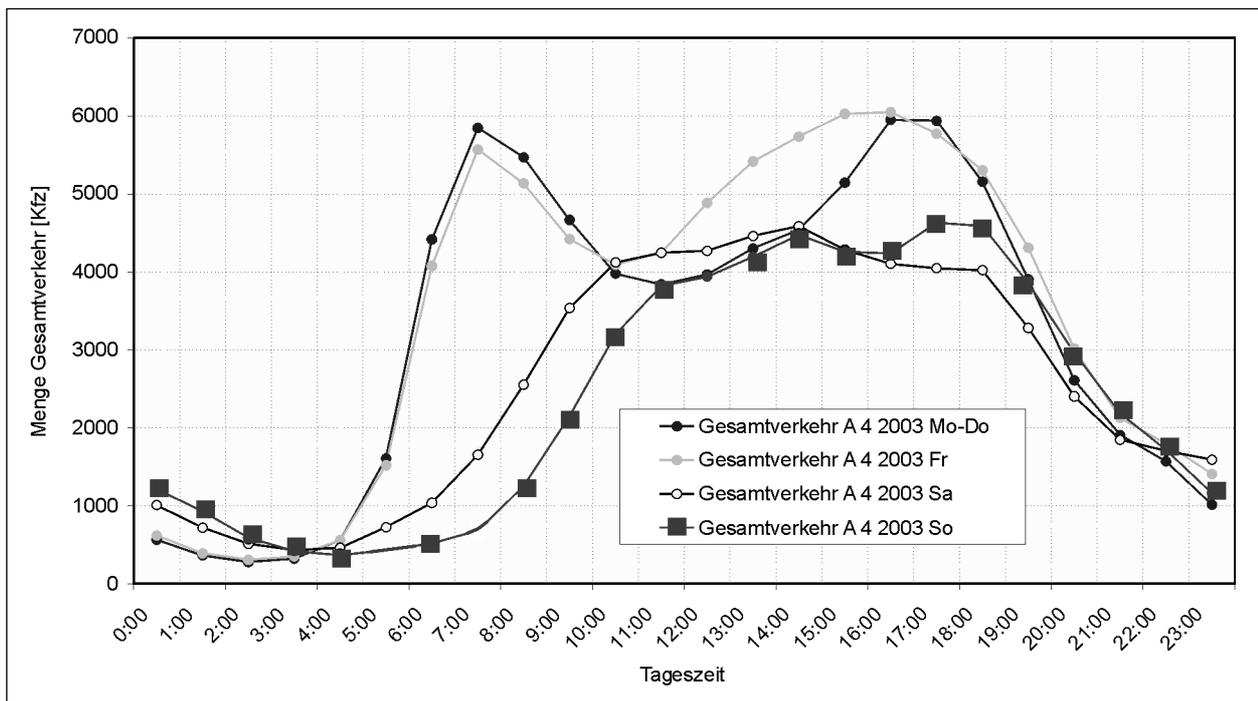
**Bild 5.1:** Monatsmittelwerte des DTV an beiden Messquerschnitten für den Zeitraum April 2001 bis Juni 2004 (Daten für 2004 nicht abschließend geprüft)

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 Ver-

kehr 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 stärker zu als an der A 4. Dies weist wiederum darauf hin, dass die A 4 vor allem von Berufspend-



**Bild 5.2:** Schwerverkehr-Belastung an beiden Messquerschnitten für den Zeitraum April 2001 bis Juni 2004; für die A 4 standen Daten nicht für den gesamten Zeitraum zur Verfügung (Daten für 2004 nicht abschließend geprüft)



**Bild 5.3:** Wochentagabhängige Tagesganglinien des Gesamtverkehrs am Messquerschnitt an der A 4 für das Jahr 2003

lerverkehr 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 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 5.5 und 5.6 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 Verkehrsmengen zutage.

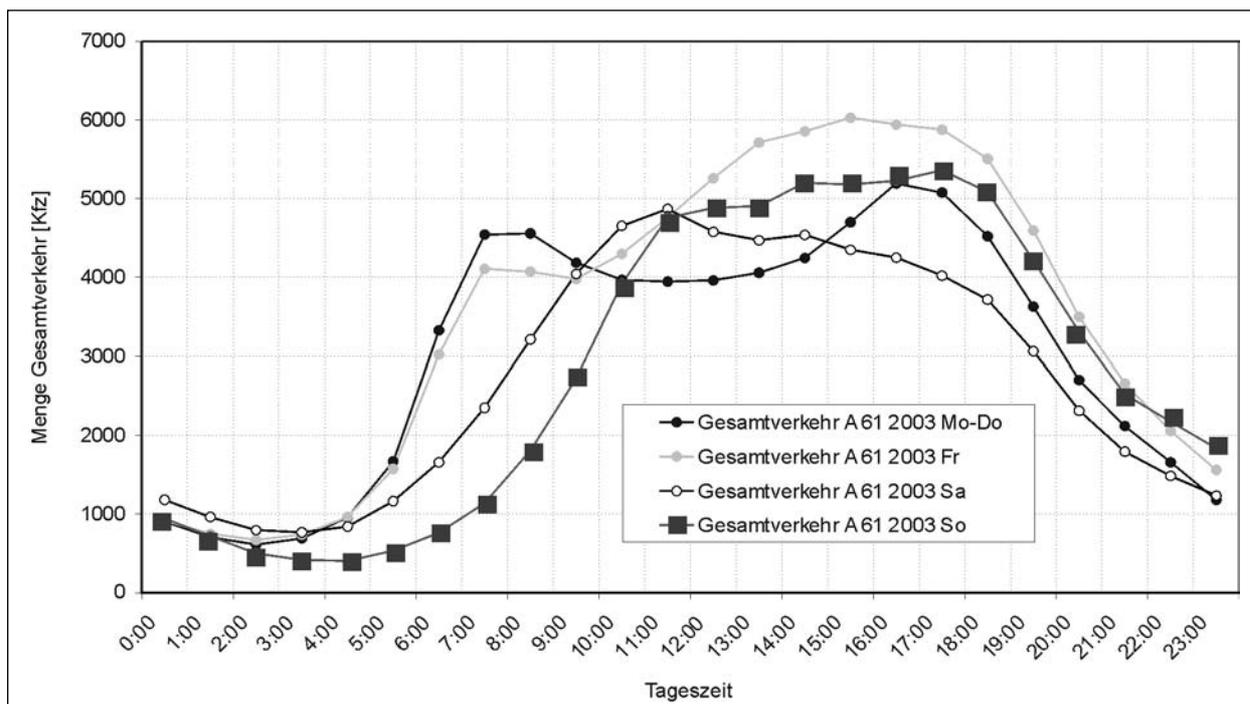


Bild 5.4: Wochentagabhängige Tagesganglinien des Gesamtverkehrs am Messquerschnitt an der A 61 für das Jahr 2003

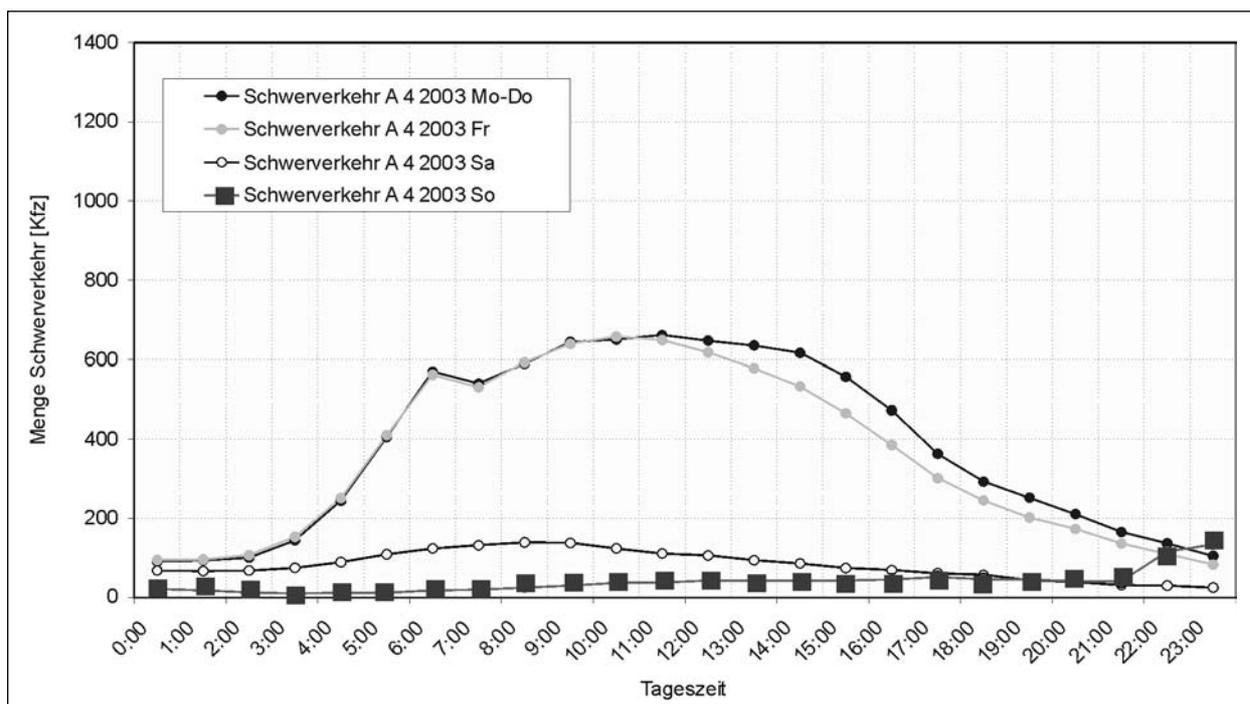
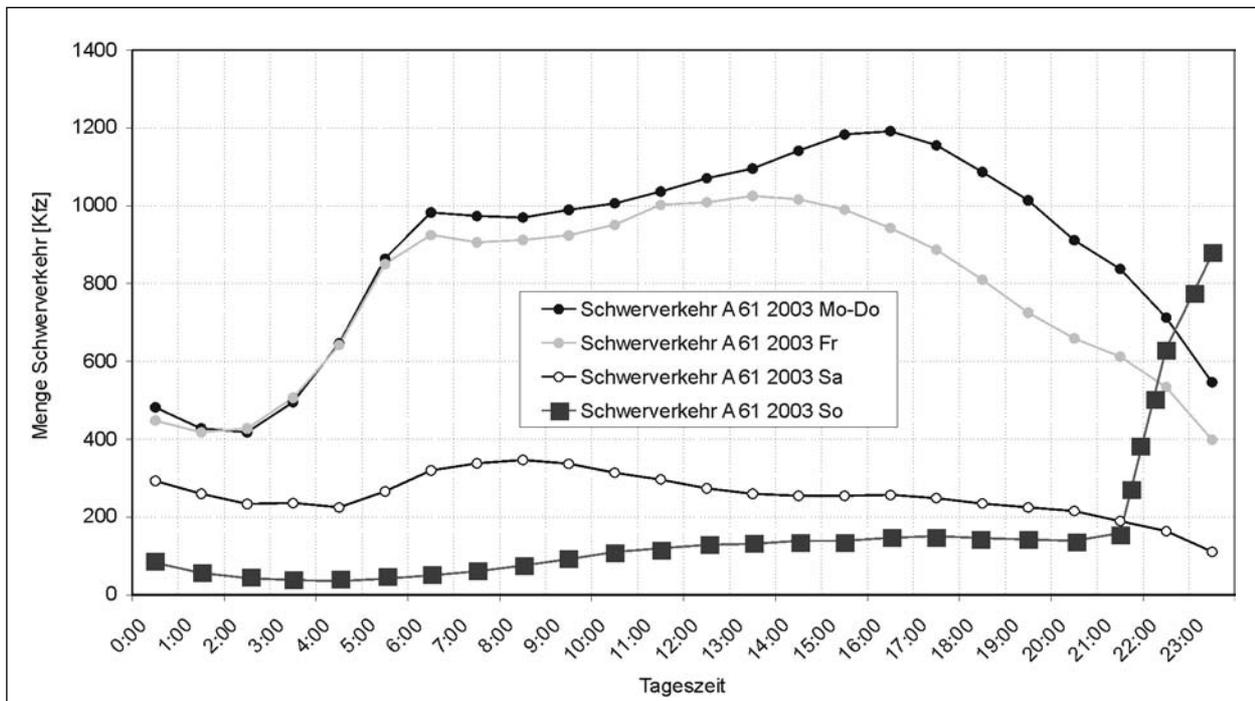


Bild 5.5: Wochentagabhängige Tagesganglinien des Schwerverkehrs am Messquerschnitt an der A 4 für das Jahr 2003



**Bild 5.6:** Wochentagabhängige Tagesganglinien des Schwerverkehrs am Messquerschnitt an der A 61 für das Jahr 2003

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.

## 5.2 Meteorologie

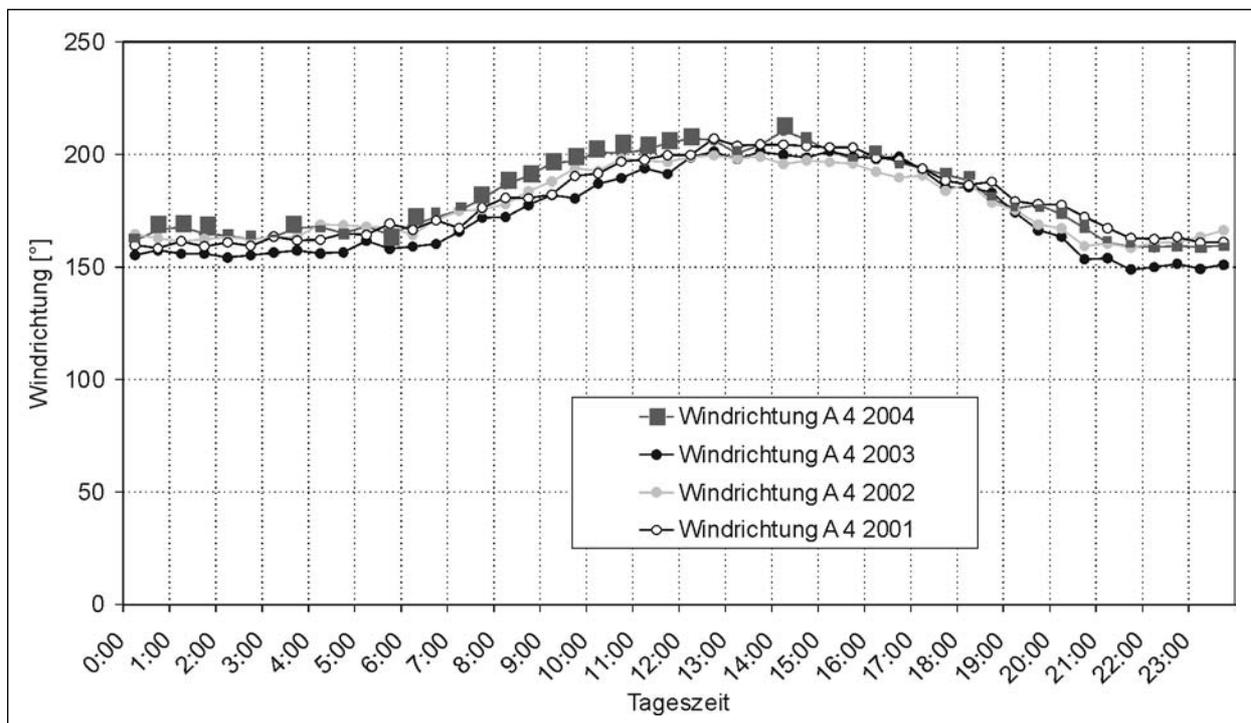
An den beiden Messquerschnitten werden seit unterschiedlich langen Zeiträumen meteorologische Parameter aufgenommen. Die Meteorologiemessstelle auf dem Gebäude der BAST, die Windparameter, Feuchte, Temperatur und Strahlung aufnimmt, wird schon seit Installation des Messquerschnitts an der A 4 betrieben. Für sie werden die Daten der Jahre 2001 bis 2004 dargestellt, in denen an dem Messquerschnitt an der A 4 die  $PM_{10}$ -Konzentration aufgenommen wurde.

Die meteorologischen Werte, die seit Mitte 2002 an dem Messquerschnitt an der A 61 aufgenommen werden, werden in diesem Bericht nur für das Kalenderjahr 2004 aufgeführt, da die Messungen der  $PM_{10}$ -Komponente an diesem Autobahnquerschnitt erst seit Dezember 2003 erfolgen.

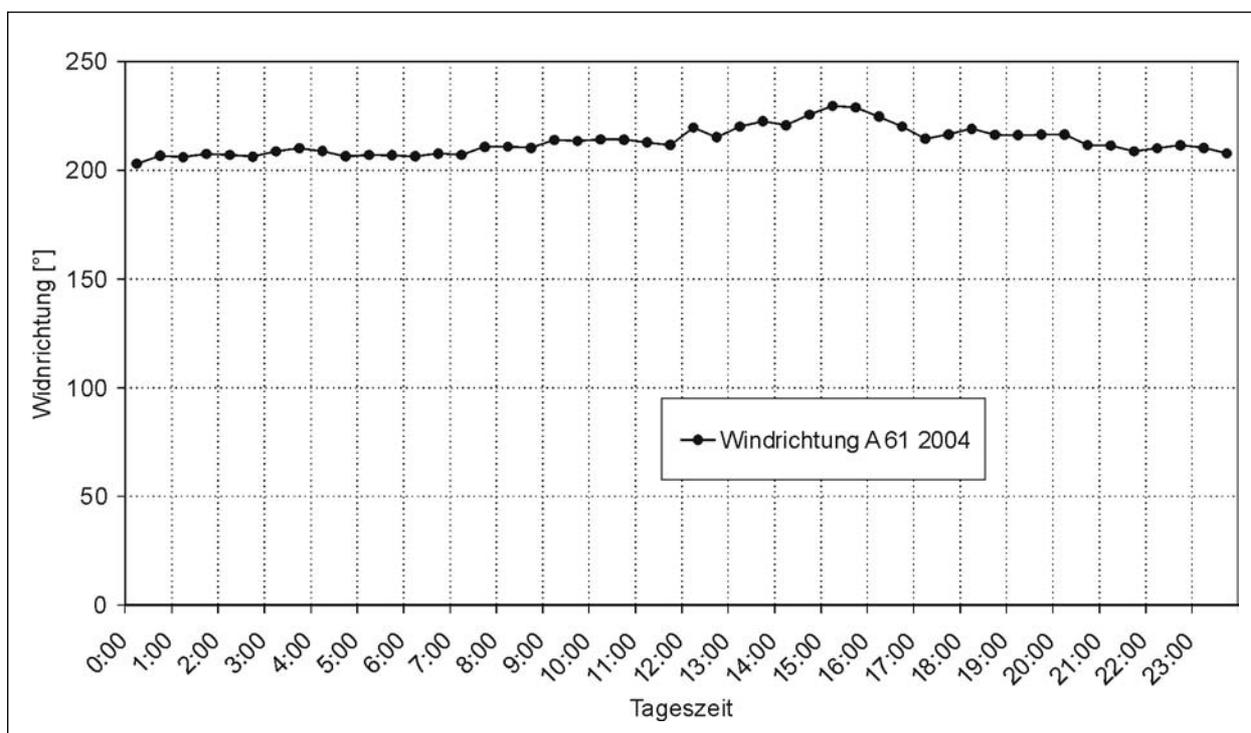
Bei den Tagesganglinien der Windrichtungen an der A 4 ist deutlich zu sehen, dass tendenziell in der Mittagszeit bis in den späten Nachmittag hinein eine Windrichtung um  $200^\circ$  vorherrscht, wohinge-

gen sich diese in den restlichen Tagesstunden zwischen  $150^\circ$  und  $170^\circ$  bewegt (siehe Bild 5.7). Dieses Verhalten deutet auf ein tagesperiodisches lokales Windsystem hin, da die Windrichtung eine der wenigen meteorologischen Größen ist, die im Allgemeinen keinem Tagesgang unterliegen, wie dies an der A 61 zu beobachten ist (siehe Bild 5.8). Dieses entsteht möglicherweise durch unterschiedliche Verdunstungsvorgänge zwischen dem Waldgebiet Königsforst und dem angrenzenden Wohngebiet sowie der Autobahn; hierbei speichert der Wald Feuchtigkeit sehr gut, demgegenüber sich der Asphalt schnell aufheizt, jedoch auch schnell wieder abkühlt. 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 dem Standort an der A 4 macht sich dieses Verhalten in der oben beschriebenen deutlichen Schwankung der Windrichtungen zwischen  $150^\circ$  und  $200^\circ$  bemerkbar.

Bei den Windgeschwindigkeiten beider Messquerschnitte (siehe Bilder 5.9 und 5.10) treten ähnliche Verläufe im Tagesrhythmus auf. An der A 4 liegen die Tagesgänge der Jahre 2001 bis 2003 sehr nah beieinander und weisen zwischen 8:00 Uhr mor-



**Bild 5.7:** Tagesganglinien der Windrichtung an der meteorologischen Messstelle des Messquerschnitts an der A 4 für die Kalenderjahre 2001 bis 2004



**Bild 5.8:** Tagesganglinien der Windrichtung an der meteorologischen Messstelle des Messquerschnitts an der A 61 für das Kalenderjahr 2004

gens und 20:00 Uhr abends eine Zu- und Wiederabnahme zwischen etwa 2 m/sec und 2,8 bis 3 m/sec auf. An der A 61 variieren die Werte der Windgeschwindigkeiten ebenfalls mit deutlich hö-

heren Geschwindigkeiten in den Mittagsstunden zwischen 2,5 und 3,5 m/sec.

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 Durchmischen zwischen bodennahen und höheren Luft-

schichten. 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.

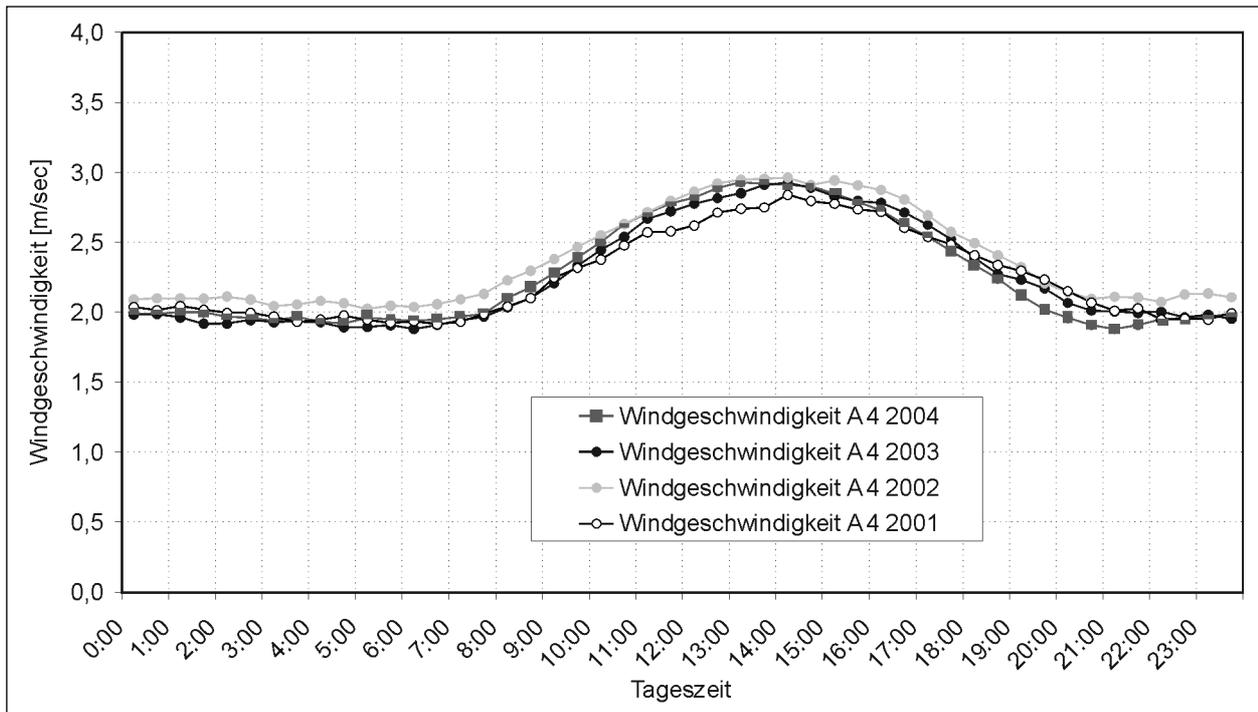


Bild 5.9: Tagesganglinien der Windgeschwindigkeit an der meteorologischen Messstelle der A 4 für die Jahre 2001 bis 2004

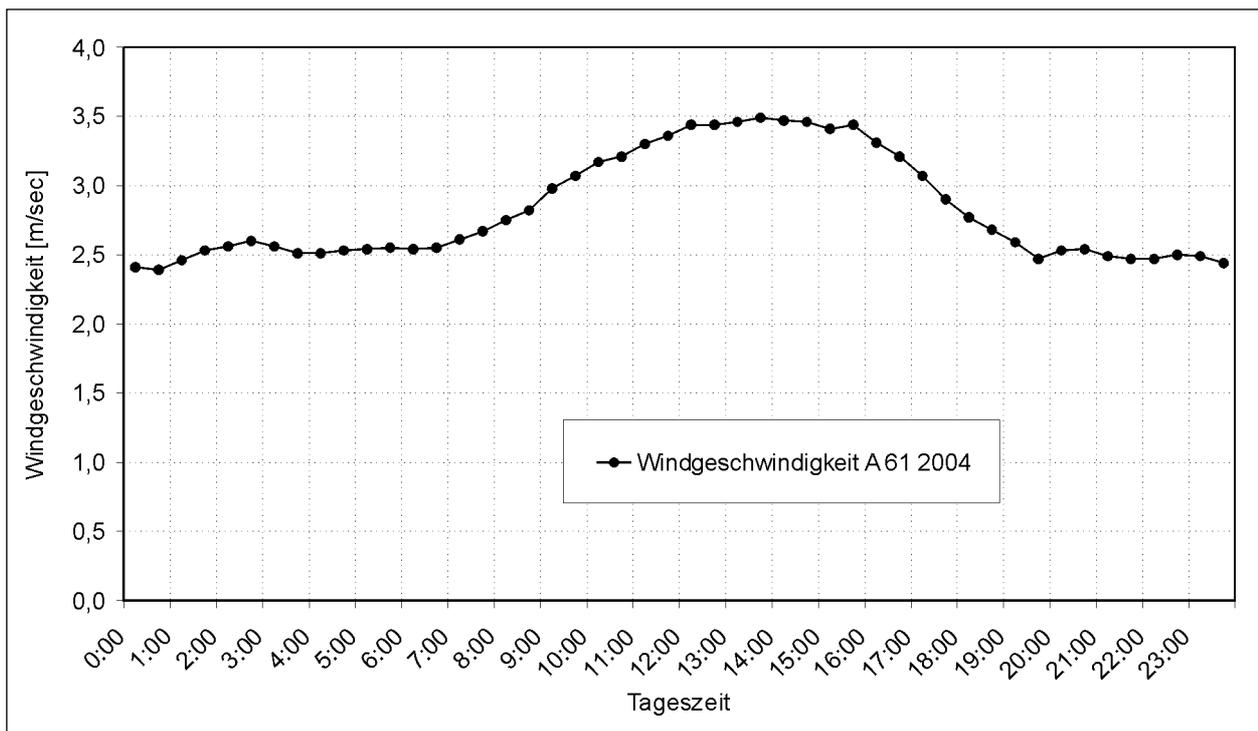
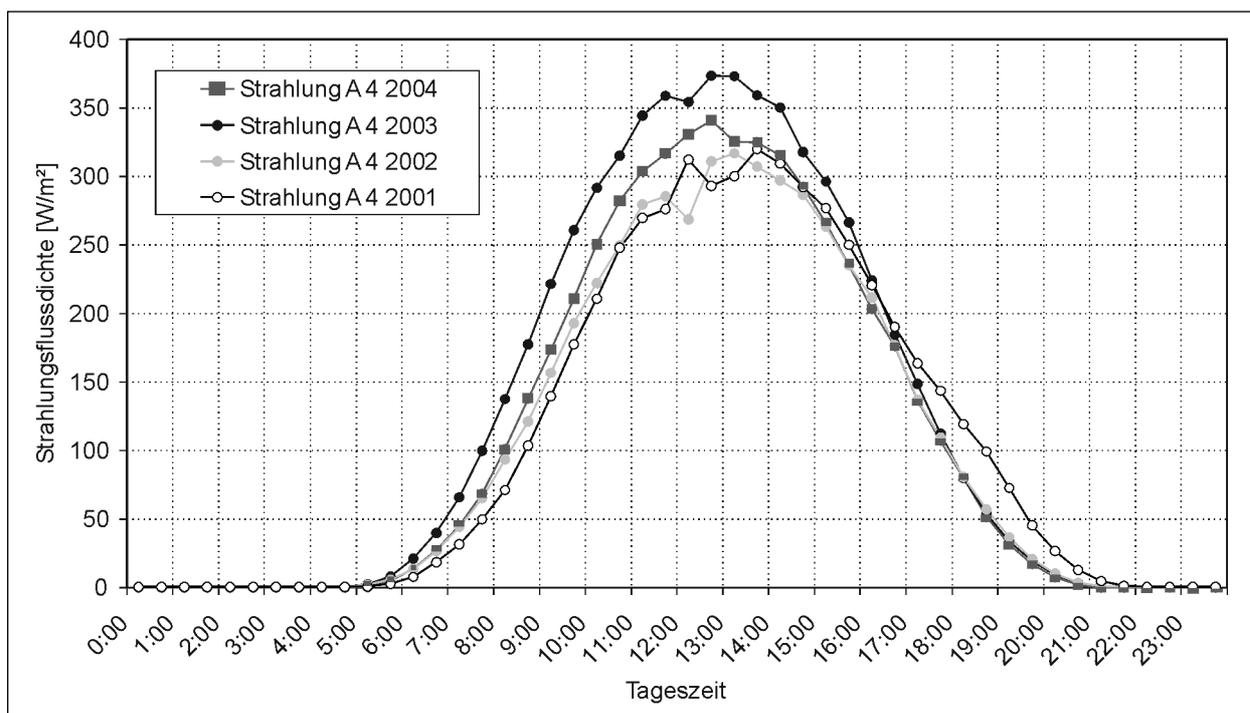


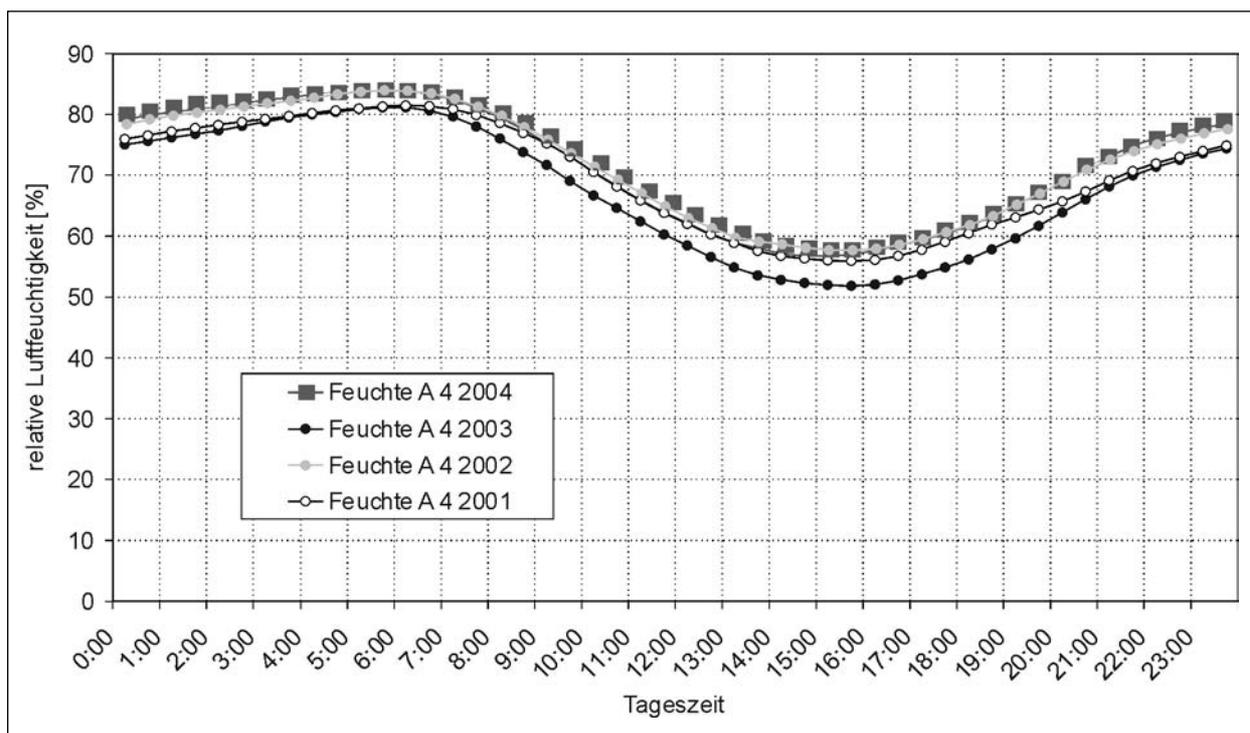
Bild 5.10: Tagesganglinien der Windgeschwindigkeit an der A 61 für das Kalenderjahr 2004

Die Strahlungsflussdichte und die relative Luftfeuchte, die nur am A-4-Messquerschnitt aufgenommen werden, zeigen in der Darstellung ihres Tagesgangs typische Verläufe (siehe Bilder 5.11 und 5.12). Die einzige Auffälligkeit sind die hohen Strahlungswerte und niedrigen Luftfeuchtwerte im

Jahr 2003. Dies hängt mit dem ausgeprägten Sommer in diesem Jahr zusammen. Dessen Einzigartigkeit und insbesondere die damit einhergegangenen Ozonepisoden wurden auch an anderen Messstellen registriert (UBA, 2003).



**Bild 5.11:** Tagesganglinien der Strahlungsflussdichte an der A 4 für die Jahre 2001 bis 2004



**Bild 5.12:** Tagesganglinien der relativen Luftfeuchte an der A 4 für die Jahre 2001 bis 2004

### 5.3 Partikel PM<sub>x</sub>

Am Messquerschnitt an der A 4 wird seit April 2001 die PM<sub>10</sub>-Schadstoffbelastung in einer Entfernung von 13 m zum Fahrbahnrand (siehe Bild 2.2) aufgenommen. Im Dezember 2003 wurde ein zweites, typgleiches Messgerät am Messquerschnitt an der A 61 installiert, das seit dieser Zeit Vergleichswerte über die PM<sub>10</sub>-Belastung an einem Standort liefert, an dem der Schwerverkehrsanteil am Gesamtverkehr 2,35-mal so hoch ist wie der an der A 4 (siehe Tabelle 1.1).

#### 5.3.1 Anforderungen der 22. BImSchV

In Kapitel 1.3 wurden die sich aus der 22. BImSchV ergebenden rechtlichen Anforderungen in Bezug auf Feinstaubbelastungen dargestellt. Seit dem 1. Januar 2005 betragen der Jahresmittelgrenzwert 40 µg/m<sup>3</sup> und der Tagesmittelgrenzwert 50 µg/m<sup>3</sup>,

wobei Letzterer lediglich an 35 Tagen pro Kalenderjahr überschritten werden darf.

Für die beiden Messquerschnitte ergaben sich die in Tabelle 5.1 dargestellten PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte und Überschreitungen des Tagesmittelgrenzwertes.

Die Jahresmittelgrenzwerte wurden an beiden Messquerschnitten in den Kalenderjahren der

Kalenderjahr	Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]		Anzahl Überschreitungen des Tagesmittelgrenzwertes von 50 µg/m <sup>3</sup>	
	A 4	A 61	A 4	A 61
2002	23,5	-	12	-
2003	25,5	-	11	-
2004	24,1	25,4	13	18

**Tab. 5.1:** PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte und Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittelgrenzwertes gemäß 22. BImSchV (BGBl, 2002)

A 4						
	2004		2003		2002	
	Datum	PM <sub>10</sub> -Konz. [µg/m <sup>3</sup> ]	Datum	PM <sub>10</sub> -Konz. [µg/m <sup>3</sup> ]	Datum	PM <sub>10</sub> -Konz. [µg/m <sup>3</sup> ]
Januar	-	-	-	-	-	-
Februar	13.02.	70,24	-	-	-	-
	15.02.	51,93	-	-	-	-
	17.02.	67,29	-	-	-	-
	29.02.	57,57	-	-	-	-
März	03.03.	68,74	<b>20.03.</b>	73,02	-	-
			<b>25.03.</b>	53,44	-	-
			<b>30.03.</b>	50,10	-	-
April	11.04.	59,38	<b>23.04.</b>	52,39	<b>09.04.</b>	58,91
	30.04.	53,47			<b>10.04.</b>	59,74
					<b>11.04.</b>	50,89
					<b>12.04.</b>	54,76
					<b>13.04.</b>	62,94
					23.04.	72,14
				<b>25.04.</b>	71,07	
Mai	11.05.	56,61	-	-	-	-
	12.05.	50,31	-	-	-	-
Juni	09.06.	52,36	-	-	-	-
Juli	-	-	-	-	-	-
August	-	-	<b>09.08.</b>	57,28	<b>27.08.</b>	57,14
			<b>10.08.</b>	50,60	<b>28.08.</b>	72,02
			<b>11.08.</b>	53,92	<b>29.08.</b>	55,76
			<b>12.08.</b>	52,91	<b>30.08.</b>	54,09
			<b>13.08.</b>	55,43		
September	07.09.	53,27	-	-	-	-
Oktober	-	-	-	-	-	-
November	-	-	<b>25.11.</b>	54,45	-	-
			28.11.	53,66		
Dezember	11.12.	66,50	-	-	<b>17.12.</b>	57,55
	13.12.	50,34				

**Tab. 5.2:** Datum und Höhe der Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Tagesmittelgrenzwertes für den Messquerschnitt an der A 4 für die Kalenderjahre 2002-2004

**Fettschrift:** Daten aus den Jahren 2002 und 2003, die mit bundesweiten PM<sub>10</sub>-Epidien korrelieren;

*Kursivschrift:* Daten, an denen auch an dem Messquerschnitt an der A 61 Überschreitungen auftraten

Messwertaufzeichnung eingehalten. Die aufgenommenen Daten lagen sogar weit unter dem Grenzwert der 22. BImSchV. Auch die Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittelgrenzwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lag deutlich unter der einzuhaltenden Höchstmenge von 35. Der höchste Tagesmittelwert betrug  $77 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und überstieg den Grenzwert somit um mehr als 50 %.

In den Tabellen 5.2 und 5.3 sind die Daten der Tage, an denen Überschreitungen des Tagesmittelgrenzwertes stattgefunden haben, an beiden Messquerschnitten aufgeführt. In den Kalenderjahren 2002 und 2003 konnten Übereinstimmungen mit so genannten  $\text{PM}_{10}$ -Episoden, welche vom Umweltbundesamt aufgezeichnet wurden, festgestellt werden.

Für diese  $\text{PM}_{10}$ -Episoden gelten folgende Kriterien (Umweltbundesamt, 2004):

- Mindestens 10 % aller Stationen in Deutschland (für das betreffende Jahr) zeigen  $\text{PM}_{10}$ -Tagesmittelwerte über  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
- wenigstens zwei aufeinander folgende Tage erfüllen vorgenanntes Kriterium,

- ist ein Tag, an dem weniger als 10 % der Stationen Werte  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aufweisen, in einer Abfolge mehrerer Tage eingeschlossen, die dieses erste Kriterium erfüllen, so wird diese Abfolge von Tagen trotzdem als eine Episode betrachtet.

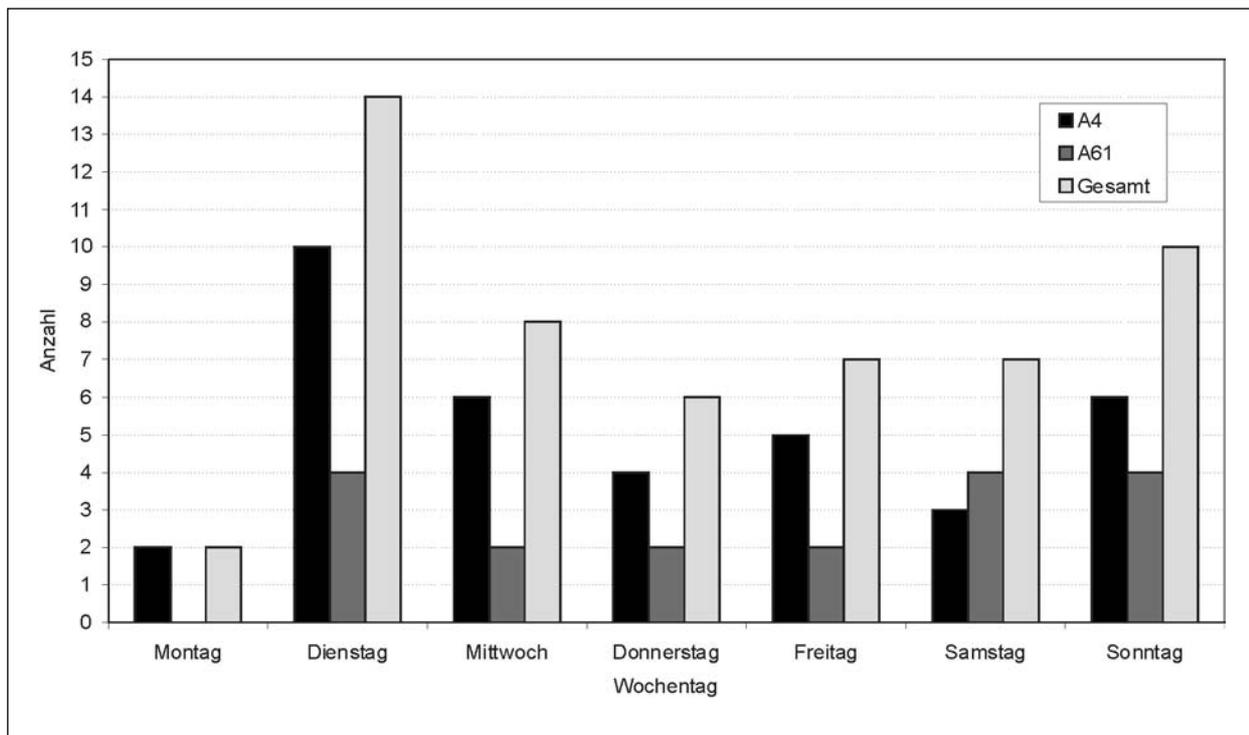
Diese Episoden entstehen bei windschwachen Hochdruckwetterlagen insbesondere im Winter, die meistens mit einer Temperaturinversion einhergehen. Dabei ist die Luft in höheren Schichten der Troposphäre wärmer als in niedrigeren entgegen der normalen Schichtung und da die Kaltluft schwerer als die Warmluft ist, wird der Austausch zwischen diesen Luftschichten eingeschränkt. Eine Temperaturinversion wirkt also als Sperrschicht, die den vertikalen Luftmassenaustausch verhindert. Dadurch sammeln sich unterhalb der Grenzschicht durch Ferntransporte herangeführte Schadstoffe an. Während solcher Episoden treten somit oft hohe Tagesmittelwerte auf, die stark von den meteorologischen Bedingungen abhängen. Hinzu kommen in den Wintermonaten ein verstärkter Energie- und Heizaufwand und damit zusammenhängend vermehrte Emissionen von Feinstaubpartikeln. Auch während sommerlicher Hoch-

A 61						
	2004		2003		2002	
	Datum	$\text{PM}_{10}$ -Konz. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Datum	$\text{PM}_{10}$ -Konz. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Datum	$\text{PM}_{10}$ -Konz. [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Januar	01.01.	56,70	-	-	-	-
Februar	13.02.	51,83	-	-	-	-
	17.02.	77,17				
	22.02.	56,41				
März	03.03.	50,20	-	-	-	-
	18.03.	55,75				
April	11.04.	57,53	-	-	-	-
Mai	11.05.	50,38	-	-	-	-
Juni	03.06.	52,44	-	-	-	-
	29.06.	54,08				
Juli	13.07.	58,60	-	-	-	-
	14.07.	53,21				
	31.07.	51,12				
August	06.08.	55,63	-	-	-	-
	07.08.	56,92				
September	04.09.	51,04	-	-	-	-
Oktober	-	-	-	-	-	-
November	-	-	-	-	-	-
Dezember	11.12	54,74	-	-	-	-
	12.12	51,53				

**Tab. 5.3:** Datum und Höhe der Überschreitungen des  $\text{PM}_{10}$ -Tagesmittelgrenzwertes für den Messquerschnitt an der A 61 für das Kalenderjahr 2004. In den Jahren 2002 und 2003 wurden an diesem Messquerschnitt keine  $\text{PM}_{10}$ -Daten aufgenommen  
*Kursivschrift:* Daten, an denen auch an dem Messquerschnitt an der A 4 Überschreitungen auftraten

Wochentag	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Anzahl Tage mit Überschreitungen	2	14	8 (9)	6 (7)	7	7	10 (8)

**Tab. 5.4:** Anzahl der jeweiligen Wochentage, an denen der PM<sub>10</sub>-Tagesmittelgrenzwert an beiden Messquerschnitten überschritten wurde (A 4: 2002–2004; A 61: 2004). Feiertage und Tage vor langem Wochenende mit Brückentag wurden als Sonntag gewertet (in Klammern ist die Anzahl ohne diese Einteilung aufgeführt)



**Bild 5.13:** Wochentagabhängige Überschreitungshäufigkeiten des PM<sub>10</sub>-Tagesmittelgrenzwertes an den beiden Messquerschnitten an der A 4 und der A 61

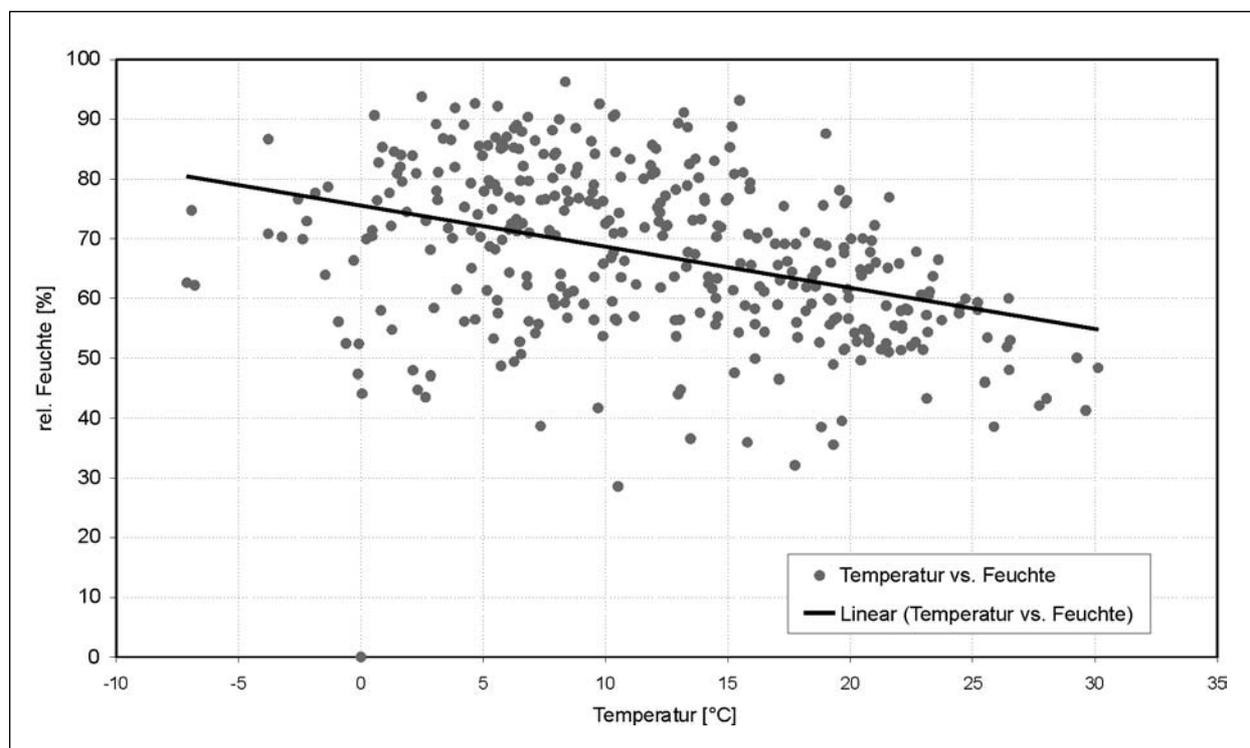
drucklagen kann der Luftaustausch zwischen der unteren und den darüber liegenden Atmosphärenschichten reduziert sein und somit ideale Bedingungen für eine Anreicherung der PM<sub>10</sub> herrschen. Jedoch fallen diese Episoden weniger stark aus als im Winter.

Bei diesen bundesweiten episodenhaften Überschreitungen des Tagesmittelgrenzwertes treten regionale Unterschiede insbesondere in Bezug auf die Dauer der Episoden auf. Wichtige Einflussfaktoren hierbei sind die unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen. Die Länge von PM<sub>10</sub>-Episoden scheint z. B. stark mit der Temperatur zusammenzuhängen. Je kälter es ist und je länger eine Kälteperiode anhält, desto länger halten die erhöhten PM<sub>10</sub>-Belastungen an. Des Weiteren haben die unterschiedliche Dauer des Herantransportes und die unterschiedliche Verweildauer von Luftmassen mit gleichen thermischen Eigenschaften einen Einfluss auf die Schadstoffbelastung (Umweltbundesamt, 2004).

An den beiden Messquerschnitten an der A 4 und der A 61 treten Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Tagesmittelgrenzwertes über das ganze Jahr verteilt auf und beschränken sich nicht auf die winterliche Heiz- oder die hochsommerlichen Wetterperioden. Dies kann daran liegen, dass es sich jeweils um Messstellen an hochfrequentierten Autobahnen handelt, an denen der Verkehr den größten Beitrag zu den Feinstaubimmissionen leistet. Dadurch werden Änderungen in der Hintergrundbelastung zumindest teilweise überdeckt.

Die Zeiträume, in denen Korrelationen zwischen den erhöhten Schadstoffbelastungen an den beiden Messquerschnitten der BAST und denen vom Umweltbundesamt ausgewerteten PM<sub>10</sub>-Episoden vorliegen, sind in Tabelle 5.2 fett hervorgehoben. Es konnten bis auf zwei Tage alle registrierten Überschreitungen mit PM<sub>10</sub>-Episoden in Verbindung gebracht werden.

Für das Kalenderjahr 2004 lagen noch keine bundesweiten Auswertungen von episodenhaften



**Bild 5.14:** Zusammenhang zwischen Temperatur und relativer Feuchte für den Messquerschnitt an der A 4 für die Tagesmittelwerte des Jahres 2003

PM<sub>10</sub>-Belastungen vor. Es ist aber im Vergleich der beiden Messquerschnitte an der A 4 und der A 61 zu sehen, dass auch hier mehrere Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Tagesmittelgrenzwertes an beiden Standorten gemessen wurden (in den Tabellen 5.2 und 5.3 kursiv dargestellt). Es ist deshalb zu vermuten, dass auch für diese Zeitabschnitte von anderen Messstationen PM<sub>10</sub>-Episoden gemeldet werden.

Betrachtet man die Wochentage, an denen eine Überschreitung des PM<sub>10</sub>-Tagesmittelgrenzwertes verzeichnet wurde (siehe Tabelle 5.4), so fällt auf, dass diese im Vergleich zu den anderen Tagen vermehrt an einem Dienstag oder einem Sonntag auftraten. Deutlich wird dies insbesondere in Bild 5.13, in dem die beschriebenen Zusammenhänge grafisch dargestellt wurden. Inwieweit auf dieses Verhalten die Nutzung der Autobahnen durch unterschiedlich zusammengesetzten Verkehr (Ausflugverkehr am Wochenende, SV-Fahrverbot am Wochenende) einen Einfluss nimmt, ist nicht geklärt, zumal die im bisherigen Zeitraum der Messdatenaufnahme registrierten Überschreitungshäufigkeiten keine statistisch fundierte Aussage zulassen. Hierzu müssen weitere Beobachtungen des wochentagabhängigen Verhaltens der Überschreitungshäufigkeiten der PM<sub>10</sub>-Tagesmittelgrenzwerte erfolgen.

### 5.3.2 Einfluss Meteorologie

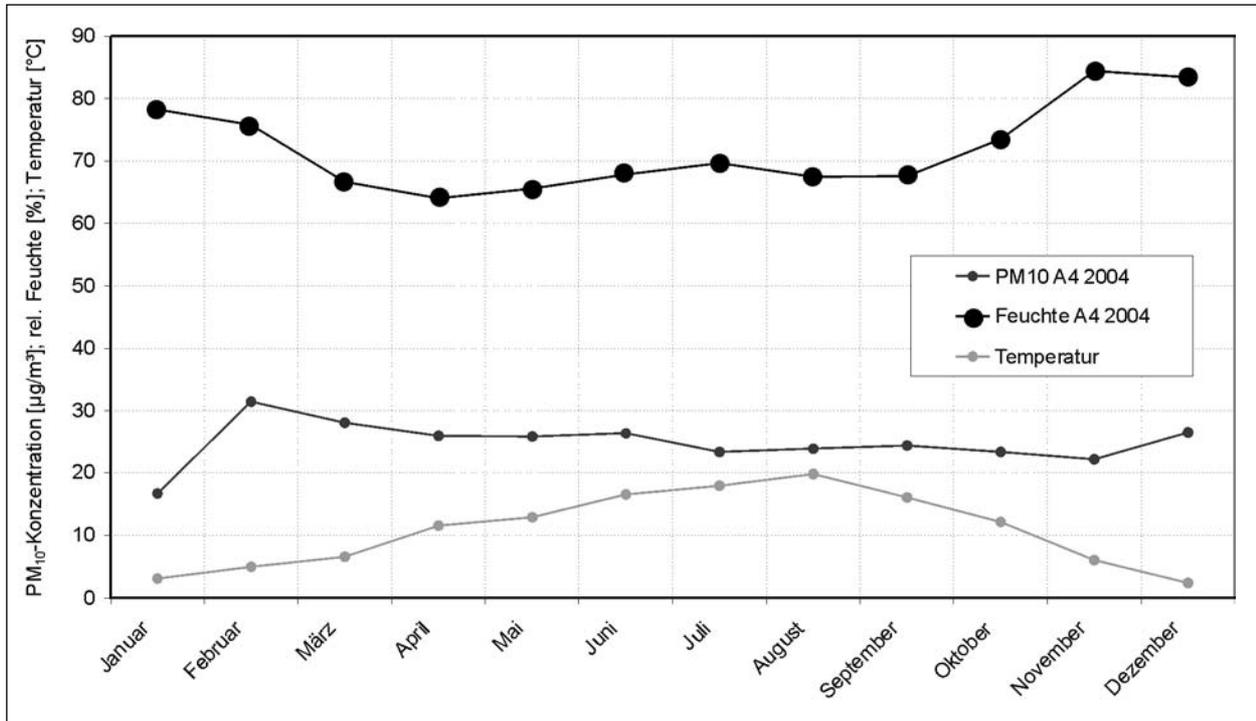
Für eine Untersuchung des Einflusses von meteorologischen Parametern auf die Feinstaubkonzentrationen wurden die Monatsmittelwerte der PM<sub>10</sub>-Immissionskonzentrationen und der meteorologischen Parameter Feuchte und Temperatur dargestellt für die Jahre 2001 bis 2004, in der die Messwertaufnahme am Messquerschnitt an der A 4 durchgeführt wurde (siehe Bilder 5.15, 5.17, 5.19 und 5.21). Im Jahr 2001 begann die Messwertaufnahme erst im Mai, daher sind hier die Daten für die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen erst ab diesem Zeitpunkt aufgeführt.

Die Korrelation zwischen Feinstaubbelastung und Feuchte tritt in fast allen Jahren deutlich hervor. Insbesondere im Kalenderjahr 2003 kann bei beiden Parametern ein gegenläufiges Verhalten beobachtet werden: je höher die Feuchte, desto niedriger die PM<sub>10</sub>-Belastung. Inwieweit ein Einfluss der relativen Feuchte auch auf einen den Schadstoff erniedrigenden Einfluss durch Niederschlag hinweist, kann nur geklärt werden, wenn dieser Parameter ebenfalls kontinuierlich aufgenommen wird.

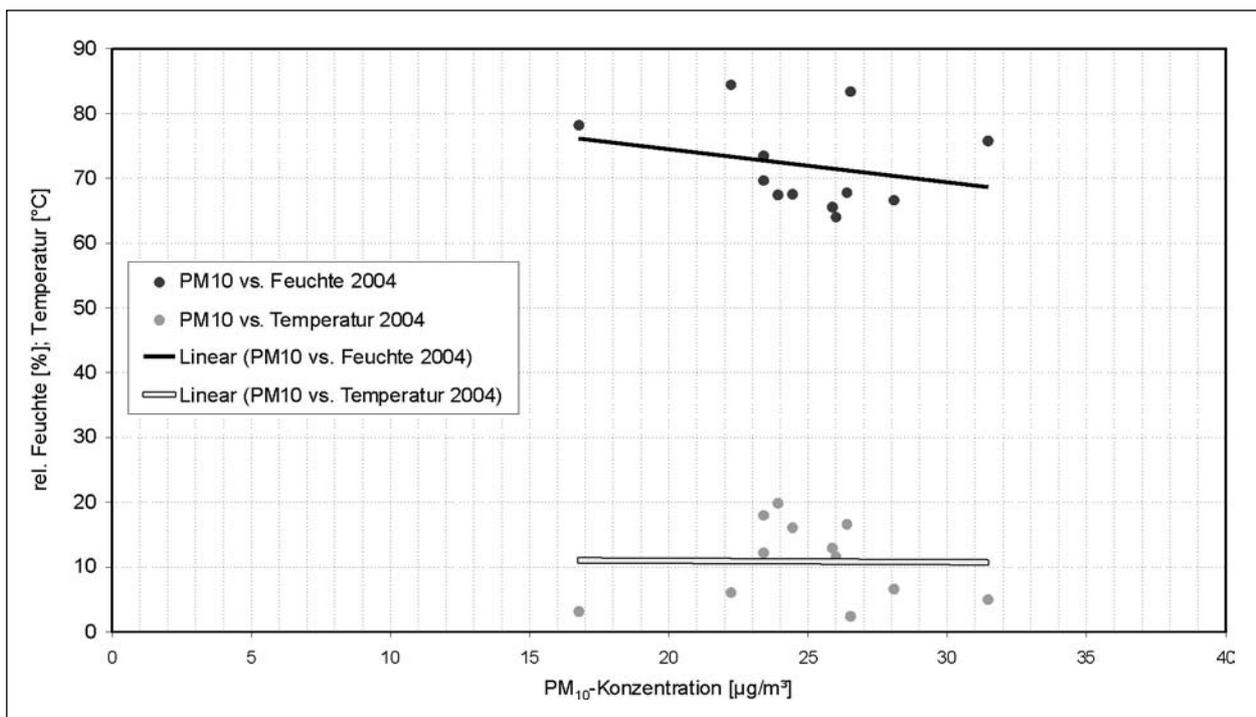
Allgemein findet ein Substanzaustrag aus der Atmosphäre durch so genannte nasse Deposition statt. Hierbei lagern sich gasförmige Spurenstoffe

und Partikel an Hydrometeoren (Niederschlag, wie z. B. Regen oder Schnee) an, fallen mit ihnen infolge der Gravitation zur Erdoberfläche und werden dort abgelagert. Dieser Prozess wird sub-cloud scavenging genannt (MÖLLER, 2003).

Literaturauswertungen von früheren Untersuchungen (z. B. Lufthygieneamt beider Basel, 1999) in Bezug auf die Einwirkung von Niederschlag auf Feinstaubbelastung zeigte, dass  $PM_{10}$ -Konzentrationen sehr viel stärker von Transport und Mi-



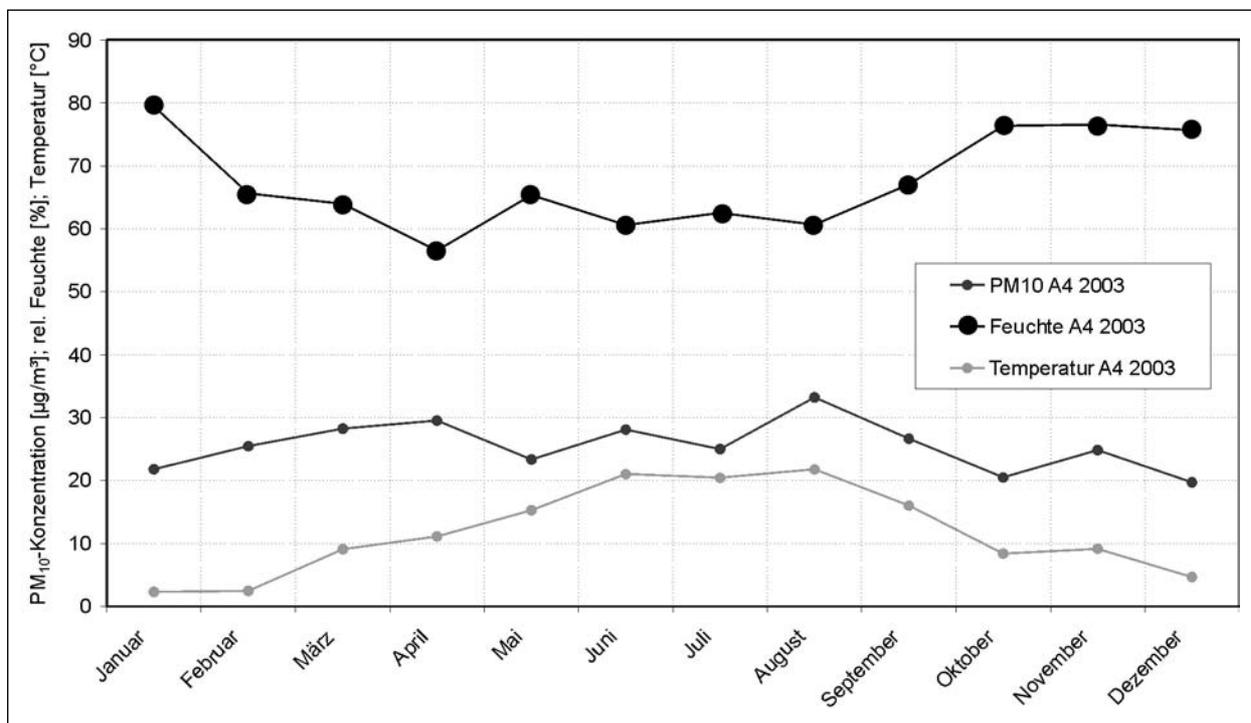
**Bild 5.15:** Monatsmittelwerte der  $PM_{10}$ -Konzentration und meteorologischen Parameter am Messquerschnitt an der A 4 für das Jahr 2004



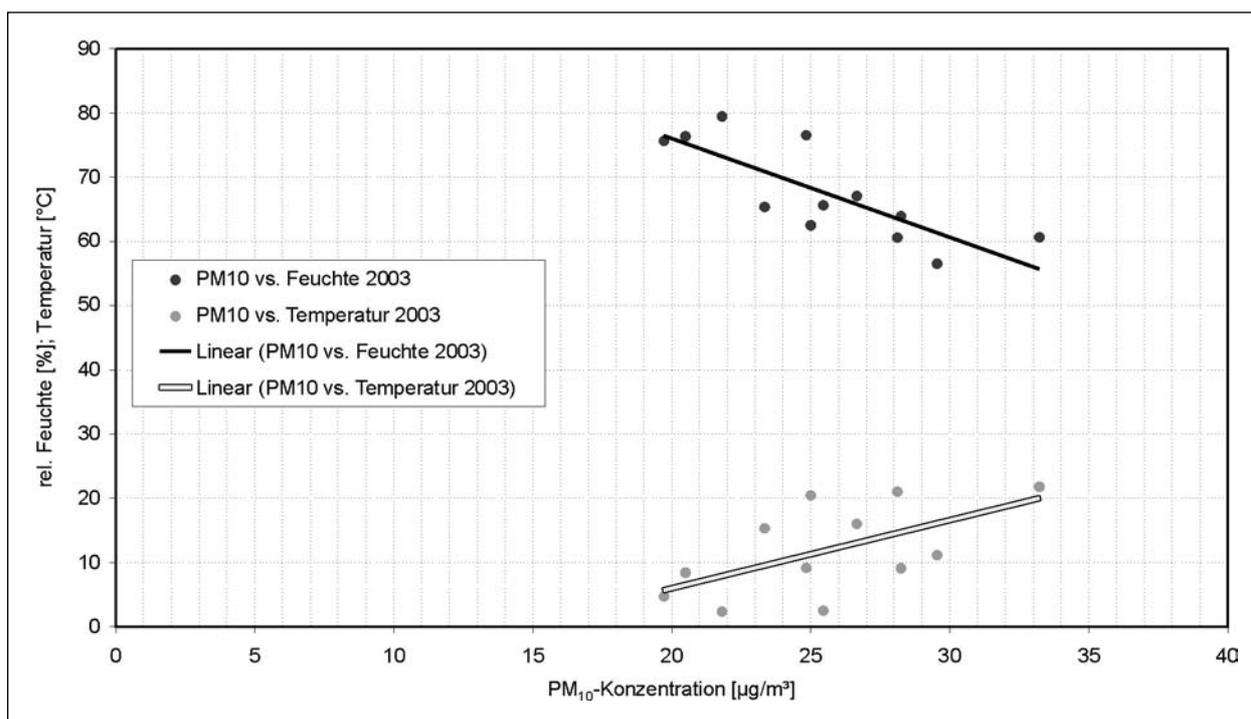
**Bild 5.16:** Zusammenhang  $PM_{10}$ -Konzentration und relative Feuchte sowie Temperatur mit Trendlinien für den Messquerschnitt an der A 4 für die Monatsmittelwerte des Jahres 2004

schungsvorgängen beeinflusst werden als durch meteorologische Phänomene wie Niederschlag und relative Feuchte. Dadurch können bei Niederschlag die Feinstaubbelastungen an Straßen auch ansteigen, obwohl ein Absinken der Immissions-

konzentration durch nasse Ausscheidung erwartet werden würde. Studien, in denen verstärkte Straßenreinigung durch das Bewässern der Straße ergänzt wurde, zeigten kein oder nur ein geringes Minderungspotenzial in Bezug auf die  $PM_{10}$ -Belas-



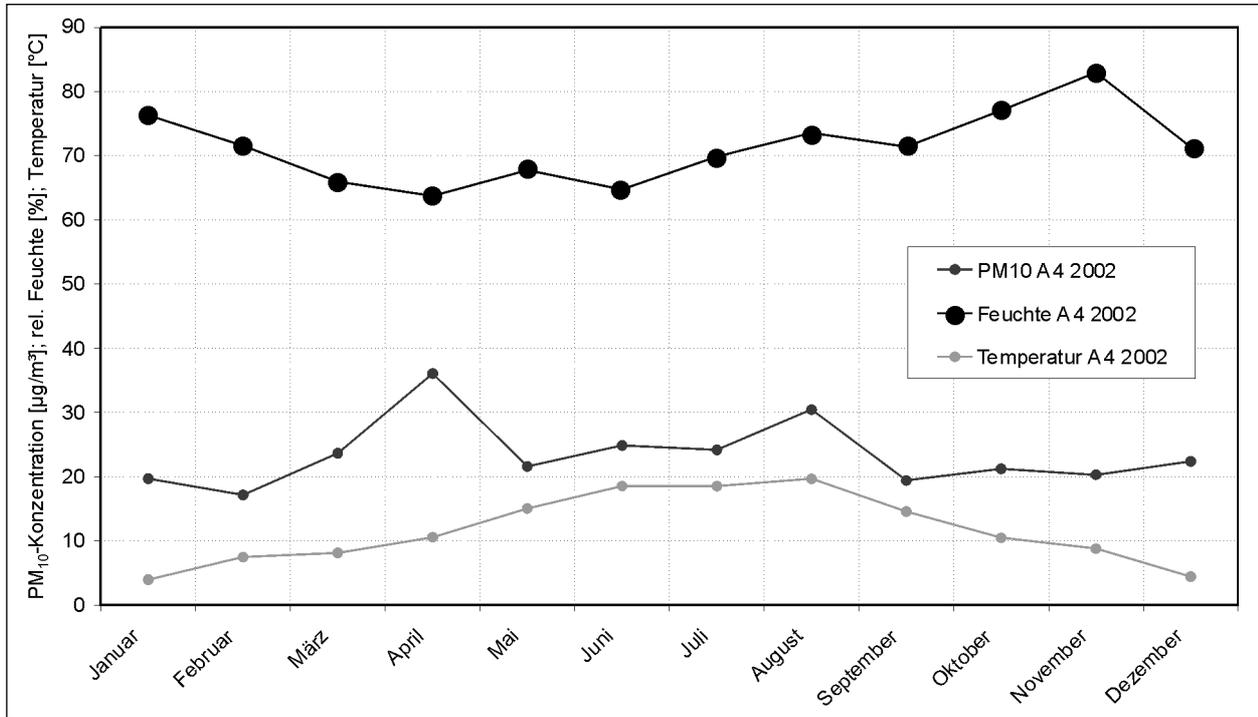
**Bild 5.17:** Monatsmittelwerte der  $PM_{10}$ -Konzentration und meteorologischen Parameter am Messquerschnitt an der A 4 für das Jahr 2003



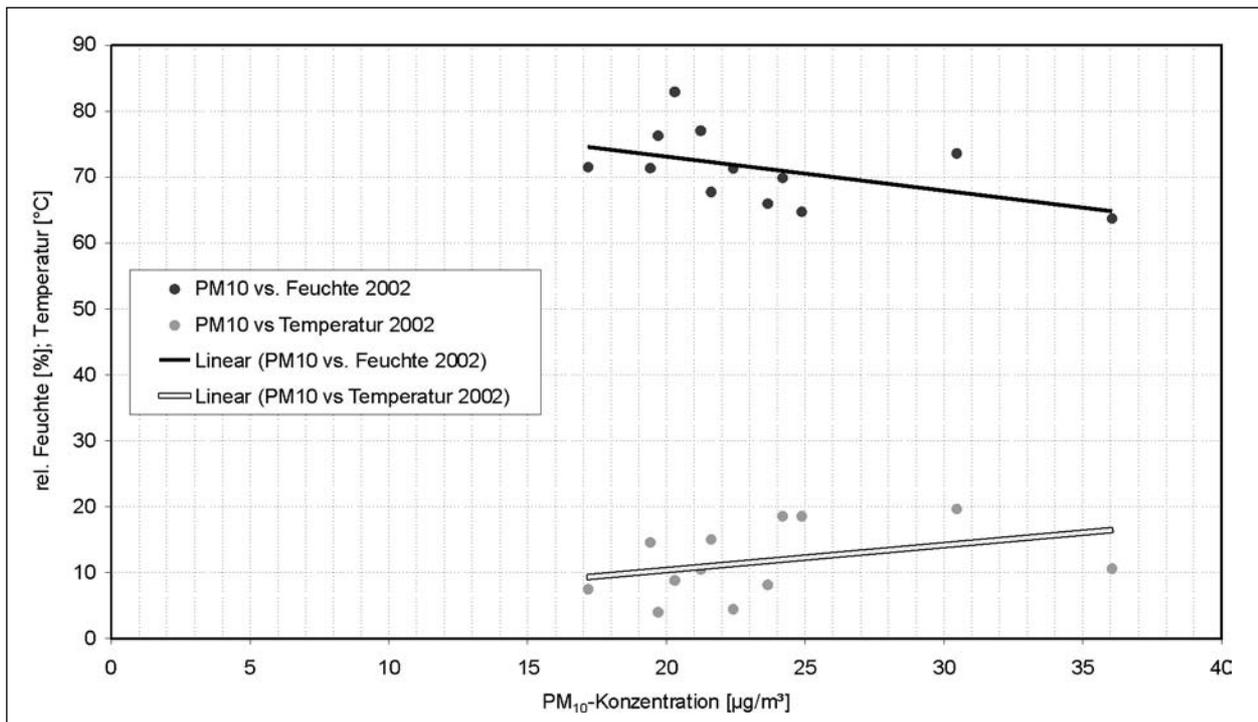
**Bild 5.18:** Zusammenhang  $PM_{10}$ -Konzentration und relative Feuchte sowie Temperatur mit Trendlinien für den Messquerschnitt an der A 4 für die Monatsmittelwerte des Jahres 2003

tungen (LUTZ, 2004). Dem gegenüber stehen Forschungsberichte, in denen ein starker Zusammenhang zwischen Niederschlag und  $PM_{10}$ -Konzentration aufgezeigt werden konnte (z. B. Fraunhofer Institut, 2004).

Auch die Temperatur nimmt an den betrachteten Messquerschnitten teilweise einen Einfluss auf die Schadstoffbelastung; dies tritt vor allem in den Jahren 2003 und 2001 jeweils in den Monaten August bis Dezember hervor. Dieser Zusammenhang



**Bild 5.19:** Monatsmittelwerte der  $PM_{10}$ -Konzentration und meteorologischen Parameter am Messquerschnitt an der A 4 für das Jahr 2002

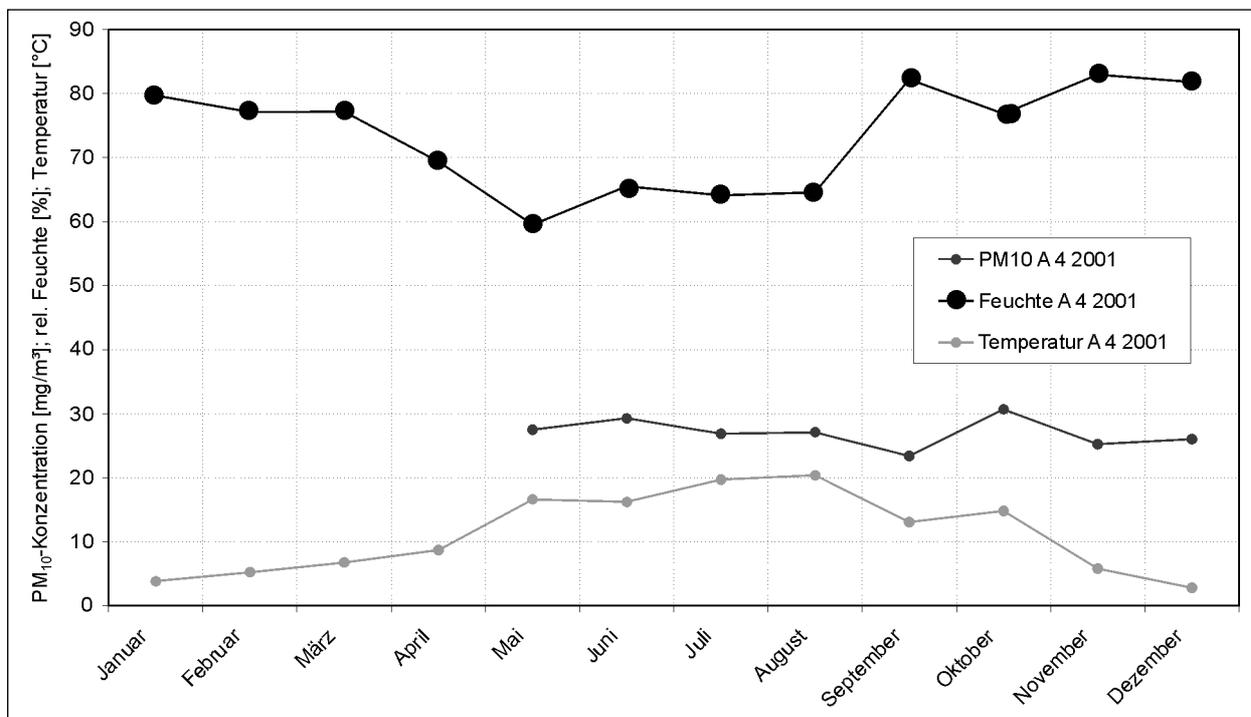


**Bild 5.20:** Zusammenhang  $PM_{10}$ -Konzentration und relative Feuchte sowie Temperatur mit Trendlinien für den Messquerschnitt an der A 4 für die Monatsmittelwerte des Jahres 2002

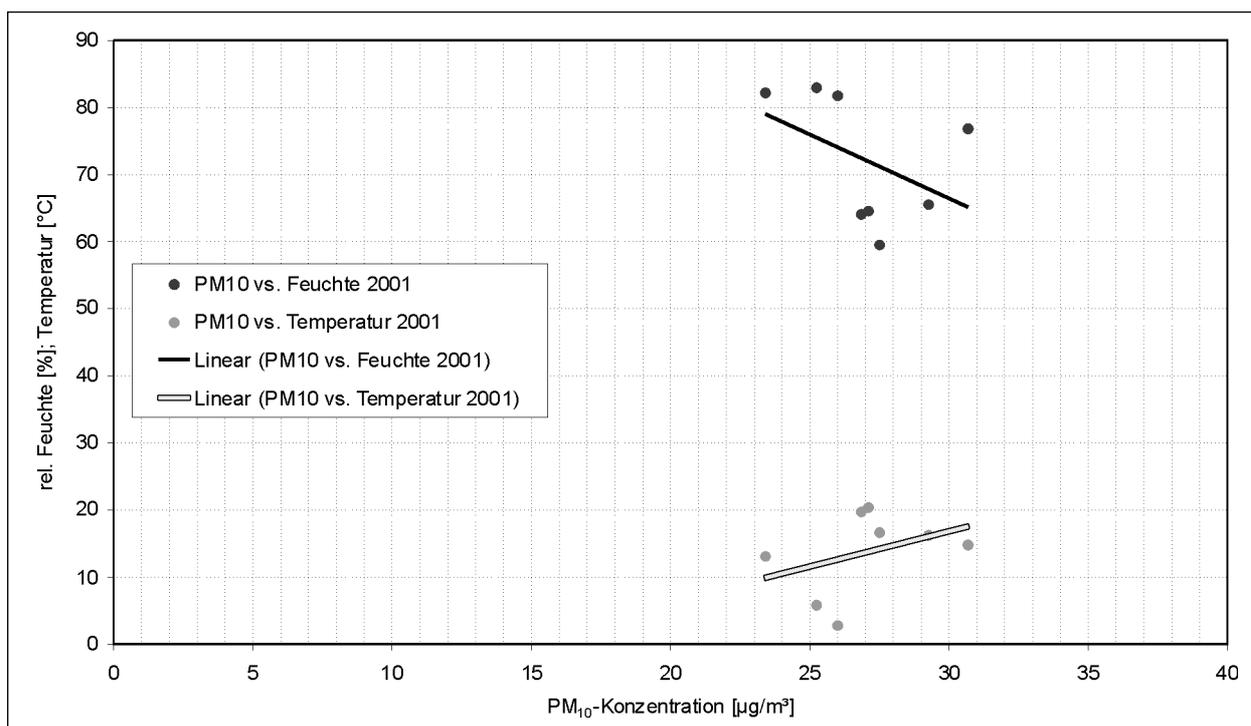
ist in der Korrelation von Temperatur und Feuchte begründet, wie sie beispielhaft in Bild 5.14 für das Kalenderjahr 2003 für den Messquerschnitt an der BAB A 4 dargestellt ist. Es tritt ein deutlicher Trend

geringerer Feuchtwerte bei höheren Temperaturen hervor.

In den Bildern 5.16, 5.18, 5.20 und 5.22 ist für jedes der betrachteten Kalenderjahre der Zusam-



**Bild 5.21:** Monatsmittelwerte der PM<sub>10</sub>-Konzentration und meteorologischen Parameter am Messquerschnitt an der A 4 für das Jahr 2001



**Bild 5.22:** Zusammenhang PM<sub>10</sub>-Konzentration und relative Feuchte sowie Temperatur mit Trendlinien für den Messquerschnitt an der A 4 für die Monatsmittelwerte des Jahres 2001

menhang zwischen der  $PM_{10}$ -Belastung und den jeweiligen Feuchte- und Temperaturwerten dargestellt. In allen vier Jahren kann beobachtet werden, dass die Feinstaubimmissionen mit sinkender Feuchte und steigender Temperatur zunimmt. Je nach Jahr trat dieser Zusammenhang mehr oder weniger deutlich hervor. Insbesondere im Jahr 2003, in dem die meteorologischen Verhältnisse durch sehr hohe Temperaturen und niedrige Feuchte geprägt waren, zeigen die Trendlinien starke Steigungen (siehe Bild 5.18).

Wie stark sich ein Auswaschungseffekt des Feinstaubes aus der Luft darstellen kann, zeigt sich allerdings nur, wenn man auch die Niederschlagsmenge in einer auswertenden Betrachtung des Verhaltens der Partikel kleiner  $10\ \mu\text{m}$  betrachtet. Da bisher an beiden Messquerschnitten keine Niederschlagsdaten aufgenommen werden, konnten solche Auswertungen nicht durchgeführt werden. Ein Niederschlagsmessgerät für den Messquerschnitt an der A 4 wird momentan in die Datenerfassung eingebunden und soll für später folgende Projekte die hierfür notwendigen Daten liefern.

### 5.3.3 Einfluss Schulferien

Bei den  $PM_{10}$ -Monatsmittelwerten der Messstelle an der A 4 in Bild 5.23 fiel in den Jahren 2002 und 2003 auf, dass in den Ferienmonaten April und August höhere  $PM_{10}$ -Konzentrationen auftraten als in den jeweils verbleibenden Kalendermonaten. Dies deutete darauf hin, dass durch Veränderungen verkehrlicher Parameter in den Wochen der Schulferien Auswirkungen in den Feinstaubimmissionen zu verzeichnen waren. Als Einflussfaktoren kommen hierbei insbesondere die Verkehrsmengen und die durchschnittlichen Fahrzeuggeschwindigkeiten in Frage.

Zeitraum	mittlere Verkehrsstärken	
	Gesamtverkehr	Schwerverkehr
13. – 27.04.2003 (innerhalb der Ferien)	2.946	263
01. – 12.04.2003 (außerhalb der Ferien)	3.166	321
03. – 18.04.2004 (innerhalb der Ferien)	2.906	251
19. – 30.04.2004 (außerhalb der Ferien)	3.312	347

Tab. 5.5: Mittlere Verkehrsstärken am Messquerschnitt an der A 4 während der Osterferien und außerhalb der Ferienzeit jeweils im April 2003 und 2004

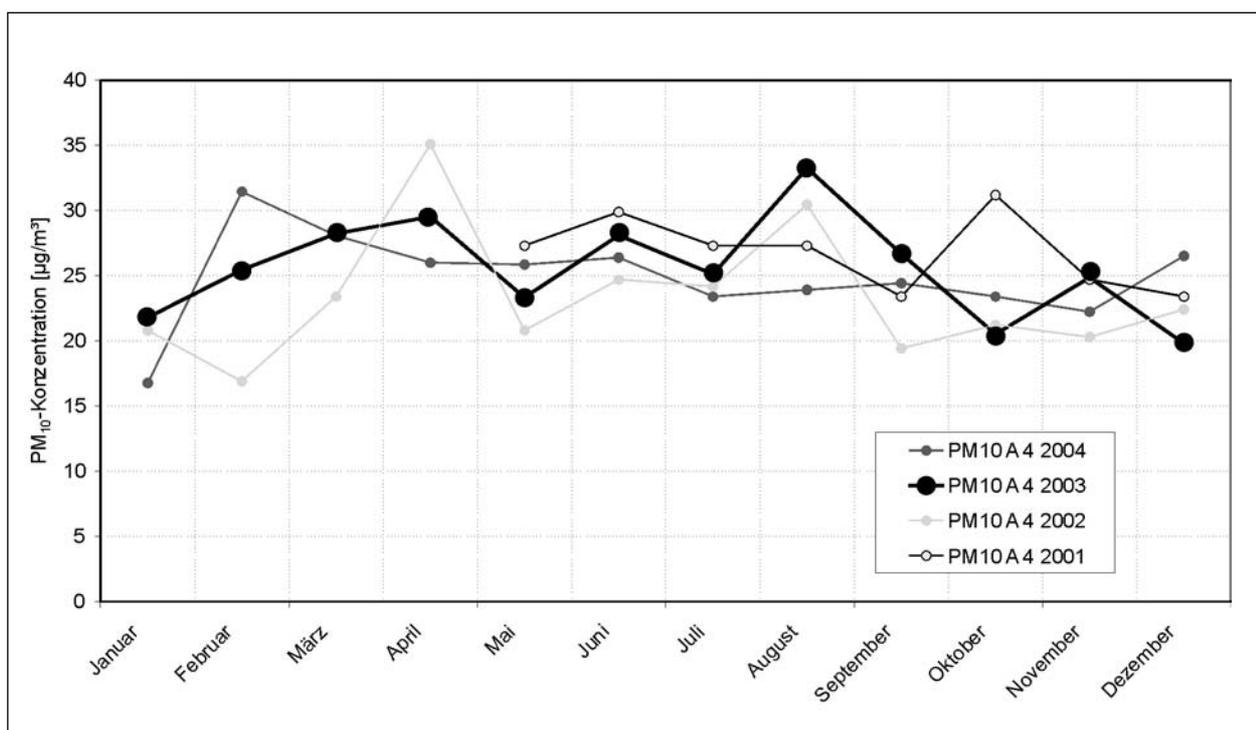


Bild 5.23: Monatsmittelwerte der  $PM_{10}$ -Konzentrationen am Messquerschnitt an der A 4 in den Jahren 2001 bis 2004

In den Bildern 5.25 und 5.26 werden diesbezüglich die täglichen Gesamtverkehrsstärken und die zugehörigen  $PM_{10}$ -Immissionskonzentrationen am Messquerschnitt an der A 4 für den gesamten April 2003 dargestellt. In den Bildern 5.27 bis 5.29 werden für den Monat April des Jahres 2004 die täglichen Gesamtverkehrsmengen und die mittleren Fahrzeuggeschwindigkeiten den  $PM_{10}$ -Konzentrationen gegenübergestellt. Für das Jahr 2003 lagen keine Geschwindigkeitsdaten vor, sodass diese lediglich für 2004 in die Untersuchungen mit einbezogen werden konnten.

In den Bildern 5.25 und 5.27 ist zu sehen, dass die täglichen Verkehrsstärken in den jeweiligen zwei Wochen der Osterferien im Vergleich zur Verkehrsbelastung vor und nach der Ferienzeit zurückge-

Zeitraum	mittlere Fahrzeuggeschwindigkeiten	
	linker Fahrstreifen	rechter Fahrstreifen
03. – 18.04.2004 (innerhalb der Ferien)	130,1 km/h	109,1 km/h
19. – 30.04.2004 (außerhalb der Ferien)	123,2 km/h	104,0 km/h

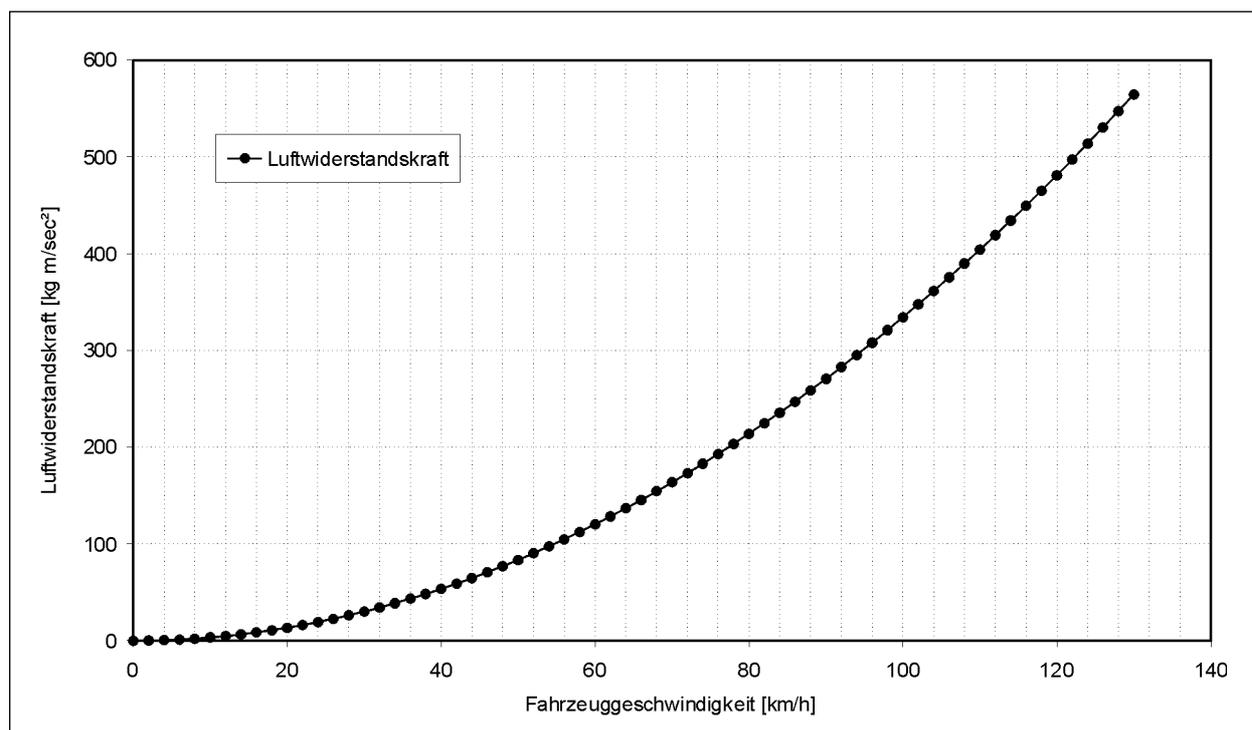
**Tab. 5.6:** Mittlere Fahrzeuggeschwindigkeiten am Messquerschnitt an der A 4 in Fahrtrichtung W während der Osterferien und außerhalb der Ferienzeit im April 2004 (für das Jahr 2003 lagen keine Geschwindigkeitsdaten vor)

hen. Insgesamt liegt im Jahr 2003 ein Rückgang von 7,4 % und im Jahr 2004 von 14 % vor (siehe Tabelle 5.5). Dieser zeigt sich sowohl am Wochenende als auch in der Woche. Ein solcher Rückgang des täglichen Verkehrs kann eine Verbesserung des Verkehrsflusses mit höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten der Verkehrsteilnehmer bewirken. Dies hat wiederum höhere Schadstoffemissionen zur Folge.

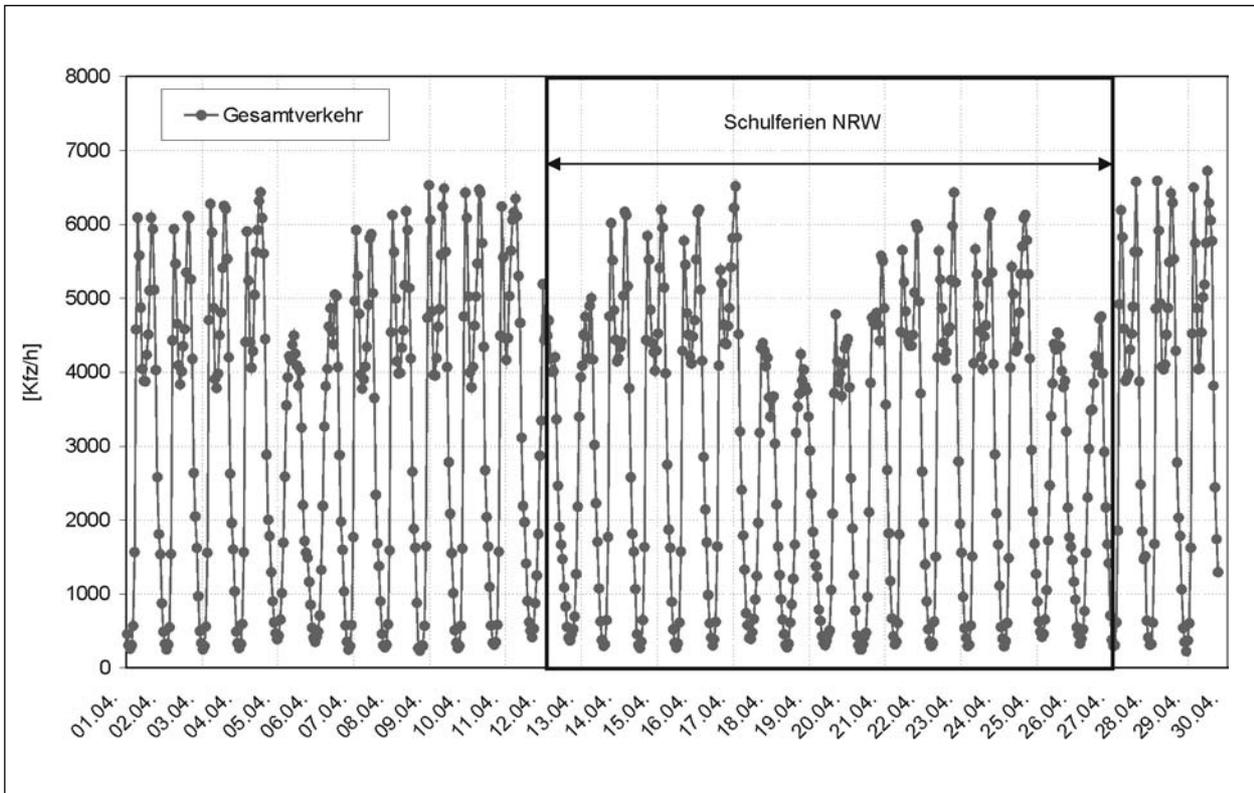
In Bild 5.28 sind die mittleren Fahrzeuggeschwindigkeiten für den Monat April 2004 dargestellt. Man sieht hier deutlich, dass das sich sonst sehr gleichmäßig wiederholende Geschwindigkeitsmuster in den Ferienwochen einen leicht anderen Verlauf aufweist mit höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten als außerhalb der Ferien. Es konnte eine Erhöhung von 4,9 % (rechter Fahrstreifen) bzw. 5,6 % (linker Fahrstreifen) festgestellt werden (siehe Tabelle 5.6). Die mittleren Geschwindigkeiten wurden aus den über 24 Stunden aufgenommenen Geschwindigkeiten der Einzelfahrzeuge errechnet.

Mit zunehmender Geschwindigkeit wächst der Luftwiderstand (beispielhaft für ein Fahrzeug mit  $c_w = 0,35$  und  $A = 1,85 \text{ m}^2$  in Bild 5.24 dargestellt) gemäß

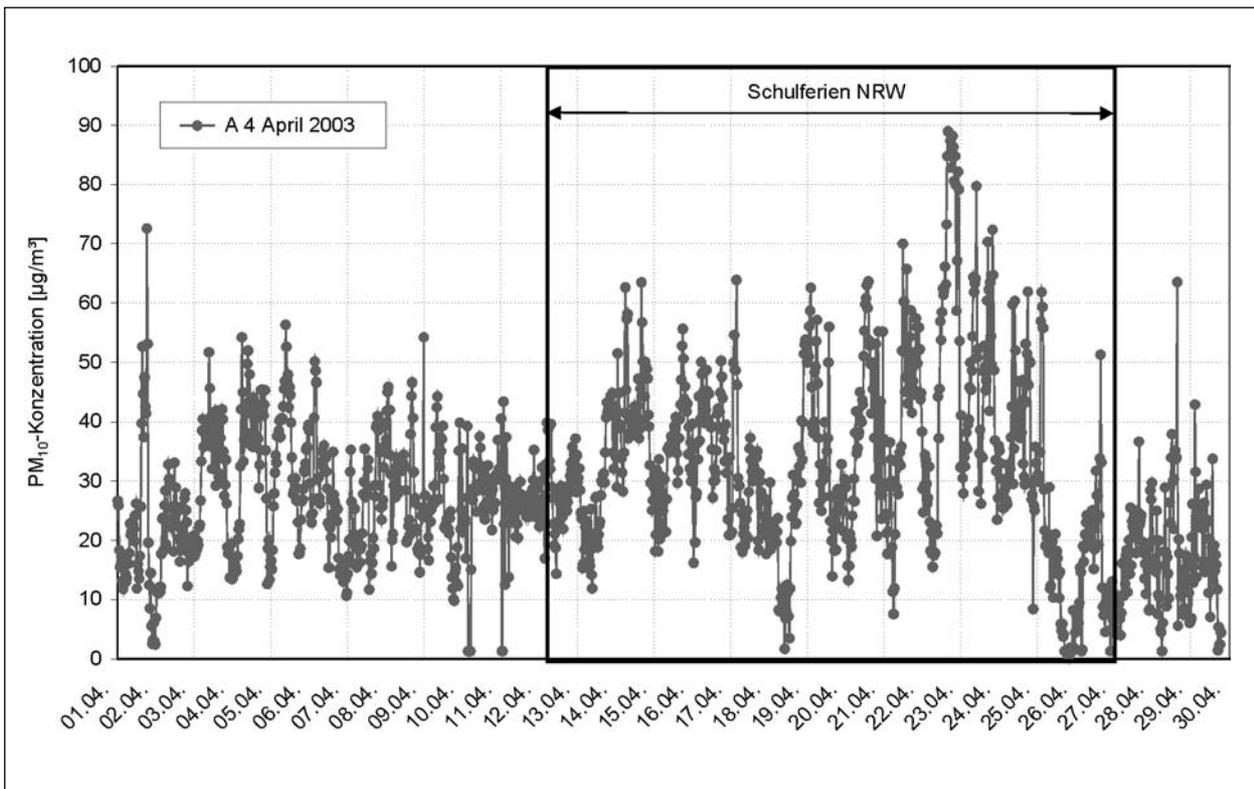
$$F = \frac{1}{2} c_w A \rho v^2$$



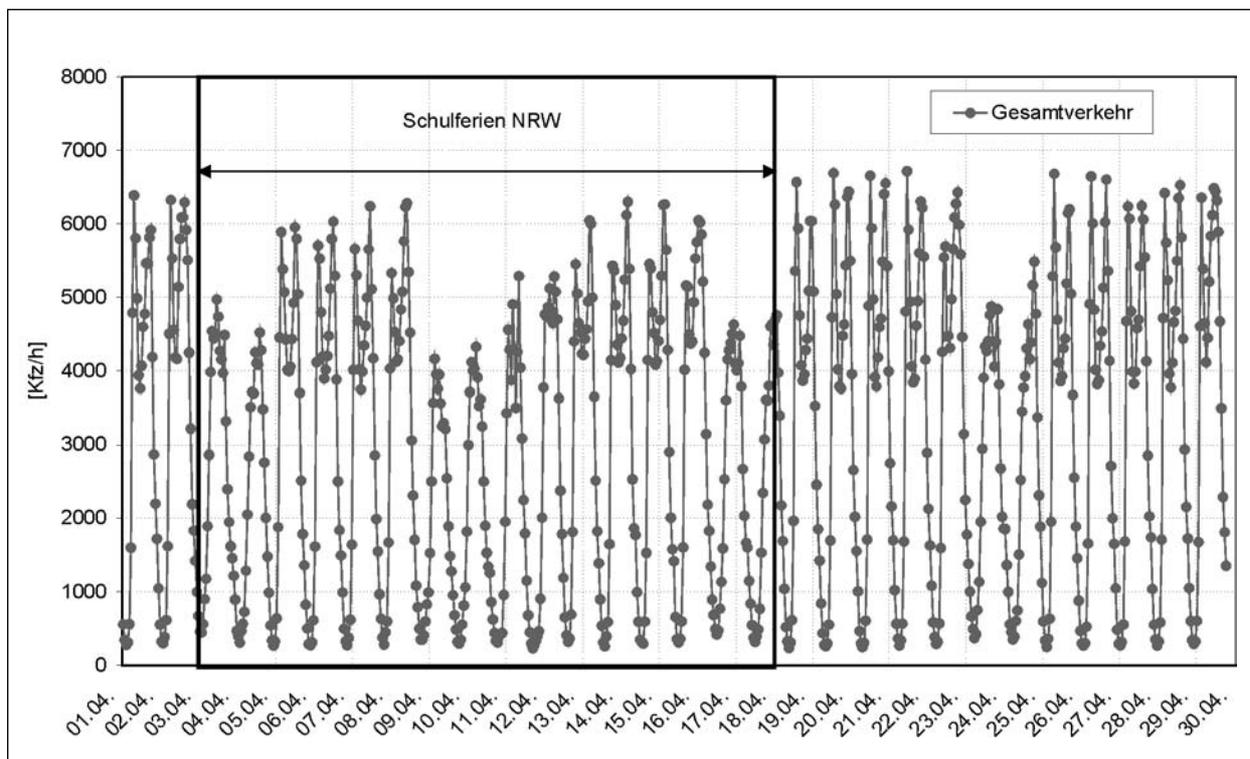
**Bild 5.24:** Luftwiderstandskraft mit zunehmender Geschwindigkeit für ein Fahrzeug mit  $c_w = 0,35$  und  $A = 1,85 \text{ m}^2$



**Bild 5.25:** Gesamt- und Schwerverkehrsmengen am Messquerschnitt an der A 4 im April 2003. Die Dauer der Schulferien ist eingezeichnet (Sa., 12.04.2003 bis So., 27.04.2003)



**Bild 5.26:** PM<sub>10</sub>-Halbstundenmittelwerte am Messquerschnitt an der A 4 im April 2003. Die Dauer der Schulferien ist eingezeichnet (Sa., 12.04.2003 bis So., 27.04.2003)



**Bild 5.27:** Gesamtverkehrsmengen am Messquerschnitt an der A 4 im April 2004. Die Dauer der Schulferien ist eingezeichnet (Sa., 03.04.2004 bis So., 18.04.2004)

- F: Luftwiderstandskraft  
 $c_W$ : Luftwiderstandsbeiwert  
A: Querschnittsfläche  
 $\rho$ : Luftdichte  
v: Geschwindigkeit

und der Motor braucht entsprechend mehr Kraft, um diesen Widerstand zu überwinden; so verbrennt er mehr Treibstoff, wodurch höhere Emissionen entstehen.

In den Bildern 5.26 und 5.29 sind die  $PM_{10}$ -Immissionskonzentrationen für die beiden betrachteten Zeiträume 2003 und 2004 dargestellt. In ihnen tritt für beide Jahre ein Schadstoffanstieg in der Zeit der Ferien deutlich hervor. Eine sehr starke Korrelation zwischen Geschwindigkeitsanstieg und erhöhter  $PM_{10}$ -Konzentration ist im Jahr 2004 an dem langen Osterwochenende zwischen dem 8. und dem 13. April zu beobachten, an dem für die Halbstundenmittelwerte Immissionsspitzen zwischen 50 und über  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  beobachtet wurden.

Diese erhöhten  $PM_{10}$ -Konzentrationen haben sich in den Jahren 2002 und 2003 auch in den Monatsmittelwerten bemerkbar gemacht (siehe Bild 5.23).

Im Jahr 2004 konnte beim Monatsmittelwert des Monats April im Vergleich zu den restlichen Monaten trotz einzelner Extremwerte keine Erhöhung festgestellt werden, obwohl bei Betrachtung der Halbstundenmittelwerte eine deutliche Zunahme der Schadstoffbelastung innerhalb der Ferienzeit zu Tage trat (siehe Bild 5.29). Da die  $PM_{10}$ -Konzentrationen im Monat April der Jahre 2002 und 2003 auch im Vergleich zu den umliegenden Kalendermonaten höher lagen als im Jahr 2004, konnte in Ersteren ein merklich höherer Monatsmittelwert im April verzeichnet werden (siehe Bild 5.23).

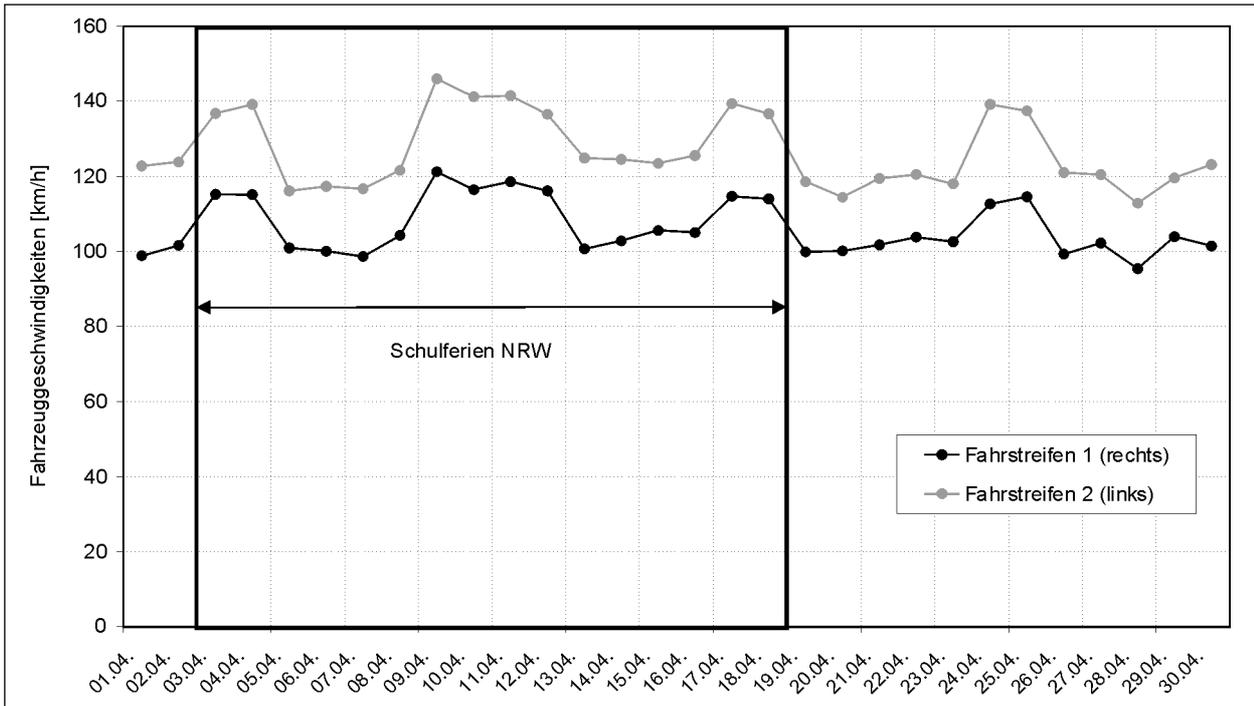
Im April des Kalenderjahres 2003 trat in der Zeit der Osterferien vom 11. April bis zum 25. April 2003 zusätzlich eine so genannte  $PM_{10}$ -Episode auf (siehe Kapitel 5.3.1). Inwieweit sich welcher Einfluss stärker auf die  $PM_{10}$ -Belastung ausgewirkt hat, kann nicht genau gesagt werden. Sie haben sich aber sehr wahrscheinlich ergänzt.

Insgesamt wurden die in Tabelle 5.7 aufgeführten  $PM_{10}$ -Schadstoffbelastungen in den Osterferien und außerhalb der Ferien in den Monaten April 2003 und April 2004 gemessen. Es wurden während der Ferienzeiten Zunahmen der Feinstaubimmissionen von 22,4 % (2003) bzw. 21,4 % (2004) registriert.

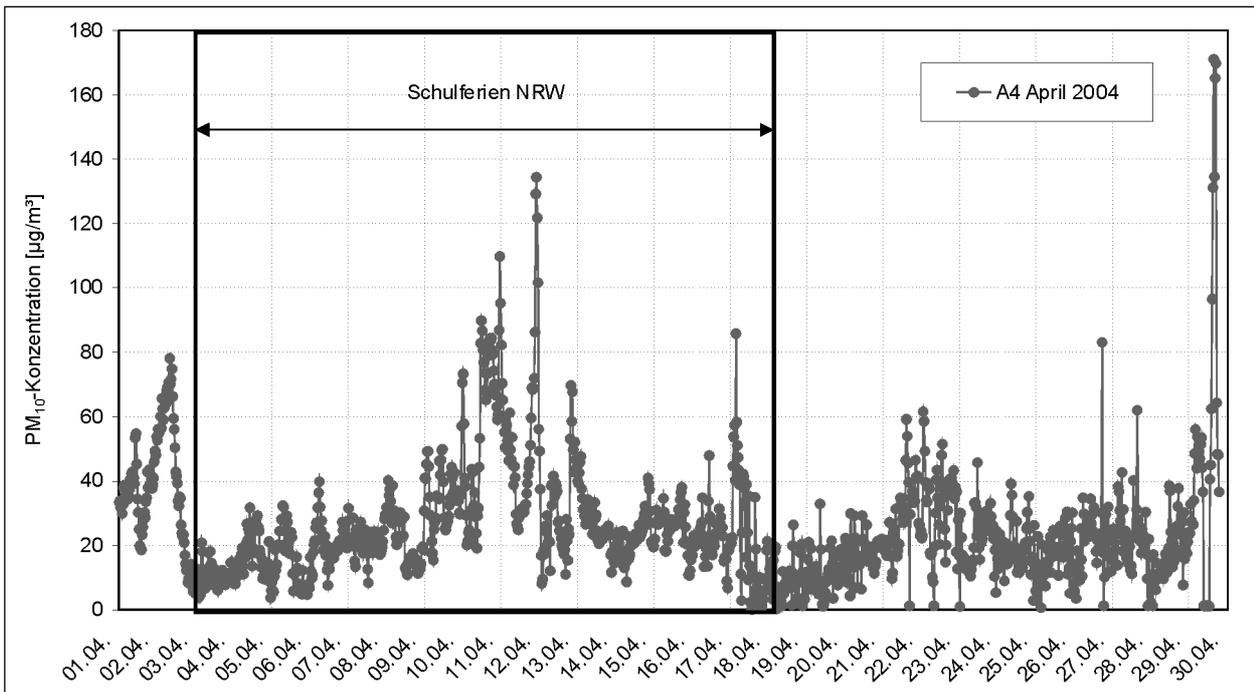
Jahr	mittlere PM <sub>10</sub> -Belastung außerhalb der Ferien	mittlere PM <sub>10</sub> -Belastung innerhalb der Ferien
2003	27,2 µg/m <sup>3</sup>	33,3 µg/m <sup>3</sup>
2004	22,0 µg/m <sup>3</sup>	26,7 µg/m <sup>3</sup>

**Tab. 5.7:** PM<sub>10</sub>-Belastungen am Messquerschnitt an der A 4 während der Osterferien und außerhalb der Ferienzeit jeweils im April 2003 und 2004

Die Überlegungen zum Einfluss von Verkehrsbelastungen, Fahrzeuggeschwindigkeiten (dieses Kapitel) sowie meteorologischen Parametern (Kapitel 5.3.2) auf die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen zeigen auf, dass viele Faktoren an dem Verhalten der Luftschadstoffe beteiligt sind. In den vorliegenden



**Bild 5.28:** Mittlere Fahrzeuggeschwindigkeiten aller Fahrzeuge einschließlich SV am Messquerschnitt an der A 4 im April 2004. Die Dauer der Schulferien ist eingezeichnet (Sa., 03.04.2004 bis So., 18.04.2004)



**Bild 5.29:** PM<sub>10</sub>-Halbstundenmittelwerte am Messquerschnitt an der A 4 im April 2004. Die Dauer der Schulferien ist eingezeichnet (Sa., 03.04.2004 bis So., 18.04.2004)

Betrachtungen wurden ausschließlich univariate Analysen durchgeführt. Immissionen werden jedoch immer von mehreren unterschiedlichen Faktoren gleichzeitig beeinflusst, wie z. B. meteorologische Phänomene, Parameter wie Verkehrsmengen und Schwerverkehrsanteile aber auch mittlere Geschwindigkeiten der Fahrzeuge. Um diese Zusammenhänge besser nachvollziehen zu können, muss eine multivariate Analyse durchgeführt werden, in die möglichst alle bekannten Parameter einfließen. Die Aufnahme und Verarbeitung der Daten für eine solche statistische Analyse wird momentan in einem neuen Projekt durchgeführt.

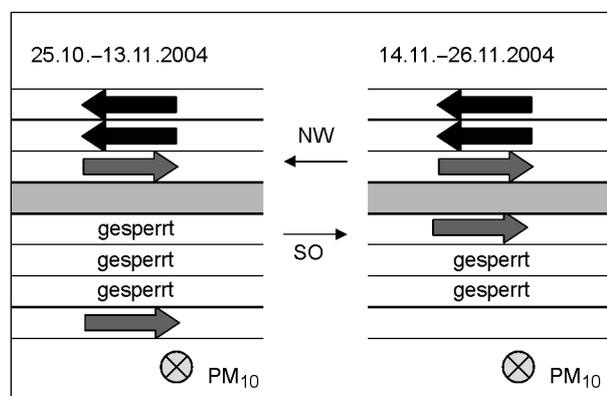
### 5.3.4 Einfluss Arbeitsstelle

An dem Messquerschnitt an der A 61 wurde wegen der Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen zwischen dem 25. Oktober 2004 und dem 26. November 2004 eine Arbeitsstelle eingerichtet. Während dieser Zeit galt eine Geschwindigkeitsbeschränkung von 80 km/h.

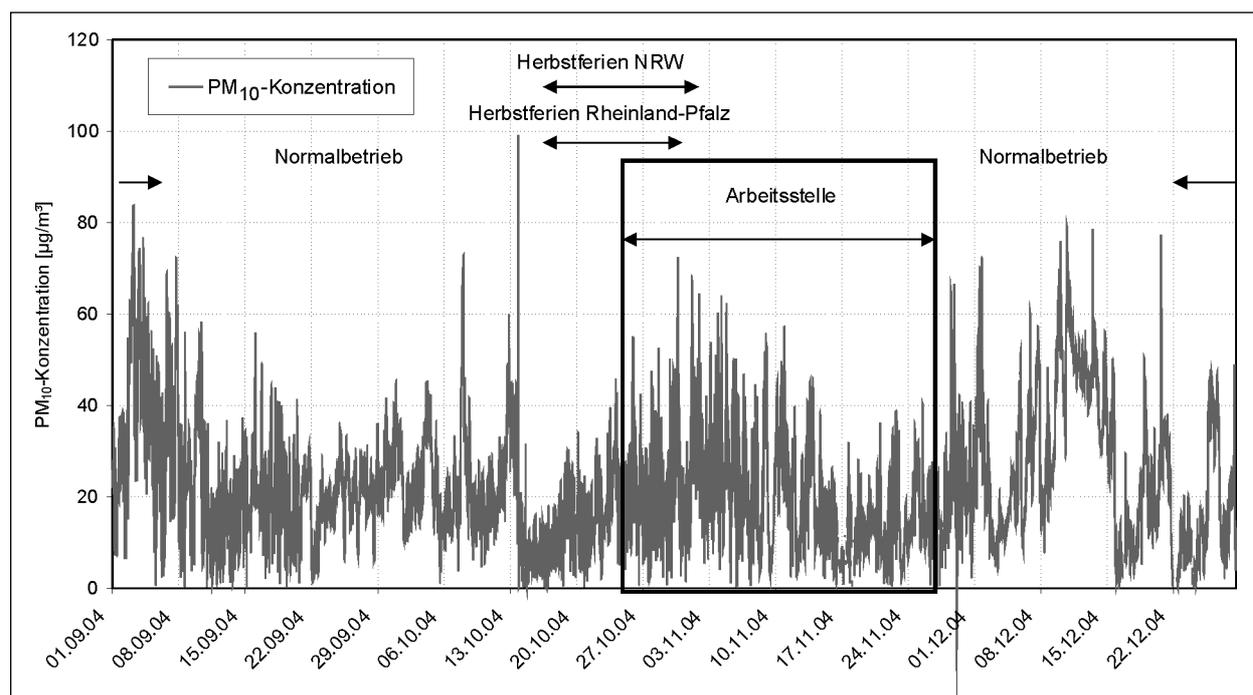
In den Daten des an diesem Querschnitt eingesetzten TEOM-Partikelmessgerätes sind mehrere Zeitabschnitte erkennbar (siehe Bild 5.30): zunächst der Zeitraum zwischen den Sommer- und den Herbstferien in Rheinland-Pfalz vom 06.09. bis 15.10., es folgen die Herbstferien vom 16.10. bis

31.10., die oben genannte Arbeitsstelle setzte zum Ende der Herbstferien ein und war in Betrieb vom 25.10. bis 26.11.; es folgt wiederum eine Phase des Normalbetriebs bis zu den einsetzenden Weihnachtsferien in Rheinland-Pfalz.

Die Zeit des Arbeitsstellenbetriebes kann in zwei Abschnitte unterteilt werden, da die Fahrzeuge wie in Bild 5.31 dargestellt geführt wurden. Während der gesamten Dauer der Baumaßnahmen verblieb der Verkehr in Richtung NW auf Standstreifen und äußerem Fahrstreifen. Der Verkehr in Richtung SO wurde zunächst in der Zeit vom 25.10. bis 13.11.2004 über den Standstreifen und den inne-



**Bild 5.31:** Linienführung des Verkehrs am Messquerschnitt an der A 61 während der Dauer der Baustelle vom 25.10. bis 26.11.2004



**Bild 5.30:** PM<sub>10</sub>-Halbstundenmittelwerte (TEOM-Gerät) am Messquerschnitt an der A 61 für den Zeitraum von September bis Dezember 2004

ren Fahrstreifen der Gegenrichtung geführt und während der Zeit vom 14.11.2004 bis 26.11.2004 über die beiden inneren Fahrstreifen beider Fahrrichtungen.

So lief der Schwerverkehr während des ersten Zeitabschnitts (Schwerverkehr insbesondere auf dem Standstreifen in Richtung SO) näher am und während des zweiten Zeitabschnitts (Schwerverkehr insbesondere auf dem inneren Fahrstreifen in Richtung SO) weiter entfernt vom PM<sub>10</sub>-Aufnahmekopf als gewöhnlich über den Messquerschnitt.

Die Unterschiede in den PM<sub>10</sub>-Immissionen während dieser Zeitabschnitte werden deutlich, wenn man die Mittelwerte betrachtet (siehe Tabelle 5.8). Es ist zu erkennen, dass während der Herbstferien die Partikelbelastung im Vergleich zum vorhergehenden Normalbetrieb abnimmt, während der Zeit

Normalbetrieb	Herbstferien	Arbeitsstelle		Normalbetrieb
		SV auf Standstreifen	SV auf innerem Fahrstreifen	
06.09.–15.10.	16.10.–31.10.	25.10.–13.11.	14.11.–26.11.	27.11.–20.12.
22,4 µg/m <sup>3</sup>	18,0 µg/m <sup>3</sup>	23,7 µg/m <sup>3</sup>	15,9 µg/m <sup>3</sup>	28,9 µg/m <sup>3</sup>

**Tab. 5.8:** Mittlere PM<sub>10</sub>-Halbstundenmittelwerte während verschiedener Zeitabschnitte am Messquerschnitt an der A 61 während der Monate September bis Dezember 2004

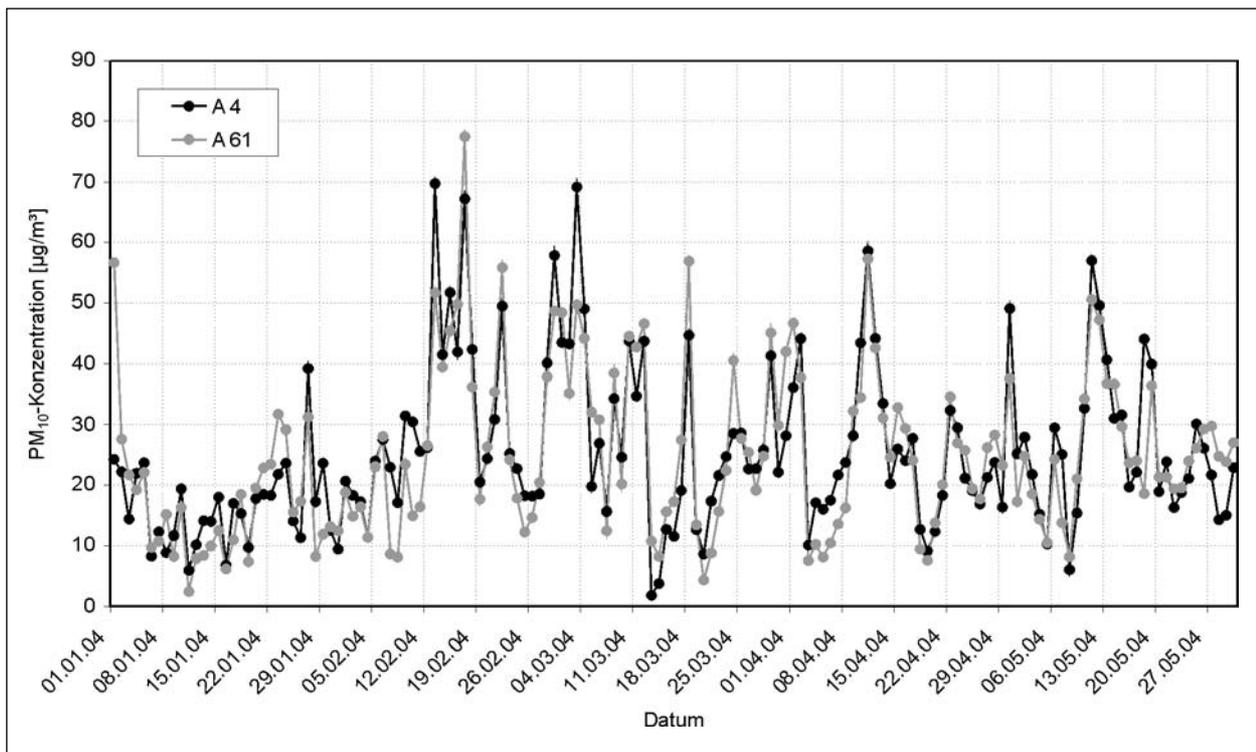
der Arbeitsstelle, zu der der Schwerverkehr über den Standstreifen geleitet wurde und somit näher an dem PM<sub>10</sub>-Aufnahmekopf vorbeigeführt wurde, zunächst ansteigt und ab der Zeit, in der der Schwerverkehr über den inneren Fahrstreifen geleitet wurde, wieder abfällt. Der folgende Normalbetrieb dieses Autobahnquerschnittes führte wieder zu einer Erhöhung der Feinstaubimmissionen.

Einfluss auf die PM<sub>10</sub>-Immissionen hatte während der Zeit der Arbeitsstelle sehr wahrscheinlich auch die abgesenkte durchschnittliche Geschwindigkeit, dies konnte jedoch hier als Parameter wegen diesbezüglich fehlender Daten nicht betrachtet werden.

**5.3.5 Vergleichsmessungen an zwei Messquerschnitten**

An der A 61 wurde im Dezember 2003 eine weitere PM<sub>10</sub>-Messstelle eingerichtet, die seitdem in einer Entfernung von 16 m vom Fahrbahnrand (siehe Bild 2.4) die Feinstaubkonzentration registriert.

In der Darstellung der Tagesmittelwerte der PM<sub>10</sub>-Konzentration an beiden Messquerschnitten (siehe Bild 5.32; zur besseren Übersicht wurde hier nur der Zeitraum von Januar bis Mai 2004 dargestellt) zeigt sich eine enge Korrelation zwischen den Schadstoffbelastungen an den zwei Standorten. Dies kann wegen der großen Entfernung und der



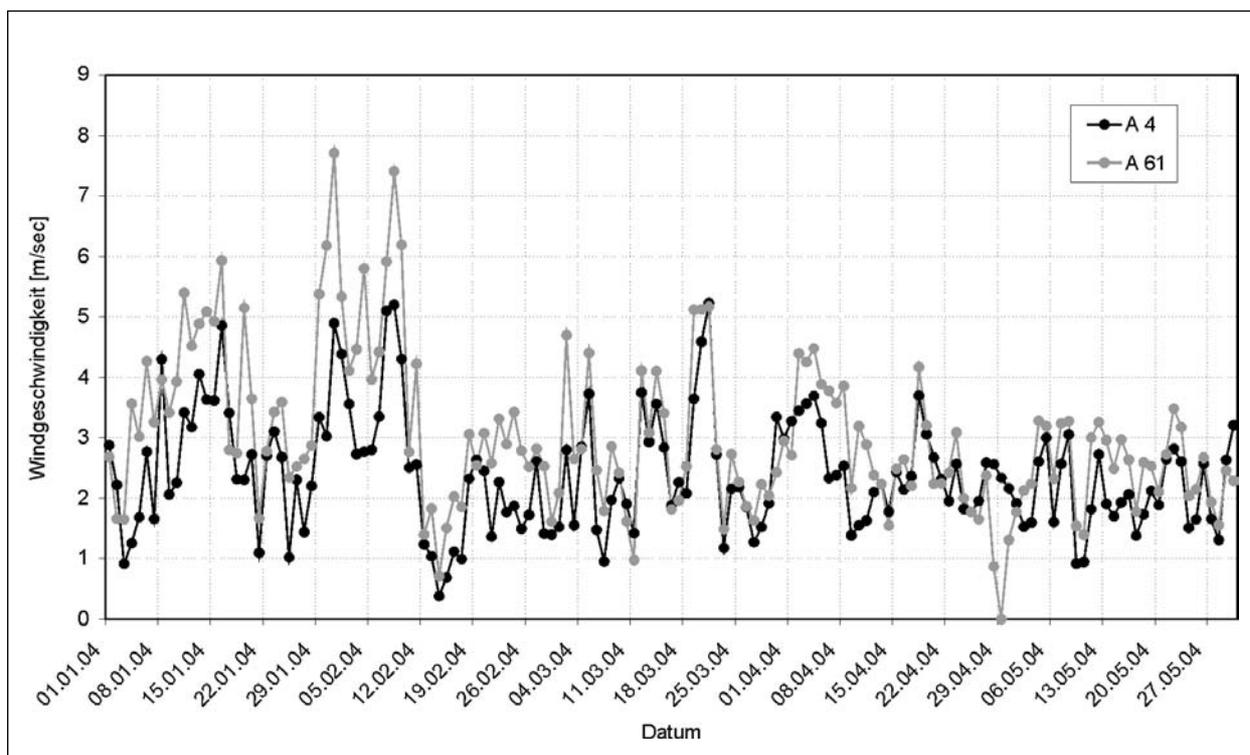
**Bild 5.32:** PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwerte an den beiden Messquerschnitten an der A 4 und der A 61 für die Monate Januar bis Mai 2004

unterschiedlichen Gegebenheiten an beiden Messquerschnitten nicht auf lokale Zusammenhänge zurückgeführt werden und deutet somit auf einen starken Einfluss durch meteorologische Phänomene hin, der auch in Kapitel 5.3.2 dargestellt wurde. Anhand der Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeiten an beiden Messquerschnitten ist deutlich zu sehen, dass überregional betrachtet Ähnlichkeiten des Windverhaltens an beiden Messorten auftreten (siehe Bild 5.33). Dabei liegt die mittlere Windgeschwindigkeit an der A 61 bei etwa 3 m/sec und an der A 4 bei 2,4 m/sec, also in vergleichbaren Größenordnungen. Jedoch ist bei einem Vergleich mit Blick auf die unterschiedlich hohen Schwerverkehrsanteile an beiden Standorten zu beachten, dass durch die zur Hauptwindrichtung luvseitige Anordnung des PM<sub>10</sub>-Messgerätes an der A 61 die durch den höheren Schwerverkehrsanteil eventuell stärker ausfallenden Schadstoffbelastungen vermindert werden können.

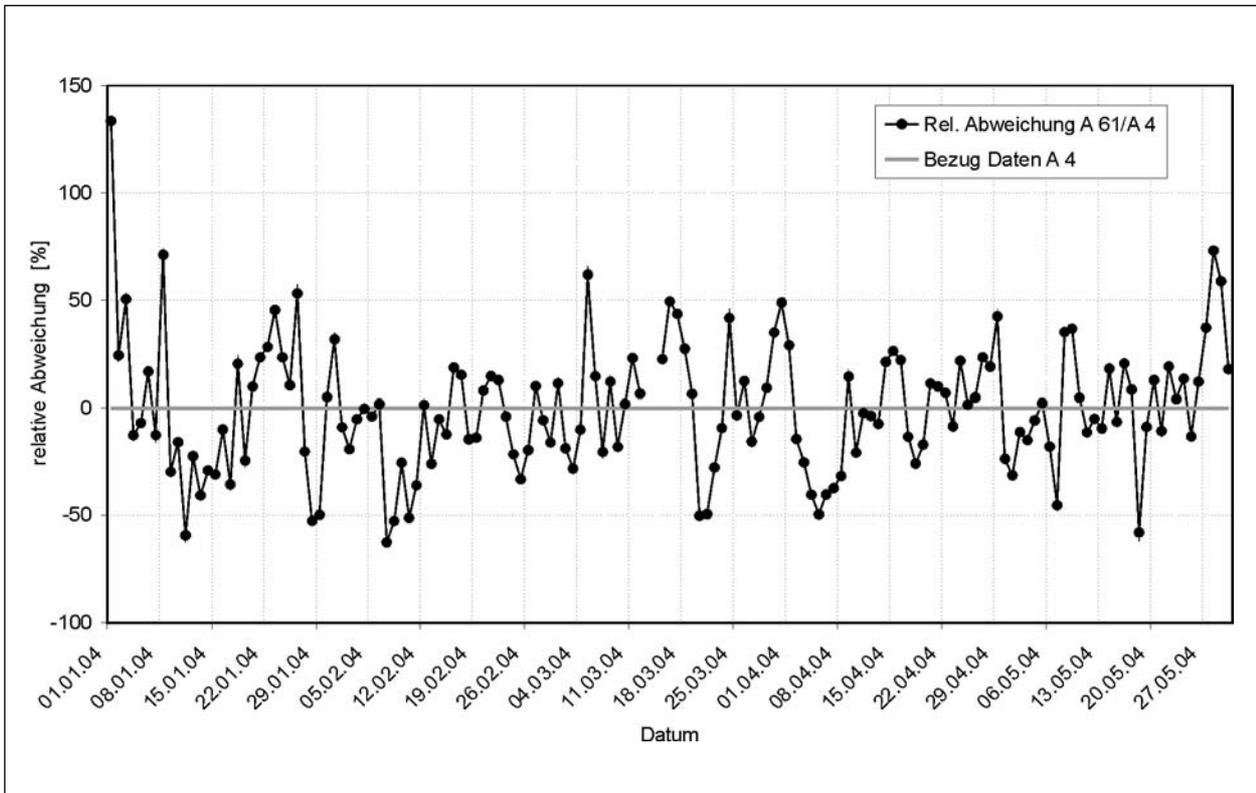
Die Darstellung der relativen Abweichung der an der A 61 aufgenommenen PM<sub>10</sub>-Konzentrationen von den A-4-Messwerten (siehe Bild 5.34) zeigt, dass sich die Belastungen an den beiden Querschnitten kaum unterscheiden. Im Mittel liegen die Immissionswerte an der A 61 nach Entfernung zweier Ausreißer um 0,4 % unter denen an der A 4.

Die wochentagabhängigen Tagesganglinien der PM<sub>10</sub>-Konzentration für das Kalenderjahr 2004 am Messquerschnitt an der A 4 (siehe Bild 5.35) zeigen, dass die Verteilung der Schadstoffbelastung an den Tagen Montag bis Freitag an diesem Standort zwei Maxima aufweist. Das erste liegt in den Vormittagsstunden zwischen 10:00 Uhr und 13:00 Uhr und das zweite in den Abendstunden um etwa 20:00 Uhr. Auffällig ist hierbei die Zeitverzögerung der beiden Maxima der PM<sub>10</sub>-Belastung im Vergleich zu denen der Verkehrsmengen (siehe Bild 5.3), die zwischen 6:00 Uhr und 9:00 Uhr und zwischen 15:00 Uhr und 18:00 Uhr liegen. Die durch den Verkehr hervorgerufenen Partikel scheinen also für den Weg von ihrer Emissionsquelle bis zu den Geräten, an denen ihre Konzentration aufgenommen wird (am Messquerschnitt an der A 4 etwa zwischen 13 m und 35 m), bis zu mehrere Stunden unterwegs zu sein. Dies bestätigt auch die Aussagen aus Kapitel 4.4 zur Lebensdauer der Partikel. Dort wurde ausgeführt, dass sich Partikel sogar bis zu Wochen luftgetragen halten können.

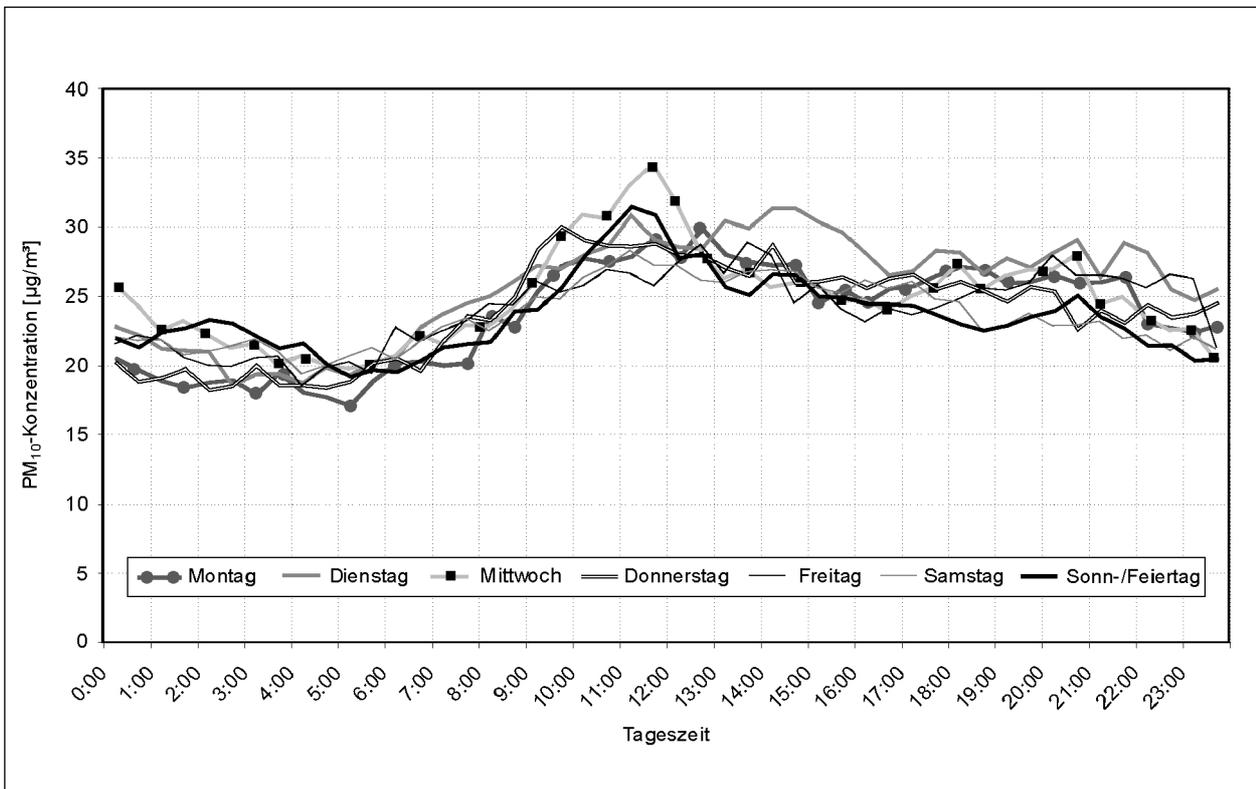
Des Weiteren sind die abendlichen Spitzenwerte der Tagesganglinien an der A 4 weniger ausgeprägt als die Vormittagswerte. Dies erklärt sich aus dem Tagesgang des Gesamtverkehrs, der vom Berufsverkehr geprägt ist und abends durch die



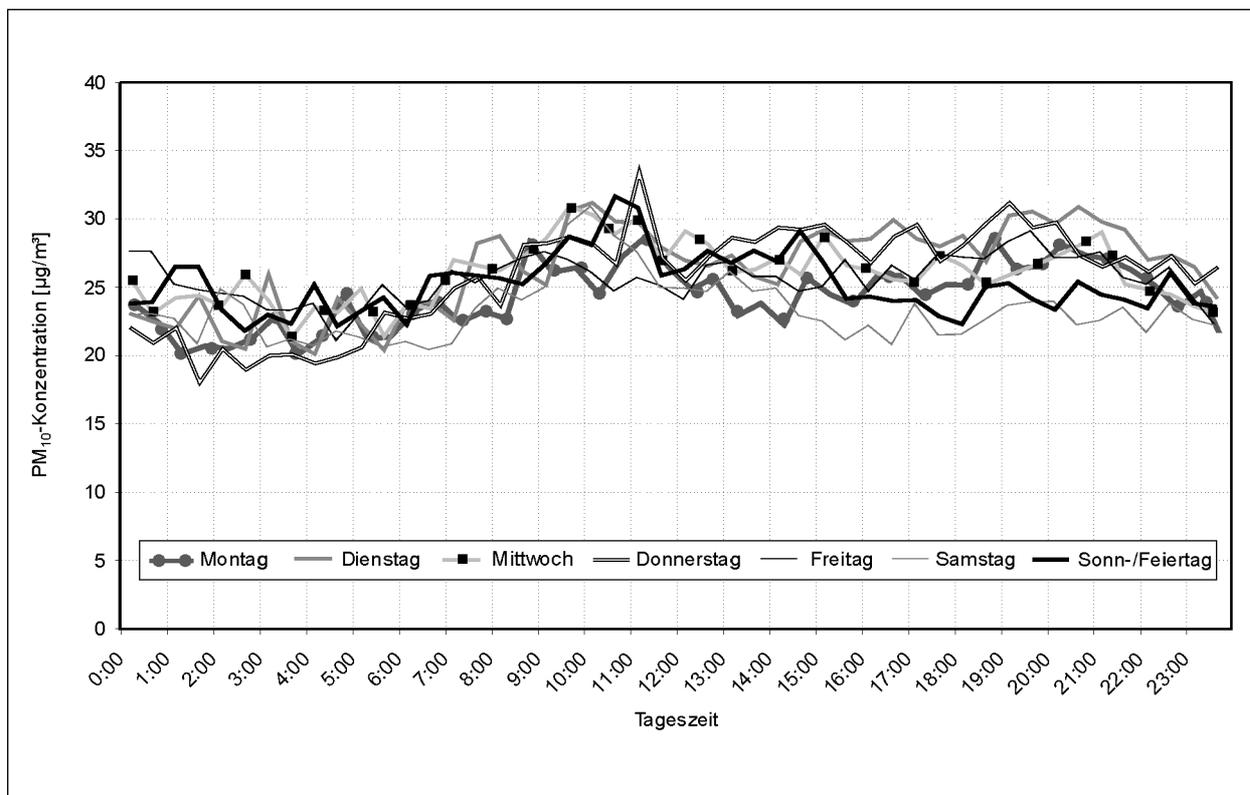
**Bild 5.33:** Tagesmittelwerte der Windgeschwindigkeiten an den beiden Messquerschnitten an der A 4 und der A 61 für die Monate Januar bis Mai 2004



**Bild 5.34:** Relative Abweichung zwischen den PM<sub>10</sub>-Konzentrationen der A 61 und der A 4 (zwei nicht erklärbare Ausreißer am 13.03. und 14.03. wurden entfernt)



**Bild 5.35:** Wochentagabhängige Tagesganglinien der PM<sub>10</sub>-Konzentration am Messquerschnitt an der A 4 für das Kalenderjahr 2004



**Bild 5.36:** Wochentagabhängige Tagesganglinien der  $PM_{10}$ -Konzentration am Messquerschnitt an der A 61 für das Kalenderjahr 2004

größtenteils übliche Gleitzeit ein breiteres Maximum in der Verkehrsstärke aufweist als morgens. Der Umstand, dass der Hauptstrom des Berufspendlerverkehrs abends näher an der  $PM_{10}$ -Messstelle vorbeiführt, scheint sich nicht auf die Höhe der Schadstoffmaxima auszuwirken. Auch die Längsneigung der Fahrbahn am Messquerschnitt an der A 4 von 2 % mit einem Anstieg in Richtung Olpe (die Spannweite der Längsneigung liegt auf diesem Streckenabschnitt zwischen 0,9 und 3,4 %), macht sich hier nicht bemerkbar. Da sich die Partikel wie oben beschrieben über einen längeren Zeitraum luftgetragen bewegen, können Effekte, die durch eine größere Nähe der Fahrzeuge zu den Aufnahmegeräten auftreten könnten, unbenutzt bleiben.

Anhand der Tagesverläufe des Feinstaubes an der A 61 (siehe Bild 5.36) kann wiederum nachvollzogen werden, dass die  $PM_{10}$ -Belastung an diesem Standort ein Verhalten aufweist, das zum größten Teil durch den Nord/Süd-Fernverkehr geprägt ist, wie dies schon die Tagesganglinien der Verkehrsmengen verdeutlichen (siehe Bild 5.4). Die beiden berufspendlerverkehrstypischen Maxima sind an der A 61 nicht deutlich zu erkennen, sondern eher niedrige Werte in den Nachtstunden und höhere

Werte, die sich relativ gleichmäßig über den Tag verteilen.

Diesem Effekt überlagert nehmen sehr wahrscheinlich auch meteorologische Parameter Einfluss auf die Höhe der  $PM_{10}$ -Immissionen, wie z. B. die Feuchte, die im Allgemeinen zum Abend hin wieder zunimmt (siehe Bild 5.12) und somit mindernd auf die Schadstoffbelastung einwirken kann.

Auch die vorstehend aufgeführten Untersuchungsergebnisse zeigen, dass bei einer so großen Anzahl von Einflussgrößen eine multivariate Analyse notwendig ist, um die Zusammenhänge zwischen Schadstoffbelastung, meteorologischen sowie verkehrlichen Parametern klarer darlegen zu können.

## 6 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Projektes wurde ein Überblick über das Schadstoffverhalten von Partikeln an zwei Autobahnen mit unterschiedlich hohen Schwerverkehrsanteilen gegeben. Dazu wurden Messungen an den beiden Autobahnquerschnitten der BAST zur Aufnahme von Luftschadstoffen an der A 4 und der A 61 durchgeführt. Aufgenommen wurde an beiden Querschnitten die  $PM_{10}$ -Immis-

sionsbelastung mit jeweils einem TEOM-Gerät der Firma MLU und an der A 61 zusätzlich über einen Zeitraum von drei Monaten die  $PM_x$ -Belastung ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  und  $PM_1$ ) mit dem optischen Gerät ENVIROcheck 107 der Firma Grimm (siehe Kapitel 3).

Die Auswertung der registrierten Messwerte hat aufgezeigt, dass die Höhe der Partikelbelastungen an hochfrequentierten Autobahnen durch unterschiedliche Parameter beeinflusst wird. Zum einen wirken die Wetterverhältnisse auf die Immissionsbelastung ein, zum anderen die verkehrsspezifischen Größen wie Verkehrsmengen und durchschnittliche Fahrzeuggeschwindigkeiten.

Die Untersuchung der meteorologischen Parameter in Bezug auf die Höhe der  $PM_{10}$ -Immissionen am Messquerschnitt an der A 4 hat ergeben, dass insbesondere die relative Luftfeuchte mit der  $PM_{10}$ -Belastung korreliert. Da die Lufttemperatur in enger Wechselwirkung mit anderen klimatischen Größen, also auch der Feuchte, steht, weist auch sie einen Verlauf auf, der mit dem der Feinstaubbelastung in Zusammenhang steht (siehe Kapitel 5.3.2).

Ein weiterer Einfluss auf die Höhe der  $PM_{10}$ -Belastungen konnte teilweise während der Schulferien am Messquerschnitt an der A 4 beobachtet werden, während derer sehr wahrscheinlich durch einen Rückgang der Verkehrsmengen und dadurch zunehmende Fahrzeuggeschwindigkeiten eine Erhöhung der Schadstoffbelastung hervorgerufen wurde (siehe Kapitel 5.3.3). An der A 61 hingegen, die in der Ferienzeit durch ein höheres Verkehrsaufkommen durch Urlaubsverkehr geprägt ist, kann eine Abnahme der  $PM_{10}$ -Belastungen in diesem Zeitraum verzeichnet werden (Kapitel 5.3.4).

Ebenfalls eine Änderung der durchschnittlichen  $PM_{10}$ -Belastung trat während der Zeit von Baumaßnahmen innerhalb des Messquerschnitts an der A 61 auf, während der eine Geschwindigkeitsbeschränkung auf 80 km/h galt und innerhalb derer der Schwerverkehr zunächst auf dem Standstreifen – und somit in einem geringeren Abstand als in der restlichen Zeit der Messwertaufnahme – und hernach auf dem inneren Fahrstreifen – und somit in einer größeren Entfernung als in der restlichen Zeit der Messwertaufnahme – an dem Partikelmessgerät vorbeigeführt wurde. In der Zeit, in welcher der Schwerverkehr über den Standstreifen geleitet wurde, stiegen die aufgenommenen Feinstaubimmissionen, um in der Zeit, in welcher der Schwerverkehr in größerer Entfernung über den inneren

Fahrstreifen lief, wieder abzufallen (siehe Kapitel 5.3.4).

Auch wurden die  $PM_{10}$ -Daten der beiden Messquerschnitte einander gegenübergestellt. Die Werte an der A 61 lagen durchschnittlich um 0,4 % unter denen, die an der A 4 registriert wurden. Dies weist nicht auf einen Einfluss auf die Feinstaubbelastung durch die unterschiedlichen Schwerverkehrsanteile am Gesamtverkehr hin, was jedoch in der problematischen Vergleichbarkeit der beiden Querschnitte begründet sein kann. An den beiden Querschnitten treten Tagesgänge auf, die einen typischen Verlauf mit Maxima durch Berufspendlerverkehr (A 4) aufweisen bzw. durch Fernverkehr geprägt sind (A 61).

Eine Vergleichsmessung der beiden an dem Messquerschnitt an der A 61 parallel betriebenen Partikelmessgeräte zeigte, dass das ENVIROcheck 107 in der  $PM_{10}$ -Komponente etwas höhere Werte aufnimmt als das TEOM-Gerät. Der Verlauf der aufgezeichneten  $PM_{10}$ -Daten beider Messgeräte ist ähnlich, jedoch liegen die gemessenen Konzentrationen bei dem ENVIROcheck 107 um durchschnittlich 7% über denen des TEOM. Außerdem kann anhand der Daten aller drei  $PM_x$ -Komponenten  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  und  $PM_1$ , die mit dem ENVIROcheck 107 aufgenommen wurden, darauf geschlossen werden, dass der Hauptanteil der  $PM_{10}$  in den kleineren und zumeist motorbedingten  $PM_{2,5}$  und  $PM_1$  liegt (siehe Kapitel 5.3.6).

Insgesamt zeigt sich deutlich, dass das Verhalten der Feinstaubpartikel sehr komplex und noch wenig verstanden ist. Es scheinen viele Komponenten auf die Höhe der Feinstaubimmissionen einzuwirken und daher die genaue Beurteilung und Beschreibung des  $PM_x$ -Schadstoffverhaltens schwer zu sein.

## 7 Ausblick

Das Verhalten von Feinstaubpartikeln an Verkehrswegen bedarf weiterer Untersuchungen, die sich insbesondere mit dem Zusammenhang zwischen Partikelbelastung und meteorologischen Größen, Verkehrsmengen, Fahrzeuggeschwindigkeiten sowie Straßenzustand beschäftigen.

Dem Umstand, dass die bisher betriebenen Messquerschnitte an der A 61 und der A 4 durch ihre unterschiedlichen Gegebenheiten (siehe Kapitel 2) keine belastbaren Aussagen bei vergleichenden

Analysen zulassen, wurde dadurch Rechnung getragen, dass ein neuer Standort gesucht wurde, der in seinen Umgebungsbedingungen und der Gesamtverkehrsmenge dem Querschnitt an der A 61 ähnelt, aber sich in seinem Schwerverkehrsanteil stark von diesem unterscheidet. Diese Bedingungen erfüllt ein Streckenabschnitt auf der A 555 südlich von Wesseling, der bei einem DTV von 65.400 Kfz/d einen Schwerverkehrsanteil von 6,6 % aufweist. An diesem Standort sollen nun neben anderen auch Feinstaubmessungen durchgeführt werden.

Um die Auswirkungen von Niederschlag auf die  $PM_{10}$ -Immissionen an Autobahnen zu untersuchen, wurde infolge dieses Projekts ein Gerät zur Aufnahme des Niederschlags auf dem Gelände der BASt installiert. Im Zusammenhang mit dem Parameter Niederschlag wurden in anderen Studien zum Teil sehr unterschiedliche Erfahrungen gesammelt. Einige Untersuchungen weisen auf einen großen Einfluss hin, andere wiederum zeigen nur eine geringe bis keine Absenkung der Schadstoffbelastung durch Regen oder anderen Niederschlag.

Studien, die gezielt die Auswirkungen des Zustandes der Straßenoberfläche auf die  $PM_x$ -Immissionen untersuchen, wurden bisher nicht durchgeführt. Es gibt in verschiedenen Arbeiten jedoch Hinweise auf einen möglicherweise deutlichen Einfluss durch Risse und Löcher in der Fahrbahnoberfläche insbesondere in Verbindung mit unbefestigten und verschmutzten Nebenanlagen, wie z. B. Randstreifen, Banketten oder Wegen (DÜRING et al., 2004). Die Auswirkungen, die diese Einflussgröße auf die Feinstaubbelastungen an Straßen haben kann, sollten weiterverfolgt werden.

Neben der Fortsetzung der kontinuierlichen Messwertaufnahme der Partikelbelastung wird zurzeit ein Projekt durchgeführt, das den Einfluss von verkehrlichen und meteorologischen Parametern auf die  $PM_x$ -Schadstoffbelastung an BAB statistisch auswertet. Hierbei sollen die aufgenommenen Schadstoffwerte mit Verkehrsmengendaten, Fahrzeuggeschwindigkeiten und meteorologischen Parametern in Bezug gesetzt, statistisch analysiert und die Einflüsse von unterschiedlichen Gegebenheiten auf die Partikelbelastungen an Autobahnen untersucht werden (multivariate Analyse). Der Erhebungszeitraum soll sich über ein vollständiges Kalenderjahr erstrecken, um das gesamte Spektrum der Jahreszeiten abzudecken.

Inwieweit sich der Abstand der Messstelle von der Fahrbahn auf die Höhe der  $PM_{10}$ -Immissionen auswirkt, konnte mit den bisher zur Verfügung stehenden Messgeräten nicht erfasst werden, ist aber für eine umfassende Untersuchung des Verhaltens der  $PM_{10}$  erforderlich. Hierzu sollten Daten von mehreren (mindestens zwei) Geräten ausgewertet werden, die in unterschiedlichen Abständen zum Fahrbahnrand über einen ausreichenden Zeitraum die Feinstaubbelastung aufnehmen.

Ein wichtiger Schritt, um geeignete Einflussgrößen auf das Schadstoffverhalten von Partikeln und damit Maßnahmen zur Minderung der  $PM_x$ -Immissionen an Straßen zu finden, ist die Unterscheidung der nicht-motorbedingten Partikel gegenüber den motorbedingten Partikeln, für die durch den Partikelfilter gute technische Lösungen vorhanden sind. Für die nicht-motorbedingten Partikel jedoch fehlen bisher eine sichere Qualifizierung und Quantifizierung, durch die auch auf Minderungsmaßnahmen für diese Komponente geschlossen werden kann. Hierzu wurde ein Forschungsprojekt initiiert, das die Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den  $PM_{10}$ -Emissionen von Straßen zum Thema hat.

## Literatur

- ALLOWAY, B. J., AYRES, D. C.: Schadstoffe in der Umwelt, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1996
- BLIEFERT, C.: Umweltchemie, WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 3. Auflage, 2002
- Bundesanstalt für Straßenwesen: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2002, Verkehrstechnik, Heft V 115, 2004
- DÜRING, I., BÖSINGER, R., LOHMEYER, A.:  $PM_{10}$ -Emissionen an Außerortsstraßen, Abschlussbericht zu dem Forschungsprojekt FE 02.222/2002/ LRB, 2004
- EC Working Group on Particulate Matter: A Report on Guidance to Member States on  $PM_{10}$  Monitoring and Intercomparisons with the Reference Method, Draft Final Report, 2002
- Fraunhofer Institut: Statistische Quellgruppenanalyse für die  $PM_{10}$ -Belastungen in sächsischen Ballungsräumen, im Auftrag des Landesamtes für Umwelt und Geologie, Dresden, 2004

- Lufthygieneamt beider Basel und Institut für Sozial- und Präventivmedizin: Gesundheitsrisiko durch Luftschadstoffe in der Region Basel, 1. Bericht der Studie BRISKA, Liestal, 1999
- LUTZ, M.: Erste Erfahrungen bei der Erstellung eines Luftreinhalteplans in Berlin, Vortrag beim KRdL-Experten-Forum Staub und Staubinhaltsstoffe, 10. und 11.11.2004, Düsseldorf, 2004
- MÖLLER, D.: Luft, Walter de Gruyter & Co. KG, Berlin, 2003
- Neue Zürcher Zeitung: Der Riechnerv als Eintrittspforte ins Gehirn, 21.01.2004
- PFEFFER, H.-U., BEIER, R., GEIGER, J., LÖSCHAU, G., TRAVNICEK, W.: PM<sub>10</sub>-Vergleichsmessungen der deutschen Bundesländer mit gravimetrischen und kontinuierlichen Verfahren, Vortrag auf dem KRdL-Experten-Forum Staub und Staubinhaltsstoffe, Düsseldorf, 2004
- 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: Laser Niederschlags Monitor, Bedienungsanleitung 5.4110.x0.x00, Göttingen, 2004
- Thies clima: Ultrasonic Anemometer 2D, Bedienungsanleitung 4.3800.00.xx ab Version V2.1x, Göttingen, 2002
- UMK AG „Umwelt und Verkehr“: Partikelemissionen des Straßenverkehrs, Endbericht, Oktober 2004
- Umweltbundesamt: Dieselfahrzeuge, [www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/dieselfahrzeuge.htm](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/dieselfahrzeuge.htm), Stand: 14.11.2003
- Umweltbundesamt: Episodenhafte PM<sub>10</sub>-Belastung in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 2000 bis 2003, 2004
- Umwelt kommunale ökologische Briefe: Dicke Luft verstopft Arterien, Nr. 24, 24.11.2004
- UVEK Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie, Kommunikation: Feinstaub aus dem Straßenverkehr: Verkehr wirbelt viel Staub auf, Medienmitteilung des BUWAL, 02.10.2003
- VDI-Nachrichten, 09.03.2001, S.14
- WICHMANN, H. E., HEINRICH, J., PETERS, A.: Gesundheitliche Wirkungen von Feinstaub, eco-med Verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landsberg, 2002

## 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, Klemps, 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 Umlegungsmodellen  
Wermuth, Sommer, Wulff € 15,00
- V 137: PM<sub>x</sub>-Belastungen an BAB  
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00

---

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.