



**Jahresbericht 2001  
aus dem Messnetz des  
Umweltbundesamtes**

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 33 00 22  
14191 Berlin  
Tel.: 030/8903-0  
Telex: 183 756  
Telefax: 030/8903 2285  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet II 6.6  
Siegfried Beilke  
Karin Uhse

Berlin, Dezember 2002



# UBA-MESSNETZ - JAHRESBERICHT 2001

## Inhaltsverzeichnis

<b>VORWORT .....</b>	<b>5</b>
<b>KURZFASSUNG.....</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>9</b>
<b>1. DAS MESSNETZ DES UMWELTBUNDESAMTES.....</b>	<b>10</b>
1.1 Lage der Messstellen.....	10
1.2 Messprogramm .....	13
1.3 Aufgaben des Messnetzes.....	17
1.4 Literatur zu Kapitel 1 .....	20
<b>2. ERGEBNISSE DER IMMISSIONS-MESSUNGEN 2001 UND VERGLEICH MIT FRÜHEREN WERTEN.....</b>	<b>21</b>
2.1 Gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen.....	21
2.1.1 Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> ) .....	21
2.1.2 Stickoxide (NO <sub>x</sub> ).....	31
2.1.3 Ozon (O <sub>3</sub> ).....	43
2.1.4 Flüchtige Organische Substanzen (VOC) .....	57
2.1.5 Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ).....	69
2.1.6 Methan (CH <sub>4</sub> ) .....	74
2.1.7 Distickstoffdioxid (N <sub>2</sub> O) .....	76
2.1.8 Partikelförmige Luftverunreinigungen .....	77
2.2 Ionen im Niederschlag.....	85
2.2.1 Konzentrationen der Ionen im Niederschlag – Daily-bulk.....	85
2.2.2 Depositionen von Ionen mit dem Niederschlag – Daily-bulk....	94
2.2.3 Weekly wet-only-Messungen .....	100
2.3 Meteorologischer Überblick 2001 .....	106
2.4 Literatur zu Kapitel 2 .....	110

<b>3.</b>	<b>SPEZIELLE UMWELTPROBLEME .....</b>	<b>111</b>
3.1	Messungen von Feinstaub im Messnetz des Umweltbundesamtes..	111
3.1.1	Einleitung.....	111
3.1.2	Messungen von Feinstaub im Messnetz des UBA .....	114
3.1.3	Herkunft des Feinstaubes.....	132
3.1.4	Literatur .....	133
3.2	Die Ozon-Episoden in Deutschland im Juli und August 2001 .....	135
3.2.1	Einleitung.....	135
3.2.2	Analyse der Ozonepisoden im Juli und August 2001 .....	139
3.2.3	Zukünftige Entwicklung der Ozonbelastung in Deutschland ....	150
3.2.4	Literatur zu Kapitel 3.2.....	151
3.3	Einführung von Filterpack-Messungen im UBA-Messnetz.....	153
3.3.1	Einleitung.....	153
3.3.2	Probenahme.....	155
3.3.3	Vorversuche mit NILU-Vergleichsmessungen .....	156
3.3.4	Vergleiche der SO <sub>2</sub> -Messergebnisse für 2001 .....	159
3.3.5	Erste Messergebnisse für 2000 bis 2001.....	162
3.3.6	Literatur zu Kapitel 3.3.....	168
<b>4</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>169</b>
4.1	Gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen .....	169
4.2	Ionen im Niederschlag .....	171
4.3	Spezielle Umweltprobleme (Kapitel 3).....	171
4.3.1	Messungen von Feinstaub im Messnetz des UBA .....	171
4.3.2	Die Ozonepisoden in Deutschland im Juli und August 2001.....	173
4.3.3	Einführung von Filterpack-Messungen im UBA-Messnetz.....	174
<b>5</b>	<b>EXECUTIVE SUMMARY .....</b>	<b>175</b>
5.1	Gaseous pollutants and particulate matter .....	175
5.2	Ions in precipitation .....	176
5.3	Specific environmental topics .....	177
5.3.1.	Measurements of fine particul. matter in the FEA network ....	177
5.3.2	Ozone episodes in Germany during July and August 2001 .....	178
5.3.3	Installation of filterpack method in the FEA network.....	179

## VORWORT

Das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (*Ref. 1*) Mitte der 60er Jahre gegründete und im Jahre 1974 vom Umweltbundesamt übernommene Messnetz zur Überwachung der großräumigen Luftqualität in der zentral-europäischen Atmosphäre hat seit mehr als 30 Jahren über die Ergebnisse seiner Messungen berichtet: zuerst in Form von unregelmäßig erscheinenden Forschungsberichten und ab 1974 in Form von Monatsberichten. Die "Monatsberichte aus dem Messnetz" erschienen bis Ende 1998 im Abstand von 2 Monaten mit einer Auflage von 500 Stück.

Um die Öffentlichkeitswirksamkeit der Arbeit im Messnetz qualitativ zu verbessern und gleichzeitig die Kosten zu senken, wurde ein neues Konzept für die Berichterstattung entwickelt: Die bisher in den Monatsberichten in gedruckter Form veröffentlichten Daten erscheinen seit Juni 1999 im Internet zusammen mit Informationen über das Messnetz unter folgender Internet-Adresse:

**<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/mbm/>**

Dies ermöglicht den Interessenten einen schnelleren Zugriff auf die Messnetzdaten. Der Druck und damit der Versand der Monatsberichte wurde eingestellt. Gleichzeitig wurde erstmals für das Jahr 1998 ein Jahresbericht des Messnetzes herausgegeben. Die Berichterstattung wird nach der bisherigen Veröffentlichung der Berichte zu den Messwerten der Jahre 1998 bis 2000 mit dem hier vorgelegten Bericht zum Jahr 2001 fortgeführt. **Die deutsche und die englische Zusammenfassung (Kapitel 4.1 und 4.2) sowie die Berichte aus Kapitel 3 sind unter o.g. Internet-Adresse verfügbar. Dies gilt auch für die Berichte der Jahre 1998 bis 2000 sowie die deutsche Fassung der Messnetzbroschüre „Luft kennt keine Grenzen“.**

Zusätzlich werden ab dem Sommer 2000 die SO<sub>2</sub>-, NO<sub>2</sub>-, Ozon- und PM<sub>10</sub>-Werte der Messnetze der deutschen Länder und des Umweltbundesamtes zusammen aktuell im Internet als Karten und Tabellen zur schnellen Information der Bevölkerung dargestellt. Die Internet-Adresse dieser Online-Darstellung, die alle 3 Stunden aktualisiert wird, lautet:

**<http://www.umweltbundesamt.net/immission/admin/Test/>**

**Der hier vorliegende Jahresbericht gliedert sich im Wesentlichen in drei Teile:**

- Im ersten Kapitel wird das Messnetz des Umweltbundesamtes mit seinen Stationen, Aufgaben und Messprogrammen vorgestellt. Dieser Abschnitt wurde in wesentlichen Teilen aus der Messnetz-Broschüre "Luft kennt keine Grenzen" (*Ref. 2*) übernommen. Dieser Teil ist - jeweils auf den neuesten Stand gebracht - in allen folgenden Jahresberichten enthalten, um dem Leser das mühsame Suchen der zum Verständnis der folgenden Kapitel notwendigen Informationen in früheren Berichten zu ersparen.
- Im zweiten Kapitel werden die Ergebnisse der Messungen aus dem Jahre 2001 zusammenfassend dargestellt, bewertet und mit den Messungen aus früheren Jahren verglichen. Die Messergebnisse aus dem Jahre 2001 werden größtenteils in Form von

Monatswerten tabellarisch dargestellt. Der Vergleich mit früheren Jahren erfolgt in Form von Jahreswerten. Für Leser, die an einer höheren zeitlichen Auflösung der Daten interessiert sind, besteht die Möglichkeit, die entsprechenden Daten direkt in der Datenzentrale Langen anzufordern:

Adresse:

Umweltbundesamt

FG II 6.6 – Messnetzdatenzentrale

Karin Uhse

Paul-Ehrlich-Straße 29

D-63225 Langen

Tel.: ++49/6103/704-104

Fax.: ++49/6103/704-184

email: karin.uhse@uba.de

- Das dritte Kapitel enthält Übersichtsartikel zu speziellen Umweltproblemen, die in einem größeren zeitlichen und räumlichen Kontext unter besonderer Berücksichtigung der Beiträge aus dem Messnetz dargestellt werden. Der vorliegende Bericht greift das Thema Ozon und Feinstaub unter verschiedenen Gesichtspunkten auf.

Über die gleichfalls vom Messnetz an 3 Stationen (Zingst, Schauinsland und Langen) gemeinsam mit dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) durchgeführten UV-Messungen wird in einem gesonderten Jahresbericht ausführlich berichtet. Er ist unter nachfolgender Adresse im Internet aufrufbar:

**<http://www.bfs.de/uvi/index.htm>**

## KURZFASSUNG

Im vorliegenden Jahresbericht werden die Ergebnisse aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes für das Jahr 2001 präsentiert, interpretiert und mit den Messungen aus früheren Jahren verglichen. Das UBA-Messnetz besteht heute aus insgesamt 23 Stationen in ländlichen Regionen, wovon 9 Messstellen personell besetzt und 14 automatisch arbeitende Containerstationen sind. Die Messdaten sind in sich homogen und wurden einer eingehenden Qualitätskontrolle unterzogen.

Die Maßnahmen zur Reduzierung der Luftverunreinigungen haben während der letzten Jahrzehnte bei einer Reihe von Luftschadstoffen zu einem bemerkenswerten Rückgang der Konzentrationen geführt und somit – insbesondere nach 1990 – zu einer erheblichen Verbesserung der Luftqualität.

So wurden beispielsweise im Jahre 2001 die niedrigsten  $\text{SO}_2$ - und Schwebstaub(Feinstaub)-Massenkonzentrationen im Messnetz des Umweltbundesamtes seit Beginn der Messungen Ende der 60er und Anfang der 70er Jahre gemessen. Erfreulich ist auch der deutliche Anstieg der pH-Werte im Regen während der letzten 2 Jahrzehnte von 4.2 bis 4.3 im Jahre 1982 auf 4.7 bis 5.0 im Jahre 2001, d.h. der Regen ist heute erheblich weniger sauer als vor 20 Jahren.

Eine weitere erfreuliche Entwicklung ist der Rückgang der Ozonspitzenwerte während der letzten 12 Jahre, der im Wesentlichen auf die Reduzierung der Ozonvorläufer ( $\text{NO}_x$ , VOC) in Deutschland und in einigen deutschen Nachbarstaaten zurückzuführen ist. Im Gegensatz zu den Ozon-Spitzenwerten haben die mittleren Ozonkonzentrationen im gleichen Zeitraum zugenommen. Diese Zunahme ist auf die Reduzierung der Stickoxide (Titrationseffekt) in Deutschland sowie sehr wahrscheinlich auf den zunehmenden Beitrag aus dem nord-hemisphärischen Hintergrund-Ozon zurückzuführen. Eine ähnliche Entwicklung, nämlich ein Rückgang der Ozon-Spitzenwerte und eine Zunahme der Mittelwerte, wurde auch in Österreich, der Schweiz sowie in Großbritannien beobachtet.

Die Maßnahmen zur Reduzierung der Luftverunreinigungen haben nicht bei allen Luftschadstoffen zu einem entsprechenden Rückgang der Konzentrationen geführt. Für eine Reihe von Stoffen haben die Konzentrationen weiter zugenommen (z.B.  $\text{CO}_2$  um ca. 0.4 %/Jahr;  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  um ca. 0.2%/Jahr), für andere Schadstoffe haben sie nicht in dem Maße abgenommen, wie dies aufgrund der erheblichen Emissionsreduzierungen in Deutschland zu erwarten gewesen wäre (z.B.  $\text{NO}_x$ , Feinstaub). Die Ursache für den Anstieg oder den vergleichsweise geringeren Rückgang der Konzentrationen dürfte im Wesentlichen in den unterschiedlichen Beiträgen des Ferntransports zu den in Deutschland gemessenen Schadstoffkonzentrationen liegen. Während der Ferntransport bei  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  auch wegen der langen atmosphärischen Verweilzeit vor allem aus außereuropäischen Quellen der Nord- und Südhalbkugel zu den Konzentrationen dieser Treibhausgase in Deutschland beiträgt, sind für den gegenüber dem erheblichen Rückgang der Emissionen von  $\text{NO}_x$  und Feinstaub vergleichsweise geringeren Rückgang der Konzentrationen dieser Stoffe in Deutschland vor allem die hohen Beiträge des Ferntransportes aus einigen deutschen Nachbarstaaten verantwortlich. Beim  $\text{NO}_x$  könnte die Nichtberücksichtigung der  $\text{NO}$ -Emissionen aus Böden in den Emissionsinventaren des UBA ein möglicher weiterer Grund für die vergleichsweise langsame Abnahme der  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen sein.

Der Ferntransport muss in den kommenden Jahren in zunehmendem Maße bei der nationalen und internationalen Umweltgesetzgebung berücksichtigt werden, da bereits heute einige der sehr niedrigen Zielwerte für den Schutz von menschlicher Gesundheit und Vegetation ohne eine Verminderung der Beiträge des Ferntransportes nur schwer einzuhalten sind (z.B. AOT40-Wert beim Ozon). Vor diesem Hintergrund bleibt die Überwachung der großräumigen Verteilungen einer Reihe von Luftschadstoffen eine bedeutende Aufgabe für das UBA-Messnetz.

## ABSTRACT

In this annual report the results of the air pollution monitoring network of the Federal Environmental Agency (FEA) are presented for the year 2001. The results for 2001 are evaluated and compared with previous measurements which started in the late 1960s. In 2001 the network consisted of 23 stations which are situated in rural areas. As the data set was thoroughly quality controlled reliable statements about long-term trends of air pollutants can be made.

Due to the stringent emission reductions in Germany and in some other European countries air quality in Germany has considerably improved over the last two decades especially in the years after 1990. As examples, lowest concentrations of SO<sub>2</sub> and fine particle mass have been observed in 2001 since the beginning of measurements in the late 1960s. Other examples are the increase of rainwater pH from 4.2 to 4.3 in 1982 to 4.7 to 5.0 in 2001 (i.e. today rain is much less acidic than 20 years ago) and the decline of ozone peak values over the last 12 years. The decline of ozone peak values was due to emission reductions of NO<sub>x</sub> and VOC in Germany and in some neighbouring countries.

In contrast to peak values ozone mean concentrations have increased over the same time period. The increase of ozone mean values is most likely a result of NO<sub>x</sub> emission reductions (NO<sub>x</sub> is emitted as NO) in combination with an increasing contribution of the northern hemispheric ozone background to the European ozone level.

On the other hand concentrations of a series of air pollutants have continued to rise (for example CO<sub>2</sub> by ca. 0.4%/year; CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O by ca. 0.2 %/year) in spite of considerable emission reductions of these greenhouse gases in Germany between 1990 and 2001. For other air pollutants concentrations have not decreased to the extent they should have in light of the considerable emission reductions in Germany (for example NO<sub>x</sub>, fine particle mass).

The reason for the rising (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) or relatively slowly decreasing (NO<sub>x</sub>, fine particle mass) concentrations is the different extent to which medium and long-range transport of air pollutants contribute to the pollutant levels observed in Germany. The concentration level of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in Germany is largely determined by non-European sources in the northern and southern hemisphere whereas the concentration levels of NO<sub>x</sub> and fine particle mass are strongly influenced by medium range transport from some European countries.

Taking into account the considerable emission reductions in Germany in the past and the predicted reductions in the future the contribution of medium and long range transport to the pollutant concentrations in this country becomes more and more important including the intercontinental transport of air pollutants (for example CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub>). There is well documented evidence that intercontinental transport of ozone is important with respect to accumulated pollutant exposure (for example AOT40 for the protection of vegetation). As objectives and air quality standards in the states of the European Union are made more stringent, the contribution of intercontinental transport to exceedances of those objectives will increase.

Against this background pollutant measurements in the large scale including their long-term trends remain an important task for the FEA monitoring network.

# 1. DAS MESSNETZ DES UMWELT-BUNDESAMTES

## 1.1 Lage der Messstellen

Das Luftmessnetz des Umweltbundesamtes besteht seit über 30 Jahren. Es wurde Mitte der 60er Jahre von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gegründet und 1974 vom Umweltbundesamt übernommen. Nähere Informationen über die Entwicklung des Messnetzes sind in den Referenzen 1 und 2 enthalten. Das Ziel für die Errichtung des Messnetzes war, die Zusammensetzung von "Normalluft" kennen zu lernen, die als Bezug für biologische und medizinische Wirkungsuntersuchungen in Gebieten mit erhöhten Verunreinigungen der Luft dienen sollte. Unter "Normalluft" wollte man dabei die über einen größeren Raum und eine längere Zeit repräsentative Luftzusammensetzung verstehen. Die Messstellen des UBA-Messnetzes liegen deshalb in ländlichen Gebieten außerhalb von Städten und Ballungsgebieten. Seit seiner Gründung hat sich das Messnetz durch entsprechende Umstrukturierungen kontinuierlich neuen und gestiegenen Anforderungen angepasst. Nach der Wiedervereinigung wurde das Messnetz durch die Eingliederung von Stationen in den neuen Ländern beträchtlich erweitert.

**Das Luftmessnetz besteht heute aus neun Messstellen, an denen Mitarbeiter des Umweltbundesamtes beschäftigt sind:**

WESTERLAND	ZINGST
WALDHOF	NEUGLOBSOW
DEUSELBACH	SCHMÜCKE
SCHAUINSLAND	BROTJACKLRIEGEL
	ZUGSPITZE

Zusätzlich sind 14 automatisch arbeitende Containerstationen eingerichtet. Die geographische Lage der im Jahre 2001 betriebenen personell besetzten Messstellen und der Containerstationen ist in Abbildung 1 dargestellt. Tabelle 1 enthält die geographischen Koordinaten der 35 UBA-Messstationen, deren Höhen über NN sowie Beginn und Ende der Messtätigkeit. Diese große Anzahl der Stationen ergibt sich daraus, dass 1998/1999 einige Container versetzt und an einigen Standorten die Messungen komplett eingestellt wurden. Dies ist auch bei allen nachfolgenden Tabellen zu beachten.



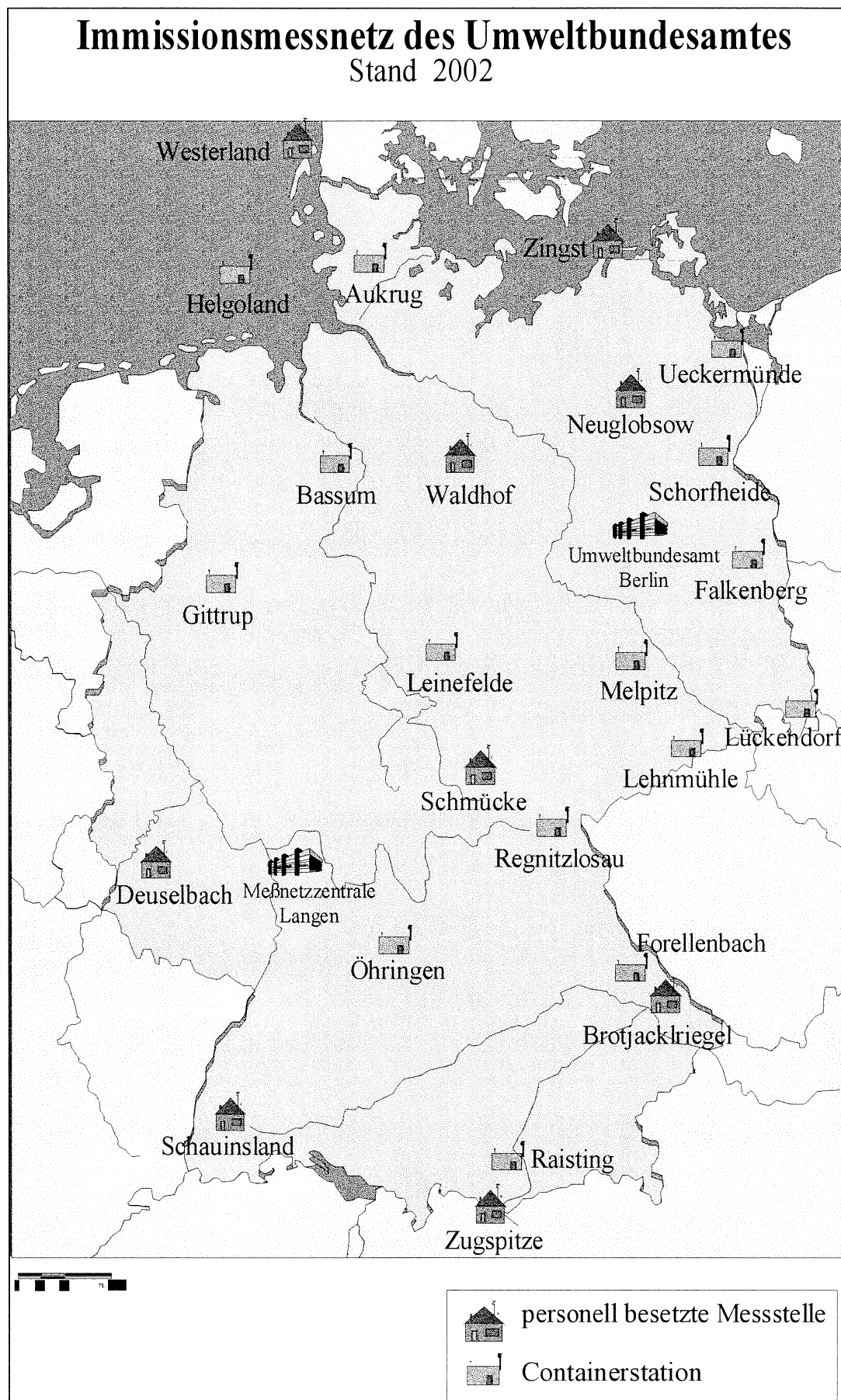


Abbildung 1: Das Messnetz des Umweltbundesamtes

Tabelle 1: Geographische Lage der Messstellen

Stationsname	Stations-Kennung	geographische Koordinaten		Höhe ü NN in m	Messbeginn	Messende
		Nord	Ost			
Angermünde	AN	53°01'54"	13°59'37"	56	Jul 91	Apr 99
Ansbach	AS	49°14'54"	10°35'07"	481	1976	Mrz 01
Aukrug	AU	54°04'29"	09°47'34"	15	Jul 98	
Bassum	BA	52°51'08"	08°42'05"	52	1976	
Brotjacklriegel	BR	48°49'05"	13°13'11"	1016	1968	
Deuselbach	DE	49°45'47"	07°03'18"	480	1967	
Doberlug-Kirchhain	DL	51°38'49"	13°34'31"	97	Mär 91	Okt 98
Falkenberg	FA	52°10'01"	14°07'27"	73	Okt 98	
Forellenbach *	FB	48°56'55"	13°25'20"	858	Jan 00	
Gittrup	GI	52°02'38"	07°40'23"	43	Sep 87	
Herleshausen	HE	51°02'19"	10°09'13"	380	Jun 89	Jan 99
Helgoland	HG	54°11'18"	07°52'38"	50	Aug 93	
Hohenwestedt	HW	54°06'58"	09°42'44"	75	1976	Jun 98
Kyritz	KY	52°56'19"	12°24'41"	40	Mär 91	Jul 98
Leinefelde	LF	51°23'39"	10°18'49"	356	Dez 91	
Lindenberg	LI	52°12'44"	14°07'15"	98	Mär 91	Okt 98
Lehnmühle	LM	50°49'55"	13°35'18"	527	Nov 93	
Lückendorf	LU	50°49'44"	14°47'17"	490	Nov 91	
Meinerzhagen	ME	51°05'56"	07°40'04"	510	1976	Aug 98
Melpitz	MP	51°31'32"	12°55'39"	86	Nov 93	
Murnauer Moos	MU	47°39'05"	11°12'12"	622	Feb 95	Mai 99
Neuglobsow	NG	53°08'34"	13°02'00"	65	Nov 91	
Öhringen	OE	49°14'32"	09°26'50"	283	Apr 01	
Raisting	RS	47°53'59"	11°06'45"	552	Jun 01	
Regnitzlosau	RE	50°18'28"	12°03'49"	595	Sep 87	
Rottenburg	RT	48°27'21"	08°57'29"	427	1976	Dez 98
Schauinsland	SC	47°54'51"	07°54'32"	1205	1968	
Schmücke	SM	50°39'19"	10°46'15"	937	Jun 91	
Schorfheide	SH	52°58'24"	13°38'48"	70	Apr 99	
Schwerin	SW	53°38'21"	11°23'43"	59	Sep 90	Jun 98
Schleiz	SZ	50°34'11"	11°48'22"	501	Sep 90	Dez 98
Teterow	TE	53°45'50"	12°37'05"	46	Jul 91	Sep 98
Ueckermünde	UE	53°45'03"	14°04'24"	1	Jul 91	
Waldhof	WA	52°48'08"	10°45'29"	74	1970	
Westerland	WE	54°55'36"	08°18'33"	12	1968	
Wiesenburg	WI	52°07'21"	12°27'41"	107	Sep 90	Mär 99
Zingst	ZG	54°26'19"	12°43'25"	1	Sep 91	
Zugspitze	ZU	47°24'54"	10°58'55"	2963	Jan 94	

\* Messstelle im Rahmen des Integrated Monitoring Programms (Qualitätssicherung durch das Messnetz)

## 1.2 Messprogramm

Das derzeitige Messprogramm ist in der Tabelle 2 übersichtlich zusammengestellt (Stand: Januar 2001). In den Tabellen sind nur die Messverfahren mit der höchsten zeitlichen Auflösung angegeben. Die Messverfahren sind der Tabelle 3 zu entnehmen. Alle in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  angegebenen Messwerte sind auf 20°C und 1013 hPa bezogen. Die im Messnetz des UBA gewonnenen Datensätze sind in Bezug auf Probenahme und Analyse konsistent und homogen. Sie werden eingehenden Qualitätskontrollen unterzogen, so dass belastbare Trendaussagen möglich sind.

Die Betriebszentrale für das Messnetz des Umweltbundesamtes zog im Juli 1998 von Offenbach nach Langen, das sich ca. 30 km südlich von Frankfurt/Main befindet. Hier sind zusammen mit anderen Fachgebieten u.a. die Zentrallabors, die Betriebszentrale und die Messnetzdatenzentrale untergebracht. Die Messnetzleitung befindet sich im Umweltbundesamt in Berlin. In den Zentrallabors werden mit hochempfindlichen Geräten die Schwermetallgehalte des Niederschlages und des Schwebstaubs einschließlich Quecksilber analysiert. Dazu ist ein erheblicher Aufwand bei der Probenahme, dem Probenaufschluss und der Analyse nach verschiedensten Methoden wie z.B. Gaschromatographie, Atomabsorptionsspektroskopie oder Plasma-Massenspektrometrie (ICP/MS) notwendig. Die Niederschlagsproben und die Staubfilter für die Analysen werden an den personell besetzten Messstellen gesammelt und im Zentrallabor in Langen analysiert. Die Analyse der Ionen im Niederschlag (daily bulk) erfolgt für das gesamte Messnetz im Zentrallabor in Langen, die Analyse der imprägnierten Filter im Zentrallabor auf dem Schauinsland und die Analyse der VOC auf der Schmücke.

Eine Reihe von Messaufgaben muss aus Kapazitätsgründen vergeben werden. Dies betrifft die Analyse von Carbonyl- und POP-Proben im Labor für Wasseranalytik des UBA, den Betrieb und die Analytik des wet-only-Messnetzes sowie einen Teil der Containerwartung.

In der Messnetzdatenzentrale laufen alle Werte aus dem Messnetz zusammen. Stündlich werden die Messwerte der kontinuierlich registrierenden Analysatoren von 8 der 9 Messstellen (außer der GAW-Station Zugspitze) und 14 Containern via ISDN abgerufen und die Ozon- und Meteorologie-Werte in das Sommer-Smog-Informationen-System zur UMEG nach Karlsruhe weitergeleitet. Die Ergebnisse der  $\text{SO}_2$ -, NO-,  $\text{NO}_2$ - und Staubmessungen werden zusammen mit den Werten aus den deutschen Ländern nach Berlin weitergeleitet und dort von dem Fachgebiet II 6.2 alle 3 Stunden aktualisiert im Internet in Form von Karten und tabellarisch dargestellt. Wöchentlich werden Messgeräte-Funktionskontrollen durchgeführt und Störungen an die Wartungsteams weitergeleitet. Monatlich werden die Messwerte auf ihre Plausibilität überprüft und gegebenenfalls korrigiert und danach in die Datenbank eingespeist. Dort stehen sie in verschiedenen Aggregierungsformen für Datenanfragen, Auswertungen, Berichte und für den nationalen und internationalen Datenaustausch zur Verfügung.

In Fragen der Qualitätssicherung besteht eine enge Zusammenarbeit mit der Pilotstation (Fachgebiet II 6.5) des UBA in Langen. Von diesem Fachgebiet werden auch die Aufgaben im Zusammenhang mit Integrated Monitoring betreut.

Tabelle 2: Messprogramm des Messnetzes des Umweltbundesamtes

Messstelle	Bestimmungen von Gasen										
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	SF <sub>6</sub> /N <sub>2</sub> O	PAN	Hg	KW/FCKW	VOC	Carbonyle
Aukrug	R	R	R								
Bassum	R	R	R								
Brotjacklriegel	R	R	R	R						3T	2T
Deuselbach	R	R	R	R	R				T		
Falkenberg	R	R	R								
Forellenbach	R	R	R								
Gittrup	R	R	R								
Helgoland	R	R	R								
Langen											
Lehnmühle	R	R	R								
Leinefelde	R	R	R								
Lückendorf	R	R	R								
Melpitz	R	R	R								
Neuglobsow	R	R	R	R	R						
Öhringen	R	R	R								
Raisting	R	R	R								
Regnitzlosau	R	R	R								
Schauinsland	R	R	R	R	R	R	R		T		
Schmücke	R	R	R	R	R					3T	2T
Schorfheide	R	R	R								
Ueckermünde	R	R	R								
Waldhof	R	R	R	R			R	R		3T	2T
Westerland	R	R	R	R							
Zingst	R	R	R	R	R		R	R		3T	2T
Zugspitze	R	R	R	R	R	R	R		T	3T	2T

Messstelle	Bestimmungen im Schwebstaub					Meteoro- logie	Bestimmungen im Niederschlag				Strahlung	
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	SO <sub>4</sub>	Σ N	SM		Menge	pH/LF	Ionen	SM	UV	G
Aukrug	R					R						
Bassum	R					R						
Brotjacklriegel	R				M	R	W	W	W	W		
Deuselbach	R	T	T	T	M	R	T	T	T	W		
Falkenberg	R					R	W	W	W			
Forellenbach						R	W	W	W			R
Gittrup	R					R						
Helgoland	T					R	W	W	W			
Langen											R	
Lehnmühle	R					R	W	W	W			
Leinefelde	R					R						
Lückend.	R					R						
Melpitz	R					R	W	W	W			
Neuglobsow	R		T	T	M	R	W	W	W	W		
Öhringen	R					R	W	W	W			
Raisting	R					R	W	W	W			
Regnitzlosau	R					R	W	W	W			
Schauinsland	R	T	T	T	M	R	W	W	W	W	R	R
Schmücke	R				M	R	W	W	W	W		
Schorfheide	R					R						
Ueckermünde	R					R						
Waldhof	R	T			M	R	T	T	T	W		
Westerland	T		T	T	M	R	W	W	W	W		
Zingst	R		T	T	M	R	W	W	W	W	R	R
Zugspitze	R					R	P	P	P	P	R	R

Legende zu Tabelle 2:

<b>Legende:</b>	
<b>SO<sub>2</sub></b>	Schwefeldioxid
<b>NO<sub>x</sub></b>	Stickoxide: Stickstoffoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozon
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlendioxid
<b>CH<sub>4</sub></b>	Methan
<b>SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub>O</b>	Schwefelhexafluorid/Distickstoffoxid
<b>PAN</b>	Peroxyacetylnitrat
<b>Hg</b>	Quecksilber
<b>KW/FCKW</b>	Kohlenwasserstoffe/Fluorchlorkohlenwasserstoffe
<b>VOC</b>	Flüchtige organische Kohlenwasserstoffe
<b>PM<sub>10</sub></b>	Staubteilchen < 10 µm
<b>PM<sub>2.5</sub></b>	Staubteilchen < 2.5 µm
<b>SO<sub>4</sub></b>	Sulfat im Staub
<b>S N</b>	NH <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , HNO <sub>3</sub> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
<b>SM</b>	Schwermetalle: As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb
<b>Meteorologie</b>	Windricht. u. -geschw., Temperatur, Luftdruck, rel. Feuchte
<b>pH/LF</b>	pH-Wert/Leitfähigkeit
<b>Ionen</b>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup>
<b>SM</b>	Schwermetalle: As, Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, V, Zn, Hg
<b>UV</b>	UV-B-Strahlung
<b>G</b>	Globalstrahlung
<b>R</b>	kontinuierlich registrierendes Gerät (Halbstundenwerte)
<b>T</b>	Tagesproben
<b>2T</b>	alle 2 Tage 8-stündige Messung
<b>3T</b>	alle 3 Tage eine Probe
<b>W</b>	Wochenproben
<b>M</b>	Monatsproben
<b>P</b>	geplante Messung

Tabelle 3: Messverfahren im Messnetz des Umweltbundesamtes

Komponente	Messverfahren	Messintervall
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	UV-Fluoreszenz	Halbstunde
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	Imprägnierte Filter/Gaschro.	Tag
Stickoxide: NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>	Chemilumineszenz	Halbstunde
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	Saltzman	Tag
Ozon (O <sub>3</sub> )	UV-Absorption	Halbstunde
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	IR-Absorption	Halbstunde
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	Gaschromatographie	Halbstunde
Methan (CH <sub>4</sub> )	Gaschromatographie	Halbstunde
Lachgas (N <sub>2</sub> O)	Gaschromatographie	Halbstunde
Schwefelhexafluorid (SF <sub>6</sub> )	Gaschromatographie	Halbstunde
Peroxyacetylnitrat (PAN)	Gaschromatographie	Halbstunde
Quecksilber (Hg)	Atomfluoreszenz	Halbstunde
Kohlenwasserstoffe (VOC)	Gaschromatographie	2x wöchent. Momentanpr.
KW/FCKW	Gaschromatographie	Tag
Carbonyle	HPLC	8h 2x w
Temperatur	Thermometer	Halbstunde
Windrichtung und -geschw.	Anemometer	Halbstunde
Relative Luftfeuchte	Hygrometer	Halbstunde
Luftdruck	Barometer	Halbstunde
Niederschlagsmenge	Tropfenzähler	Halbstunde
Niederschlagsmenge	Bulk-Sammler	Tag
Niederschlagsmenge	Wet-only-Sammler	Woche
pH-Wert des Niederschlags	pH-Meter	Tag (daily bulk)
pH-Wert des Niederschlags	pH-Meter	Woche (wet-only)
Leitfähigkeit des Niederschlag	Konduktometrie	Tag (daily bulk)
Leitfähigkeit des Niederschlag	Konduktometrie	Woche (wet-only)
Ionen im Niederschlag	Ionenchromatographie	Tag (daily bulk)
Ionen im Niederschlag	Atomabsorption + Ionenchr.	Woche (wet-only, bulk)
Schwermetalle im Niederschlag	ICP/MS	Woche (wet-only)
Schwermetalle im Staub	ICP/MS	Monat
Gesamtschwebstaub	Beta-Absorption	Halbstunde
PM <sub>10</sub>	Beta-Absorption	Halbstunde
PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub>	Gravimetrie (high volume)	Tag
Sulfat im Staub (SO <sub>4</sub> )	Imprägnierte Filter, Ionenchr.	Tag
Σ NH <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> im Staub	Imprägnierte Filter, Ionenchr.	Tag
Σ HNO <sub>3</sub> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> im Staub	Imprägnierte Filter, Ionenchr.	Tag
Schwermetalle im Staub	ICP/MS	Monat
UV-Spektrum	Monochromator	6 Minuten
Globalstrahlung	Pyranometer	Halbstunde

### 1.3 Aufgaben des Messnetzes

Das Messnetz des UBA hat eine Vielzahl von nationalen und internationalen Aufgaben zu erfüllen:

- **Untersuchungen der weiträumigen grenzüberschreitenden Luftverunreinigung**
- **Messungen zur Vorbereitung gesetzlicher Maßnahmen**
- **Beobachtungen langfristiger Trends von Luftschadstoffen und flächen-deckende Erfassung wichtiger Luftverunreinigungen**
- **Verfolgung klimarelevanter Komponenten**
- **Verfolgung der Entwicklung der UV-Strahlung am Boden als Folge von Veränderungen der stratosphärischen Ozonschicht**
- **Messungen im Rahmen des bundesweiten Ozon-Informationssystems**
- **Ermittlung des Schadstoffeintrages aus der Atmosphäre in die Randmeere Nord- und Ostsee**
- **Mitarbeit bei der Überprüfung der internationalen Abkommen zur Verminderung von Luftverunreinigungen**
- **Mitarbeit in internationalen Messnetzen und Datenlieferungen an internationale Organisationen**
- **Auswertung der Messdaten und regelmäßige Berichterstattung**
- **Regelmäßige Berichterstattung zur Information der Bevölkerung im Internet**

Besondere Bedeutung kommt hierbei international koordinierten Mess-Aktivitäten zu, die auf Grundlage internationaler Verträge durchgeführt werden. Abgesehen von einzelnen, mehr lokalen Problemen ist nicht zu übersehen, dass die lokalen und regionalen Immissionsbelastungen an Bedeutung verlieren und immer stärker großräumige Probleme bis hin zu globalen Herausforderungen, wie Klimaveränderung und stratosphärischer Ozonabbau, im Vordergrund stehen. Sie erfordern weitere Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung und -verminderung.

Das Messnetz des Umweltbundesamtes dient hierbei der Erfolgskontrolle von Abkommen zur Reinhaltung der Luft. Dies gilt nicht nur für Maßnahmen im eigenen Land. Wichtig ist, dass der angestrebte Effekt - z.B. Reduzierung des Sommersmogs als großräumiges Problem - erreicht wird. Gegebenenfalls lassen sich aus den Messresultaten in Verbindung mit meteorologischen Daten Hinweise erhalten, in welchen Staaten die Anstrengungen verstärkt fortgeführt werden müssen.

Seit der Vereinigung Deutschlands wurden in den neuen Ländern in starkem Umfang Emissionsminderungsmaßnahmen durch Einsatz modernster Anlagen an den Stand der Technik durchgeführt. Die dadurch hervorgerufenen Veränderungen der Luftqualität werden durch das Immissionsmessnetz des Umweltbundesamtes verfolgt.

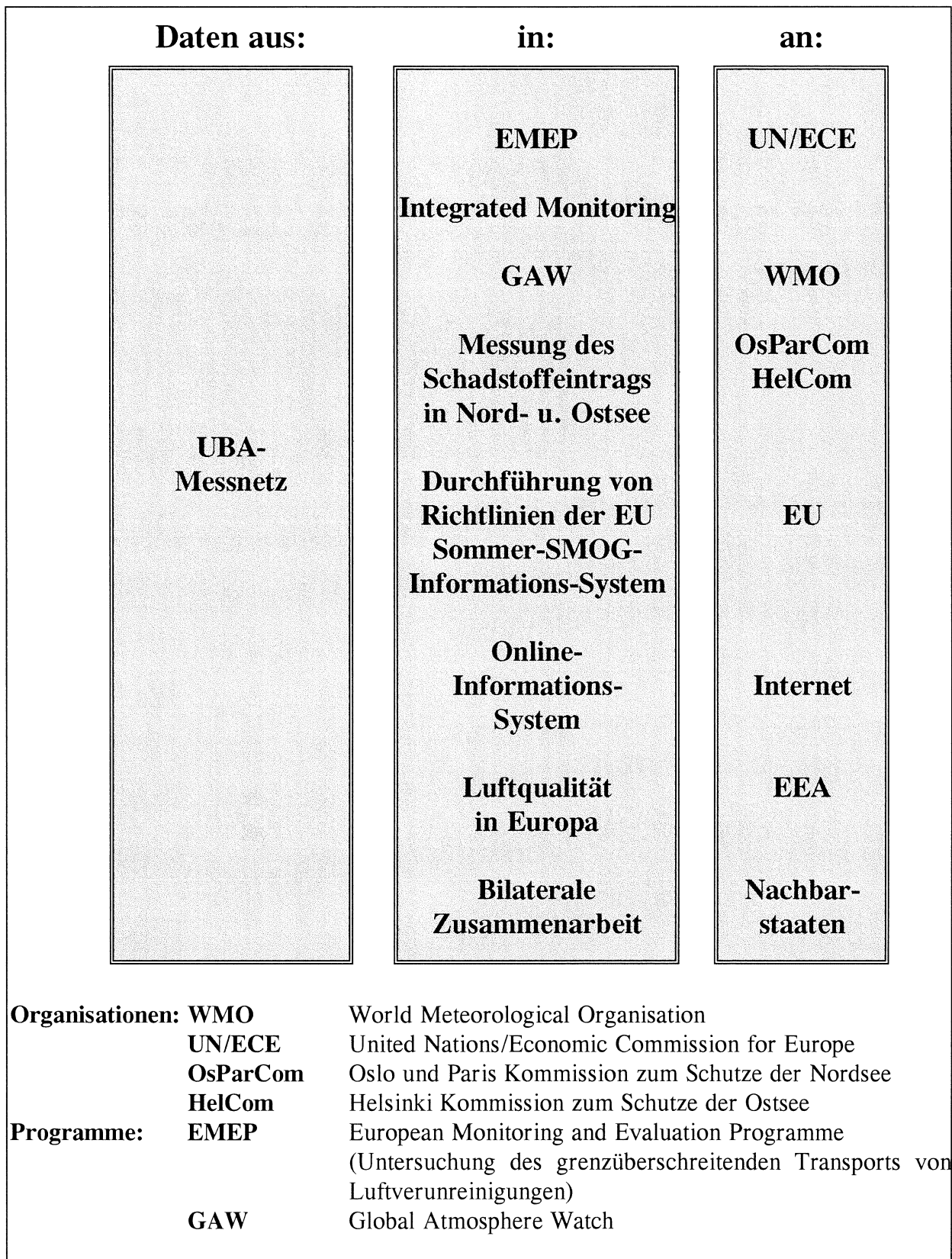


Abbildung 2: Einbeziehung der Messdaten des Umweltbundesamtes in internationale und nationale Programme

Zunehmende Bedeutung hat auch die Palette der organischen Verbindungen und dies aus verschiedenen Gründen. Teils sind sie wichtig für die Entstehung des Sommersmogs, teils



besitzen sie kanzerogene Eigenschaften oder sind auf andere Weise toxisch. Langlebige halogenierte Kohlenwasserstoffe greifen in die Chemie der Stratosphäre ein und werden unter anderem für das "Ozonloch" über der Antarktis verantwortlich gemacht. Manche Kohlenwasserstoffe in der Luft sind natürlichen Ursprungs. Ihr Anteil muss ermittelt werden, will man Minderungspotentiale realistisch abschätzen.

Nicht nur in der Frage der zukünftigen Aufgabenstellungen und der Messobjekte sind Änderungen und Weiterentwicklungen zu erwarten. Sowohl die Bewältigung der Daten als auch das wachsende Interesse der Öffentlichkeit an Informationen über die Umwelt erfordern neue Wege der Datenübertragung sowie der Verbreitung und Veröffentlichung von Messwerten.

Zunehmend setzt sich die Erkenntnis durch, dass nicht einzelne Messungen, sondern vielmehr eine umfassende Umweltbewertung national und international notwendig ist, d.h. neben der Erfassung der Stoffkonzentrationen in den einzelnen Umweltmedien tritt die multimediale Umweltbeobachtung einschließlich der Kontrolle der Wirkungen auf den Menschen und die Ökosysteme in den Vordergrund. Diesem Trend entsprechend wurde beginnend an der Station Brotjacklriegel in Realisierung des "Integrated Monitoring Programms" im Rahmen der Genfer Luftreinhaltekonvention UN/ECE mit Messungen in den Medien Luft, Niederschlag, Boden, Oberflächen-, Sicker-, Grundwasser und Biota begonnen. Auch an der Messstelle Neuglobsow wurden 1998 Messeinrichtungen für das Integrated Monitoring Programm aufgestellt. Im Rahmen der Neuorganisation des UBA wurde mittlerweile die Verantwortung für das Integrated Monitoring Programm dem Fachgebiet „Experimentelles Monitoring“ übertragen, wobei seitens des Messnetzes weiterhin die Qualitätssicherung für die Immissionsmessungen am Standort Forellenbach durchgeführt wird.

Generell wird bei Schaffung des Europäischen Umweltinformations- und Umweltbeobachtungsnetzes unter Beachtung der Repräsentativität der Stationen das UBA-Messnetz ein Kernstück bilden, mit dessen Hilfe die sektoral ausgerichteten Umweltüberwachungsprogramme angesiedelt und räumlich, zeitlich sowie inhaltlich verknüpft werden (für immissionsökologische Untersuchungen). Die Erfahrung der vergangenen Jahrzehnte zeigt, dass die Öffentlichkeit von Umweltdaten eine notwendige Voraussetzung für die Lösung von Umweltproblemen ist. Das Immissionsmessnetz des Umweltbundesamtes will hierzu einen Beitrag liefern.

Die in Abbildung 2 aufgeführten Aufgaben bestimmen zu einem hohen Anteil die Arbeit des Messnetzes. Dies wird auch in Zukunft so sein. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass sich die Proportionen zwischen den Messaufgaben verschieben, wobei vor allem aus den internationalen Programmen Festlegungen resultieren, neue Komponenten zu überwachen oder neue vereinheitlichte Messmethoden zur Überwachung anzuwenden. Hintergrund des letzt genannten Aspektes sind die notwendigen Bestrebungen, die Qualität und Vergleichbarkeit der von verschiedenen Ländern, Messnetzen und Stationen gewonnenen Daten für das gesamte jeweilige Überwachungsgebiet (z.B. EMEP für ganz Europa) auf das für die Beurteilung der interessierenden Sachverhalte (z.B. bei GAW Einflüsse der Luftverunreinigung auf das Klima) erforderliche Niveau zu heben.

Schwerpunkte der Arbeit der kommenden Jahre sind vor allem die Aufgaben, die sich aus den im Rahmen des Genfer Luftreinhalteabkommens unterzeichneten Protokollen (VOC,

Schwermetalle, POP's) ergeben. Die intensiven Abstimmungen zwischen den Programmen von EMEP, GAW, HelCom und OsParCom führen zu vergleichbaren Anforderungen bei Messmethoden und Datenformaten zur Berichterstattung. Auf diese Weise können z.T. die Messwerte für mehrere Programme verwendet werden. Die notwendigen Vorbereitungen zur Messung von flüchtigen Kohlenwasserstoffen und Carbonylverbindungen (VOC-Protokoll), Schwermetallen als  $PM_{10}$ - und  $PM_{2,5}$ -Fraktion, im Niederschlag (Schwermetall-Protokoll), aber auch polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) und chlororganischen Verbindungen (im Rahmen von OsPar und HelCom) haben ein Stadium erreicht, das den experimentellen Messungen im Jahr 2000 dauerhaften Charakter verliehen hat.

Neu sind auch die Messungen, die im Rahmen des weltweiten Atmosphärenüberwachungsprogramms (GAW) der WMO an der gemeinsamen Globalstation Zugspitze/Hohenpeißenberg von UBA und DWD begonnen haben. Bestandteil des Programms sind vor allem klimarelevante Gase (Treibhausgase), wie  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ,  $SF_6$  und Fluorchlorkohlenwasserstoffe. Letztere sind äußerst langlebig. Ihre besondere Wirkung der Ozonzerstörung entfalten sie in der Stratosphäre. Darüber hinaus gehören luftchemisch reaktive Komponenten wie  $NO_x$ ,  $NO_y$ , CO, Ozon und PAN zum Messprogramm.

Zusätzlich zur Messung neuer Komponenten wurden zur Qualitätssteigerung auch neue Messmethoden eingeführt. Gleichzeitig wurde die Anzahl und Lage der Stationen optimiert. So wurde die Anzahl der Containerstandorte von 23 auf 13 und die Anzahl der wet-only-Probenahme-Standorte von 30 auf 20 reduziert.

Im Rahmen des Konzeptes der ökologischen Umweltbeobachtung bildet das UBA-Messnetz einen Kernbestandteil der Aktivitäten des Bundes. Das Konzept verknüpft sektoral und übergreifend angelegte Überwachungsprogramme aus Bund und Ländern. Das Messnetz des Umweltbundesamtes wird hierzu seinen Beitrag liefern.

## 1.4 Literatur zu Kapitel 1

(1) Junge, C. (1970)

*Repräsentanz luftchemischer Messungen an Background-Stationen, DFG Mitteilung VII, Kommission zur Erforschung der Luftverunreinigung, Mainz, Oktober 1970, S.5-20.*

(2) UBA (2000)

*Broschüre: Air knows no borders, Dezember 2000, Redaktion: Karin Uhse*

## 2. ERGEBNISSE DER IMMISSIONS-MESSUNGEN 2001 UND VERGLEICH MIT FRÜHEREN WERTEN

Die Messwerte der 22 Stationen des UBA-Messnetzes für das Jahr 2001 werden als Monats- und Jahresmittel, monatliche und jährliche Perzentile sowie als maximale monatliche Halbstundenmittel hauptsächlich in Tabellenform präsentiert. Den Perzentilen - mit Ausnahme der für Ozon (Bezugszeitraum 1 h) - liegen halbstündige Messwerte zugrunde. Der Vergleich der 2001er Daten mit früheren Werten erfolgt im Wesentlichen auf der Basis der Jahresmittelwerte. Leser, die an einer höheren zeitlichen Auflösung der Messdaten interessiert sind, können die Daten direkt in der Messnetzdatenzentrale in Langen anfordern. In den Tabellen werden die Stationen durch Stationskennungen (zwei Buchstaben) abgekürzt wiedergegeben, wobei die Reihung der Stationen nach geographischen Gesichtspunkten von Nord nach Süd vorgenommen wurde. In Tabelle 1 (Kapitel 1.1) sind die entsprechenden Stationsnamen und deren Kennungen nochmals in alphabetischer Reihenfolge zusammengestellt. Die genaue geographische Lage der Stationen ist ebenfalls Tabelle 1 zu entnehmen. Die NO-, NO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>- und Ozon-Messwerte sind auf 20 °C bezogen.

### 2.1 Gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen

#### 2.1.1 Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)

Auch im Jahre 2001 hat sich der Rückgang der SO<sub>2</sub>-Konzentrationen fortgesetzt. Im Jahre 2001 wurden an fast allen Stationen in den alten und neuen Ländern die niedrigsten SO<sub>2</sub>-Konzentrationen seit Beginn der Messungen in den frühen 70er und 80er Jahren beobachtet. In Tabelle 4 sind die Monats- und Jahresmittel der SO<sub>2</sub>-Konzentrationen und in Tabelle 5 die maximalen monatlichen Halbstundenwerte für 2001 aufgelistet. Die höchsten Jahreswerte wurden an den beiden sächsischen Stationen Lückendorf (Schwarzes Dreieck im Zittauer Gebirge) mit 5.6 µg/m<sup>3</sup> (gegenüber 5.9 µg/m<sup>3</sup> in 2000 und 10 µg/m<sup>3</sup> in 1999) sowie Lehmühle (Osterzgebirge) mit 5.0 µg/m<sup>3</sup> (gegenüber 6.3 µg/m<sup>3</sup> in 2000 und 7 µg/m<sup>3</sup> in 1999) gemessen. Es folgen Regnitzlosau (Nordostbayern) mit 4.4 µg/m<sup>3</sup> und Falkenberg (ca. 60 km südöstlich von Berlin) mit 4.0 µg/m<sup>3</sup>. Die höchsten Halbstundenwerte wurden an der Station Lückendorf im Dreiländereck zwischen Deutschland, Polen und Tschechien gemessen: 162 µg/m<sup>3</sup> im Dezember, 142 µg/m<sup>3</sup> im Mai, 123 µg/m<sup>3</sup> im August sowie 103 µg/m<sup>3</sup> im Juni. Dagegen lagen die höchsten Halbstundenwerte an den anderen Stationen deutlich unterhalb von 100 µg/m<sup>3</sup> (Tabelle 8).

Die monatlichen 50-Perzentile (Median) sind in Tabelle 6, die 98-Perzentile in Tabelle 7 und die jährlichen Maxima und Minima der Halbstundenwerte in Tabelle 8 angegeben. Die Perzentile geben an, wieviel Prozent der Werte unterhalb des angegebenen Konzentrationsniveaus liegen. So lagen beispielsweise in Lückendorf im Jahre 2001 98% aller SO<sub>2</sub>-Halbstundenwerte unterhalb von 26 µg/m<sup>3</sup> und 50% unterhalb von 3 µg/m<sup>3</sup>. Aus den Werten in Tabelle 8 ist zu erkennen, dass für viele Stationen beim 25-Perzentil und z.T. beim 50-Perzentil die Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze der bisher eingesetzten Messgeräte liegen und somit hier die Nachweisgrenze angegeben wird.

Besonders auffallend ist weiterhin der starke Abfall der Spitzenkonzentrationen im Jahre 2001 gegenüber den Vorjahren an einigen Stationen in den neuen Ländern, die noch bis 1997 erhöhte  $\text{SO}_2$ -Belastungen aufwiesen, wie Abbildung 3 bis Abbildung 5 anhand der monatlichen Perzentile für die Stationen Lückendorf, Lehmühle, Melpitz und Schleiz (neue Bundesländer) und Waldhof (Lüneburger Heide, alte Länder) für den Zeitraum 1992 bis 2001 zeigen. Der in der Technischen Anleitung Luft (TA Luft) angegebene Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit für das 98-Perzentil von  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für  $\text{SO}_2$  wird an keiner der Messstellen des UBA auch nur annäherungsweise erreicht. Alle UBA-Stationen blieben 2001 mit den 98-Perzentilwerten noch unter  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Wie aus Tabelle 9 und Tabelle 10 sowie aus Abbildung 6 zu sehen ist, hat sich die  $\text{SO}_2$ -Belastung in Deutschland insgesamt weiter vermindert. Dieser Prozess setzte Mitte der 80er Jahre in den alten Ländern und Anfang der 90er Jahre in den neuen Ländern sowie in Tschechien und Polen ein, vor allem als Folge der Minderung der  $\text{SO}_2$ -Emissionen (siehe Abbildung 7 und Abbildung 8). In den neuen Ländern werden mittlerweile nahezu vergleichbare  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen gemessen. Der Rückgang erfolgte hier wesentlich schneller als in den alten Ländern. Es ist zu erwarten, dass auch an den wenigen Stationen in den neuen Ländern (Abbildung 3 bis Abbildung 5), die noch leicht erhöhte  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen aufweisen, die Konzentrationen im Zuge der weiteren Reduzierungen der  $\text{SO}_2$ -Emissionen in Deutschland, Tschechien und Polen in wenigen Jahren das sehr niedrige Niveau der anderen Stationen erreichen werden (Abbildung 7 und Abbildung 8).

Wie Abbildung 6 zeigt, haben die Jahresmittel der  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen zwischen Mitte der 80er Jahre und 2001 um mehr als einen Faktor 10 abgenommen. Die  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen in Deutschland werden in Zukunft kaum noch zurückgehen, da hier das  $\text{SO}_2$ -Minderungspotential weitgehend ausgeschöpft ist. Ein geringer Rückgang der  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen ist deshalb in den kommenden Jahren lediglich als Folge der weiteren Emissionsreduzierungen in Tschechien und Polen an einigen Stationen in den neuen Ländern zu erwarten.

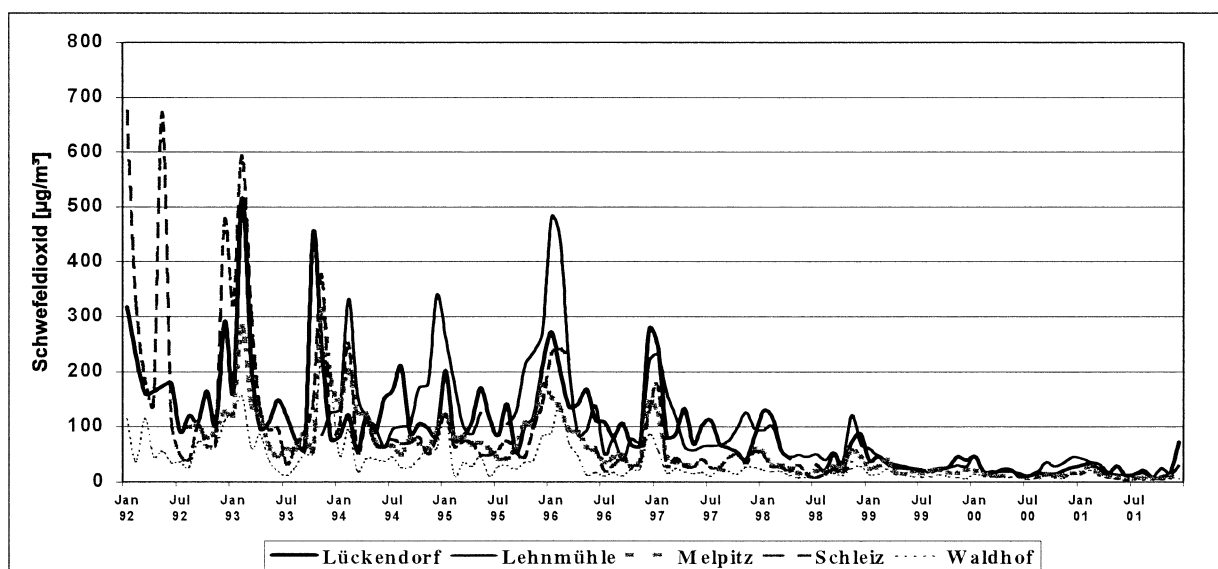


Abbildung 3: Monatliche 98-Perzentile der Halbstundenwerte von Schwefeldioxid, 1992 bis 2001 in Lückendorf, Lehmühle, Melpitz, Schleiz und Waldhof, kontinuierliches Messverfahren

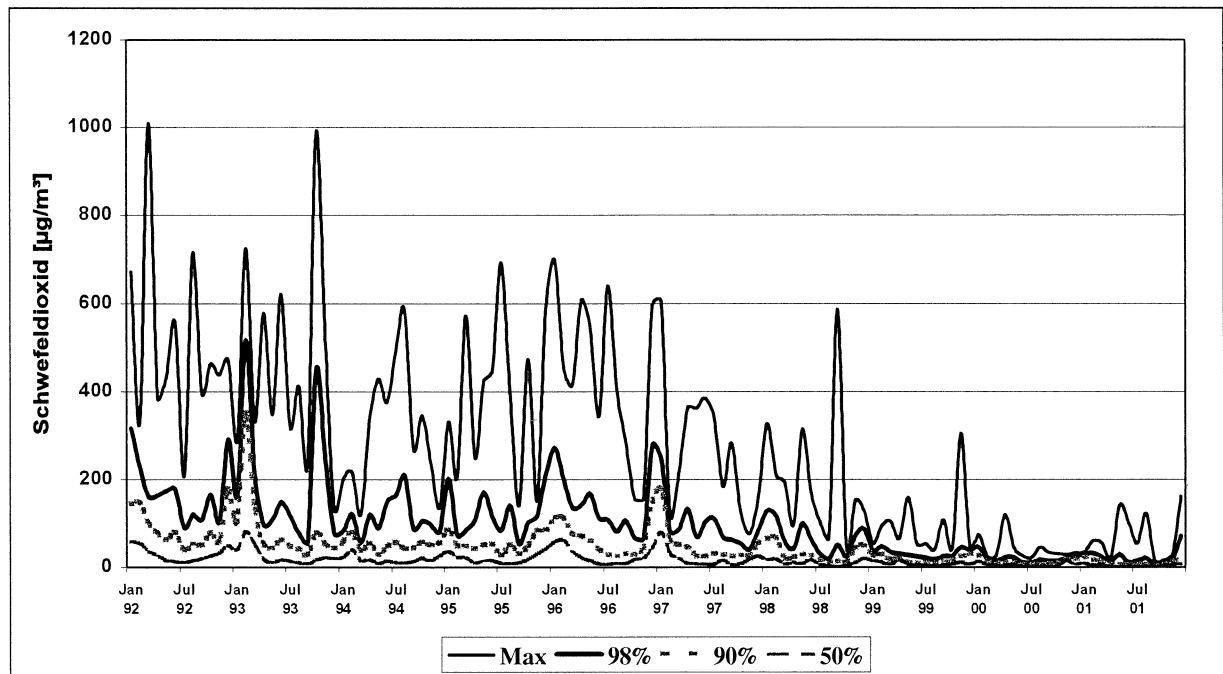


Abbildung 4: Maximale Halbstundenwerte sowie 98-, 90- und 50-Perzentile der Schwefeldioxidkonzentrationen in Lückendorf zwischen 1992 und 2001.

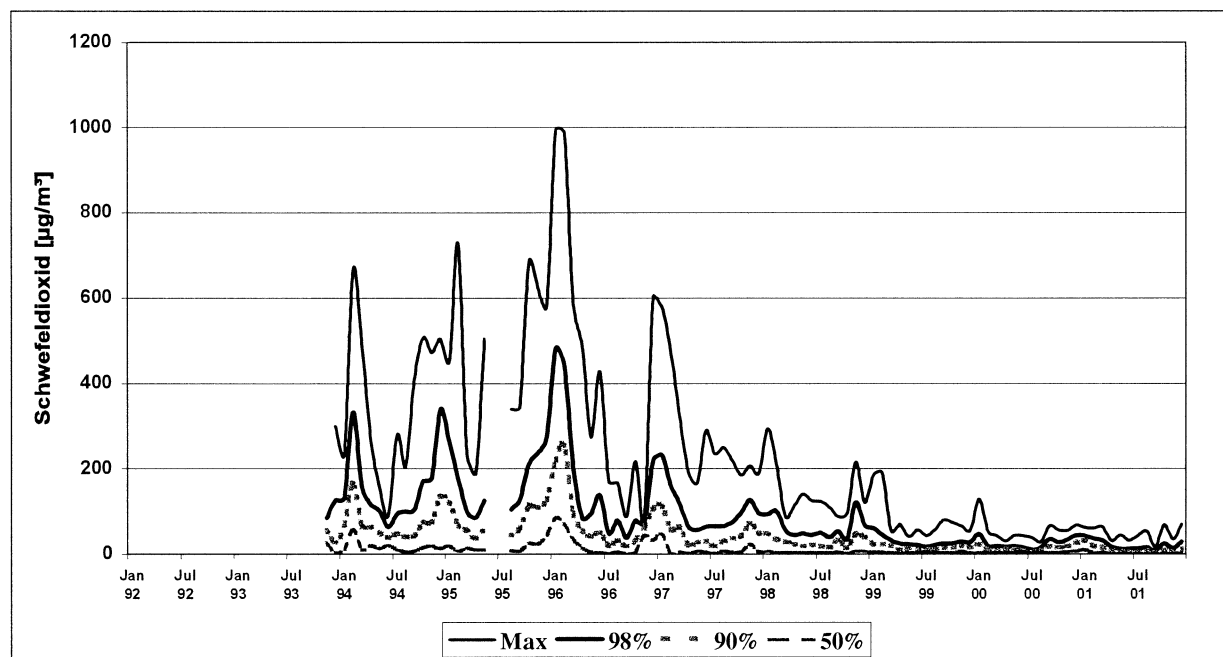


Abbildung 5: Maximale Halbstundenwerte sowie 98-, 90- und 50-Perzentile der Schwefeldioxidkonzentrationen in Lehmühle zwischen 1993 und 2001.

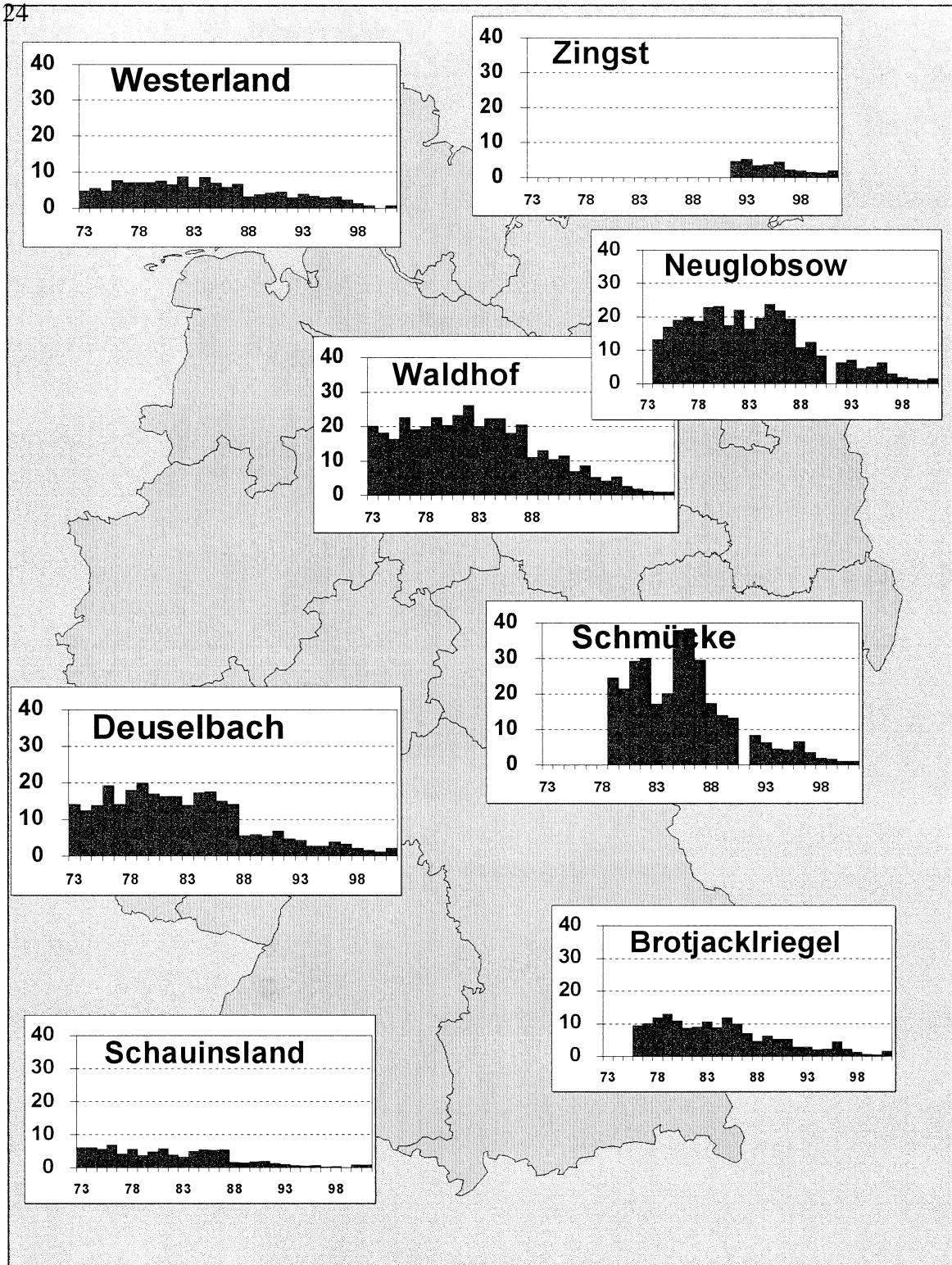


Abbildung 6: Jahresmittel der Schwefeldioxidkonzentrationen von 1973 bis 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  an den personellen Messstellen des UBA, 1973-2000: nasschemisches TCM-Verfahren, 2001: Zingst, Neuglobsow und Schauinsland: Imprägnierte Filter, Westerland, Waldhof, Schmütke, Deuselbach und Brotjacklriegel: Trace Level Gerät (siehe Kapitel 3.3)

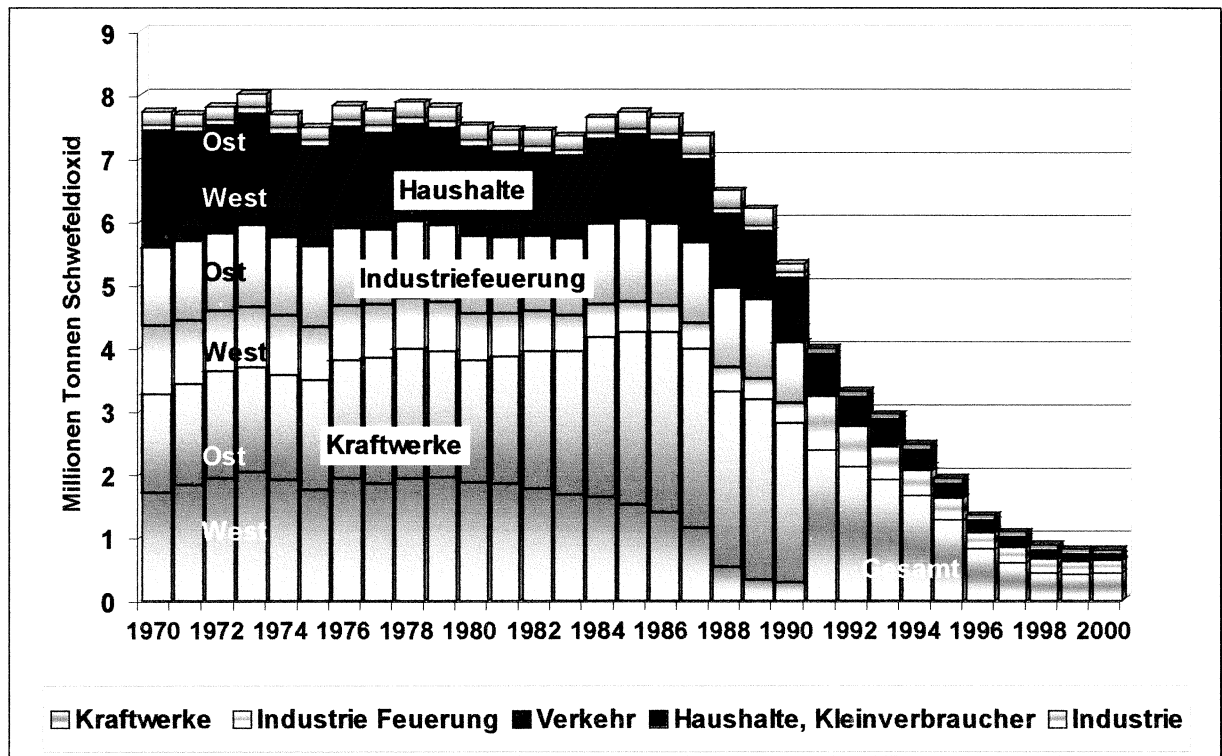


Abbildung 7: Jährliche Schwefeldioxid-Emissionen in Deutschland von 1970 bis 2000 (Ref. 1, 2)

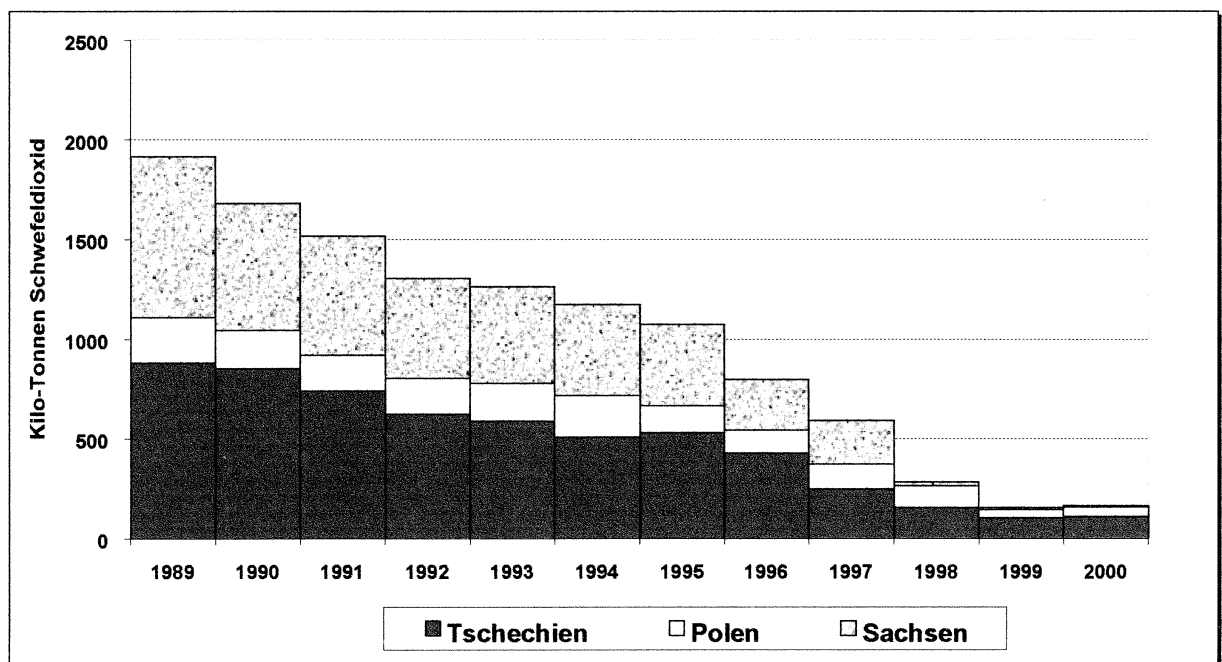


Abbildung 8: Jährliche Schwefeldioxid-Emissionen in Tschechien, Polen und Sachsen von 1989 bis 2000, (Ref. 3)

Tabelle 4: Monats- und Jahresmittel, Schwefeldioxid für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	3.2	2.5	4.4	2.9	0.7	0.7	0.6	0.4	0.4	1.0	0.6	1.2	1.5
ZG	6.4	2.5	3.4	2.3	2.6	1.0	1.0	0.9	0.8	2.0	1.1	1.8	2.2
HG	3.9	2.8	3.1	2.9	2.3	2.2	2.0	2.5	1.9	3.1	1.7	1.7	2.5
AU	4.2	4.0	6.4	3.5	5.2	2.6	2.8	2.7	3.0	-	-	3.1	3.8
UE	8.6	4.6	4.0	2.4	3.2	3.0	3.9	3.0	2.3	4.1	2.3	3.9	3.8
NG	6.5	5.5	6.6	3.2	2.7	0.4	0.6	0.6	0.4	1.3	0.8	1.9	2.5
SH	4.9	3.5	4.8	3.2	2.3	2.1	2.2	2.5	1.7	3.7	3.9	2.6	3.1
BA	2.9	2.2	2.6	1.6	1.8	1.4	1.4	1.8	-	-	-	-	2.0
WA	4.4	4.6	5.0	4.6	0.9	0.6	0.7	0.8	0.6	1.4	1.2	1.4	2.2
GI	4.5	3.9	4.4	4.4	4.5	2.8	3.1	6.3	1.8	2.3	3.6	2.3	3.7
FA	7.6	6.1	5.5	3.2	3.4	1.9	2.3	3.1	2.7	3.0	2.2	7.5	4.0
MP	5.0	5.7	6.0	3.6	2.1	1.6	2.0	3.0	2.2	2.0	3.4	4.5	3.4
LF	4.0	3.5	4.6	1.6	5.0	4.8	2.0	2.0	2.0	1.8	-	3.5	3.1
LM	14.8	6.9	6.8	3.6	3.5	3.2	2.7	3.3	2.1	4.2	2.7	5.6	5.0
LU	11.4	7.7	7.2	3.3	3.9	2.9	3.4	3.7	1.9	2.7	7.0	11.2	5.6
SM	2.7	1.9	2.3	1.3	2.0	0.7	0.9	0.8	-	0.6	0.6	1.4	1.4
RE	6.5	2.4	6.9	4.9	5.0	-	-	2.7	1.9	2.0	4.3	8.1	4.4
DE	6.9	3.2	3.1	2.3	2.0	1.5	1.5	1.7	1.8	2.9	2.3	3.0	2.7
AS	6.3	4.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	-	-	-	-	1.4	1.4	-	-	-	-
FB	2.2	2.3	1.7	1.7	3.4	1.4	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	2.4	1.9
BR	6.1	-	-	-	-	-	0.9	0.7	0.9	1.3	2.3	3.3	2.2
RS	-	-	-	-	-	-	-	3.3	3.2	3.4	4.1	2.8	-
SC	1.5	2.4	1.4	1.0	1.1	1.0	0.7	0.7	0.5	0.7	1.0	1.5	1.1

Tabelle 5: Monatsmaxima der Halbstundenwerte, Schwefeldioxid für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	22	39	21	16	4	7	7	5	4	4	9	13
ZG	37	25	26	15	19	7	10	10	10	18	13	11
HG	26	21	19	25	28	21	21	22	10	26	18	10
AU	19	27	17	10	25	11	7	11	9	-	-	9
UE	43	32	23	18	12	11	14	18	28	35	24	36
NG	25	44	24	22	19	28	10	11	5	18	13	16
SH	27	50	28	40	22	18	50	18	10	42	16	16
BA	18	13	21	8	12	5	7	11	-	-	-	-
WA	16	33	27	12	11	5	13	8	10	11	8	12
GI	35	20	15	20	17	29	21	21	16	18	39	19
FA	33	35	31	35	18	16	28	29	28	17	17	49
MP	28	38	26	16	17	17	16	22	21	14	16	23
LF	24	14	21	16	19	19	12	9	9	9	-	19
LM	63	61	64	33	45	32	44	54	18	68	35	71
LU	35	60	56	22	142	103	55	123	16	16	30	162
SM	20	12	21	7	24	8	10	8	-	10	9	14
RE	88	53	42	42	44	-	-	29	9	13	27	49
DE	34	36	14	29	12	27	16	40	38	27	15	25
AS	25	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	-	-	-	-	7	5	-	-	-
FB	16	19	9	7	14	5	6	9	6	7	7	26
BR	22	-	-	-	-	-	9	7	8	15	17	25
RS	-	-	-	-	-	-	-	10	7	8	10	15
SC	5	9	5	7	10	6	4	5	3	4	7	13



Tabelle 6: Monatliche 50-Perzentile der Halbstundenwerte von Schwefeldioxid für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	1.4	1.4	4.2	2.1	0.6	0.4	0.4	0.4	0.1	0.9	0.4	0.8
ZG	3.4	1.4	1.4	2.0	2.4	0.7	0.7	0.5	0.4	1.1	0.8	1.2
HG	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
AU	3.3	3.3	6.2	3.5	4.8	1.4	3.0	2.9	3.3	-	-	1.4
UE	5.6	3.4	1.4	1.4	3.1	3.1	3.5	2.9	1.4	1.4	1.4	1.4
NG	4.4	4.2	5.4	2.5	2.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.4	0.9
SH	1.4	1.4	3.1	2.9	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	3.8	1.4
BA	2.9	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	-	-	-	-
WA	3.7	3.5	4.5	4.6	0.4	0.3	0.4	0.5	0.3	0.9	0.7	0.8
GI	3.9	3.4	4.1	3.8	4.0	1.4	3.0	5.5	1.4	1.4	1.4	1.4
FA	4.6	4.4	4.1	1.4	3.1	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	5.5
MP	3.4	4.1	5.3	3.3	1.4	1.4	1.4	3.0	1.4	1.4	3.3	2.9
LF	3.1	3.2	4.2	1.4	5.3	4.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	3.1
LM	10.7	3.1	3.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	3.1
LU	9.3	5.0	6.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	5.9	7.1
SM	1.4	1.4	1.4	0.8	1.1	0.3	0.4	0.4	0.1	0.3	0.1	0.7
RE	4.0	1.4	5.0	4.6	4.0	-	-	1.4	1.4	1.4	4.2	6.8
DE	6.0	1.4	2.9	1.5	1.4	1.0	1.0	1.1	1.0	1.6	1.9	2.3
AS	4.9	4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	-	-	-	-	1.4	1.4	-	-	-
FB	1.4	1.4	1.4	1.4	3.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
BR	5.3	-	-	-	-	-	0.6	0.4	0.6	0.9	1.7	2.5
RS	-	-	-	-	-	-	-	3.4	3.3	3.4	4.1	1.4
SC	1.4	1.4	1.4	0.7	0.9	0.7	0.5	0.6	0.4	0.5	0.8	0.8

Tabelle 7: Monatliche 98-Perzentile der Halbstundenwerte von Schwefeldioxid für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	9	8	11	8	2	4	3	1	2	3	3	4
ZG	28	15	13	6	9	4	4	5	5	11	4	6
HG	15	13	9	12	11	9	7	11	6	12	5	5
AU	13	17	13	8	13	6	6	5	6	-	-	8
UE	30	17	17	9	7	7	9	10	10	19	10	17
NG	20	23	17	11	7	3	4	4	2	7	4	9
SH	22	22	17	12	8	6	9	8	5	21	9	10
BA	9	8	6	4	5	1	1	6	-	-	-	-
WA	13	21	12	8	5	3	4	4	4	5	5	6
GI	13	12	11	13	10	11	9	15	6	10	19	11
FA	27	30	21	18	11	6	7	12	10	10	6	25
MP	17	29	16	10	8	5	6	8	7	6	9	18
LF	16	10	11	4	12	9	6	6	5	5	11	13
LM	43	37	33	18	13	13	13	16	9	25	14	30
LU	30	33	24	14	29	11	15	21	7	9	18	72
SM	12	6	8	4	9	3	5	3	3	3	4	8
RE	30	12	21	16	18	-	-	11	5	7	11	23
DE	18	14	8	11	7	7	6	7	9	13	7	10
AS	14	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-
FB	9	9	6	4	8	1	4	3	1	4	4	11
BR	13	-	-	-	-	-	4	3	3	5	7	13
RS	-	-	-	-	-	-	-	5	4	5	6	9
SC	4	7	1	3	3	4	2	2	2	3	4	10

Tabelle 8: Jährliche Perzentile der Halbstundenwerte von Schwefeldioxid für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
WE	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.8	1.6	4.2	5.7	7.5	38.7
ZG	0.1	0.1	0.1	0.3	0.6	1.4	2.5	4.4	6.5	12.6	36.6
HG	1	1	1	1	1	1	3	5	7	11	28
AU	1	1	1	1	1	3	5	7	9	12	27
UE	1	1	1	1	1	3	4	8	12	17	43
NG	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.4	3.7	5.8	8.8	13.6	43.6
SH	1	1	1	1	1	1	4	6	10	16	50
BA	1	1	1	1	1	1	1	4	5	6	21
WA	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	1.2	3.6	5.4	6.7	9.5	32.7
GI	1	1	1	1	1	3	5	7	9	12	39
FA	1	1	1	1	1	3	5	9	13	19	49
MP	1	1	1	1	1	1	4	8	10	14	38
LF	1	1	1	1	1	1	4	6	8	10	24
LM	1	1	1	1	1	1	5	13	21	30	71
LU	1	1	1	1	1	3	7	12	17	26	162
SM	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.9	1.4	3.2	4.5	7.0	23.7
RE	1	1	1	1	1	3	6	9	13	18	88
DE	0.1	0.3	0.4	0.5	1.0	1.6	3.5	5.9	8.0	10.9	39.8
AS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FB	1	1	1	1	1	1	1	4	5	6	26
BR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC	0.1	0.1	0.1	0.3	0.4	0.9	1.4	1.9	3.0	4.1	13.1

Tabelle 9: Jahresmittel von Schwefeldioxid in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 1985 bis 2001, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	WE	ZG	HG	AU	HW	TE	UE	SW	NG	AN	SH	KY	BA	WA	WI	GI	LI	FA	DL
1985	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	-	-	-	-	-
1986	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	-	-	-	-	-
1987	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	-	-	-	-	-
1988	5	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	12	20	-	15	-	-	-
1989	5	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	13	20	-	13	-	-	-
1990	4	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	11	14	-	11	-	-	-
1991	6	-	-	-	17	-	-	32	-	-	-	14	13	18	62	13	22	-	31
1992	4	5	-	-	7	8	13	16	8	17	-	13	7	10	31	10	22	-	33
1993	6	5	-	-	13	9	11	13	10	15	-	12	13	11	29	11	21	-	32
1994	4	5	7	-	6	7	9	8	7	10	-	8	8	7	17	-	16	-	21
1995	3	6	-	-	6	7	9	7	7	10	-	8	-	6	-	-	16	-	16
1996	4	7	5	-	6	9	10	9	10	12	-	10	-	10	-	-	18	-	19
1997	3	4	5	-	3	4	7	5	4	7	-	5	-	7	-	-	11	-	13
1998	3	4	4	-	-	3	6	-	3	5	-	-	-	5	-	-	6	-	6
1999	4	4	5	3	-	-	4	-	4	-	4	-	-	4	-	-	-	5	-
2000	2	3	-	3	-	-	4	-	4	-	4	-	2	3	-	4	-	4	-
2001	2	2	3	-	-	-	4	-	3	-	3	-	-	2	-	4	-	4	-
Station	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	AS	OE	BR	FB	RT	SC	MU	RS	ZU
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	13	13	-	-	5	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	9	9	-	-	6	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	10	10	-	-	6	-	-	-
1988	-	-	14	-	-	-	-	-	29	9	9	6	6	-	9	3	-	-	-
1989	-	-	13	-	-	-	-	-	34	9	10	6	6	-	7	3	-	-	-
1990	-	-	15	25	-	-	-	-	29	6	9	6	6	-	8	4	-	-	-
1991	-	-	13	30	-	-	-	58	35	7	9	-	4	-	7	4	-	-	-
1992	-	20	10	17	-	40	14	38	25	5	7	3	3	-	6	3	-	-	-
1993	35	23	12	23	-	37	14	35	28	5	8	-	3	-	7	3	-	-	-
1994	21	12	10	14	30	24	11	14	22	4	6	-	3	-	-	2	-	-	-
1995	17	9	-	-	30	27	10	13	-	5	11	5	5	-	-	3	4	-	-
1996	17	12	-	-	35	33	16	22	-	8	-	8	8	-	-	3	-	-	-
1997	10	6	-	-	18	25	7	10	-	7	-	-	-	-	-	2	-	-	-
1998	5	4	-	-	11	14	4	5	-	4	-	4	4	-	-	3	-	-	-
1999	5	4	-	-	7	9	4	-	5	4	-	-	3	-	-	2	-	-	-
2000	4	3	-	-	6	6	3	-	4	4	2	-	4	-	-	2	-	-	-
2001	3	3	-	-	5	6	1	-	4	3	-	-	-	2	-	1	-	-	-

Tabelle 10: Jahresmittel von Schwefeldioxid für 1971 bis 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  
nasschemisches TCM- Messverfahren

Station	WE	ZG	HG	HW	SW	NG	AN	BA	WA	LI	LF	ME	SM	DE	AS	BR	RT	SC
1971	-	-	-	-	-	-	-	-	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1972	-	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1973	5	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-	14	-	-	-	6
1974	5	-	-	-	-	13	-	-	18	-	-	-	-	12	-	-	-	6
1975	5	-	-	-	-	17	-	-	16	-	-	-	-	14	-	-	-	6
1976	8	-	-	-	-	20	-	-	23	-	-	-	-	19	-	9	-	7
1977	7	-	-	-	-	20	-	-	19	-	-	-	-	14	-	10	-	4
1978	7	-	-	-	-	20	-	-	20	-	-	-	-	18	-	12	-	6
1979	7	-	-	-	-	24	-	-	23	-	-	-	31	20	-	13	-	4
1980	8	-	-	15	-	25	-	21	20	-	-	25	28	17	14	11	14	5
1981	7	-	-	14	-	19	-	21	23	-	-	29	37	16	14	9	14	6
1982	9	-	-	18	-	27	-	23	26	-	-	26	32	16	13	9	11	4
1983	6	-	-	12	-	19	-	16	20	-	44	24	18	14	13	11	10	3
1984	9	-	-	15	-	22	24	24	22	-	52	21	20	17	14	9	11	5
1985	7	-	-	13	-	25	34	16	22	45	65	31	39	18	23	12	17	5
1986	6	-	-	8	23	24	28	15	18	41	47	28	41	15	17	10	15	5
1987	7	-	-	-	19	20	24	20	21	36	71	25	30	14	14	7	16	5
1988	3	-	-	-	19	12	24	9	11	23	33	10	19	6	6	5	5	2
1989	4	-	-	-	18	14	21	10	13	31	27	7	15	6	6	6	4	1
1990	4	-	-	-	16	10	20	8	10	30	25	6	16	5	6	5	4	2
1991	4	-	-	-	-	-	-	12	12	-	-	9	-	7	8	5	4	2
1992	3	5	-	-	-	6	-	4	7	-	-	7	8	5	5	3	3	1.3
1993	3.9	5.1	-	-	-	7.1	-	-	8.6	-	-	11	6.3	4.3	4.2	2.9	2.5	1.0
1994	3.3	3.4	-	-	-	4.5	-	-	5.3	-	-	-	4.5	2.7	-	2.1	-	0.6
1995	2.8	3.6	-	-	-	5.0	-	-	4.2	-	-	-	4.2	2.7	-	2.3	-	0.5
1996	3.2	4.4	-	-	-	6.3	-	-	5.4	-	-	-	6.6	3.9	-	4.4	-	0.7
1997	2.3	2.1	-	-	-	3.0	-	-	2.6	-	-	-	3.4	3.2	-	2.2	-	0.2
1998	1.2	1.8	-	-	-	1.8	-	-	1.9	-	-	-	1.8	2.1	-	1.2	-	0.4
1999	0.7	1.4	-	-	-	1.3	-	-	1.2	-	-	-	1.6	1.5	-	0.7	-	0.7
2000	0.7	1.3	-	-	-	1.0	-	-	1.0	-	-	-	0.9	1.2	-	0.5	-	0.8

## 2.1.2 Stickoxide (NO<sub>x</sub>)

NO<sub>x</sub> ist die Summe aus NO und NO<sub>2</sub>. NO<sub>x</sub> wird primär als NO hauptsächlich bei Verbrennungsprozessen freigesetzt und in der Atmosphäre teilweise zu NO<sub>2</sub> oxidiert, im Wesentlichen durch Ozon (O<sub>3</sub>). Abhängig von der Sonnenstrahlung stellt sich innerhalb weniger Minuten ein Gleichgewicht zwischen NO, NO<sub>2</sub> und O<sub>3</sub> ein, das bei geringen NO<sub>x</sub>-Konzentrationen, hohen O<sub>3</sub>-Konzentrationen und hoher Strahlung weitgehend auf der Seite des NO<sub>2</sub> liegt, d.h. das NO<sub>x</sub> besteht unter diesen Bedingungen überwiegend aus NO<sub>2</sub> und nur in geringem Maße aus NO, vor allem im Sommerhalbjahr. Dies ist an den in ländlichen Regionen gelegenen Stationen des UBA-Messnetzes bei den mittleren Konzentrationen von NO und NO<sub>2</sub> meistens der Fall. So lagen beispielsweise an den personell besetzten UBA-Stationen im Jahresmittel (1997-2001) zwischen 88 und 98% des NO<sub>x</sub> als NO<sub>2</sub> vor (siehe Abbildung 9). An den Containerstationen lagen im gleichen Zeitraum zwischen 77 und 97% des NO<sub>x</sub> als NO<sub>2</sub> vor, wobei die niedrigeren Werte an Stationen beobachtet wurden, die durch regionale Quellen hauptsächlich aus dem Straßenverkehr beeinflusst werden. Noch wesentlich niedriger ist der NO<sub>2</sub>-Anteil in einer Stadt wie beispielsweise Frankfurt/Main. In einer überwiegenden Wohngegend (Westend) lagen im Jahresmittel (1997-2001) 43.5% des NO<sub>x</sub> als NO<sub>2</sub> vor, an einer verkehrsreichen Station (Hauptwache) nur 38.0%.

In Tabelle 11 und Tabelle 12 sind für NO<sub>2</sub> und NO die Monats- und Jahresmittel für 2001, sowie deren maximale monatliche Halbstundenwerte (Tabelle 13 und Tabelle 14) zusammengestellt. Die höchsten NO<sub>2</sub>-Jahresmittel wurden an den Stationen Gittrup mit 22 µg/m<sup>3</sup>, gefolgt von Aukrug mit 13 µg/m<sup>3</sup>, die niedrigsten mit 5 µg/m<sup>3</sup> an der Bergstation Schauinsland im Schwarzwald gemessen. Die deutlich höchsten NO-Jahreswerte (6.2 µg/m<sup>3</sup>) wurden ebenfalls an der verkehrsbeeinflussten Station Gittrup (Nordrhein-Westfalen) festgestellt, die niedrigsten Werte wurden an den Bergstationen Schauinsland und Brotjacklriegel (Bayerischer Wald) mit 0.3 µg/m<sup>3</sup> bzw. 0.2 µg/m<sup>3</sup> beobachtet. Die höchsten NO<sub>2</sub>-Halbstundenwerte (Tabelle 13) wurden mit 102 µg/m<sup>3</sup> an der Station Deuselbach gemessen, die höchsten NO-Halbstundenwerte mit 144 µg/m<sup>3</sup> an der Station Gittrup. (Tabelle 14)

Die monatlichen 50-Perzentilwerte für NO<sub>2</sub> und NO sind in Tabelle 15 und Tabelle 16, die entsprechenden 98-Perzentile in Tabelle 17 und Tabelle 18 zu finden. In Tabelle 19 und Tabelle 20 sind die jährlichen Perzentilwerte für NO<sub>2</sub> und NO zusammen mit den Maxima und Minima der Halbstundenwerte zusammengestellt. Bei NO<sub>2</sub> und vor allem bei NO liegen die Messwerte für eine Reihe von Stationen beim 25-Perzentil (NO<sub>2</sub>) und z.T. sogar beim 90-Perzentil (NO) unterhalb der Nachweisgrenze, die in Tabelle 19 und Tabelle 20 anstelle gemessener Konzentrationen angegeben wird. Zu beachten ist dabei, dass die Nachweisgrenzen an den personell besetzten Stationen wegen der dort eingesetzten empfindlicheren Messgeräte z.T. erheblich niedriger liegen als an den Containerstationen.

Der in der TA Luft angegebene Grenzwert für das 98-Perzentil zum Schutz der menschlichen Gesundheit von 200 µg/m<sup>3</sup> wurde an keiner UBA-Station auch nur annähernd erreicht. Der höchste Wert für das 98-Perzentil betrug 30 µg/m<sup>3</sup>.

Die mit dem nasschemischen Saltzman-Verfahren seit 1968 ermittelten NO<sub>2</sub>-Konzentrationen weichen von den mittels des genaueren kontinuierlichen Chemilumineszenz-Verfahrens (seit Mitte der 80er Jahre im Einsatz) gewonnenen Werten ab. Die Messergebnisse des Saltzman-Verfahrens sind deshalb nur für Betrachtungen zum Langzeittrend verwendbar.

In Tabelle 21 und Tabelle 22 sind die durch kontinuierliche Messungen bestimmten Jahresmittelwerte (1987-2001) für  $\text{NO}_2$  (Tabelle 22) und  $\text{NO}$  (Tabelle 21) zusammengestellt, während die Tabelle 23 die mittels Saltzman-Verfahren nasschemisch ermittelten  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwerte enthält (1969-2001). Diese sind in Abbildung 12 graphisch dargestellt. Im Gegensatz zu  $\text{SO}_2$  ist die  $\text{NO}_2$ -Belastung an den in ländlichen Regionen gelegenen Stationen des UBA-Messnetzes während der letzten 15 Jahre nur leicht zurückgegangen. An den Bergstationen Schauinsland und Brotjacklriegel sowie an der Nordseestation Westerland ist dagegen während der letzten Jahrzehnte kein entsprechender Rückgang der  $\text{NO}_2$ -Jahresmittel festzustellen, wahrscheinlich durch die vergleichsweise stärkeren Beiträge des Ferntransportes zu den gemessenen  $\text{NO}_2$ -Werten.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass sich die erhebliche Reduzierung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen in Deutschland um mehr als 40% zwischen 1990 und 2001 im Gegensatz zu  $\text{SO}_2$ - (siehe Abbildung 11) nicht in einer entsprechenden Verminderung der  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen an den Messstellen im UBA-Messnetz niedergeschlagen hat. Lediglich bei den oberen monatlichen 98-, 95- und 90-Perzentilen lässt sich der Rückgang nachweisen (siehe Abbildung 10). Ein wesentlicher Grund für die nur geringe Abnahme der  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen in Deutschland dürfte der hohe Beitrag des Ferntransportes aus den europäischen Nachbarstaaten sowie möglicherweise auch die Nichtberücksichtigung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen aus der Landwirtschaft (vor allem aus gedüngten Böden) in den UBA-Emissionsinventaren sein.

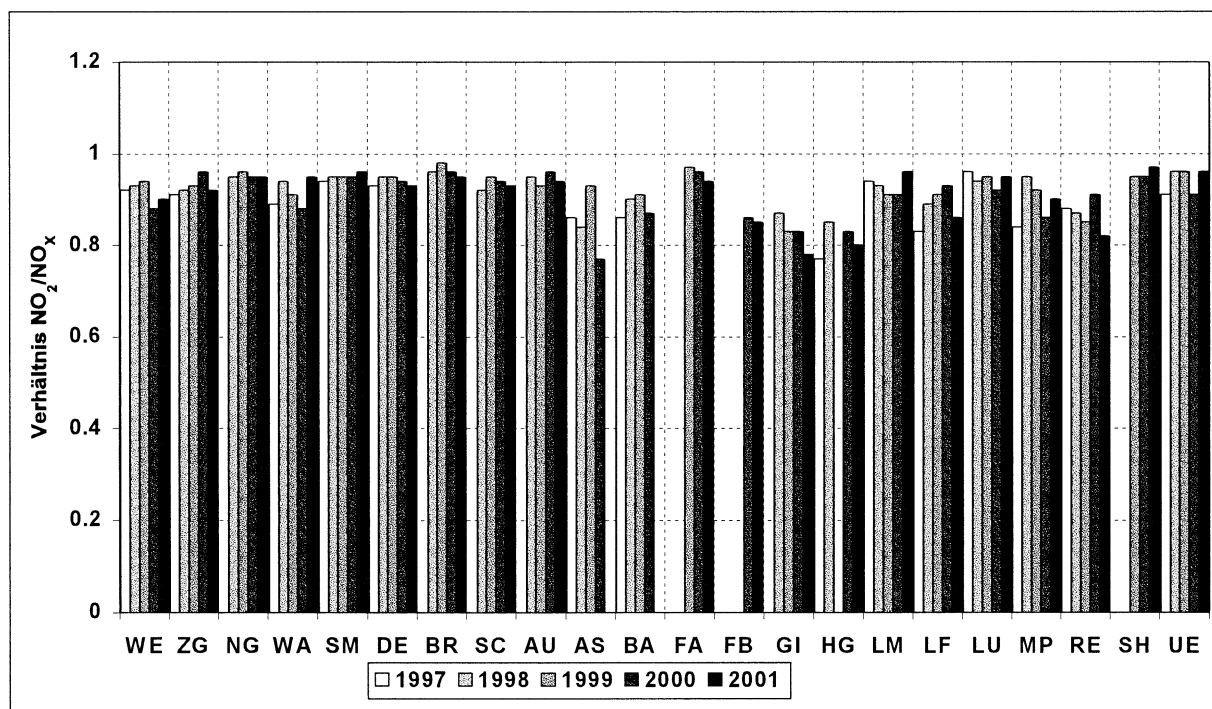


Abbildung 9: Mittleres jährliches Verhältnis der Konzentrationen von  $\text{NO}_2$  zu  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO} + \text{NO}_2$ , jeweils in ppb) für den Zeitraum 1997 – 2001.

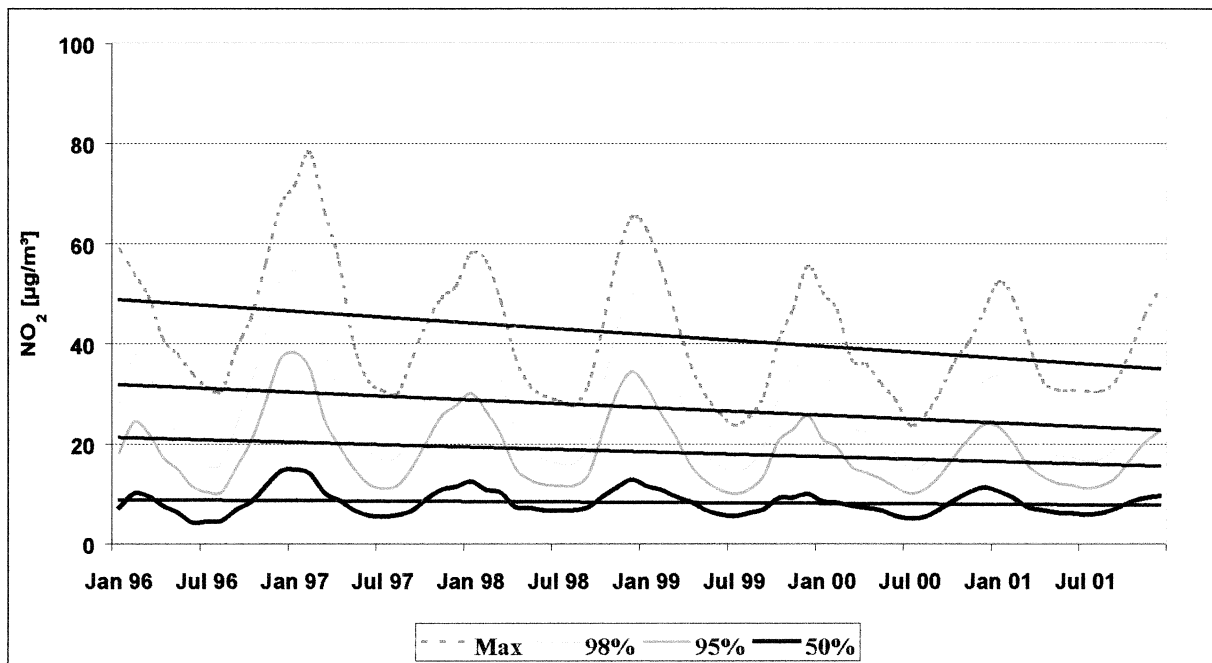


Abbildung 10: Monatliche Perzentile von Stickstoffdioxid von Januar 1996 bis Dezember 2001, gemittelt über die 8 personell besetzten Messstellen, kontinuierliches Messverfahren, Trace Level Geräte.

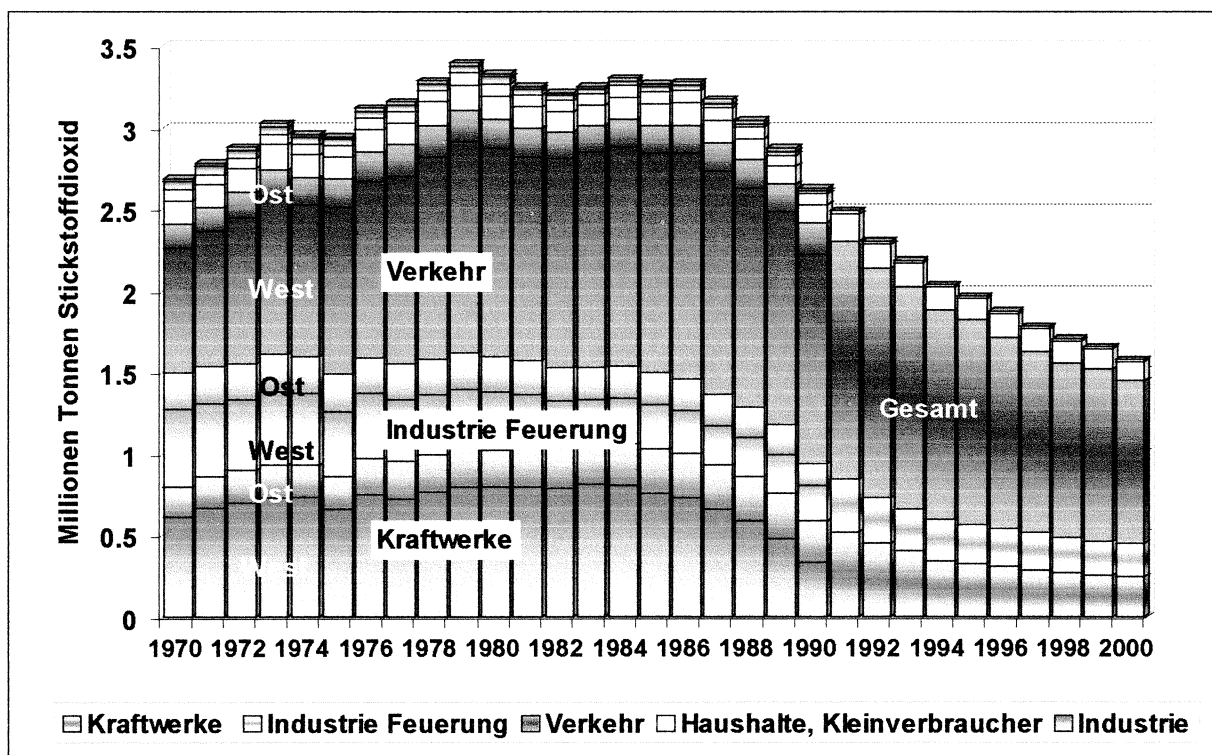


Abbildung 11: Jährliche Stickstoffdioxid-Emissionen (berechnet als  $\text{NO}_2$ ) in Deutschland von 1970 bis 2000 (Ref. 1)

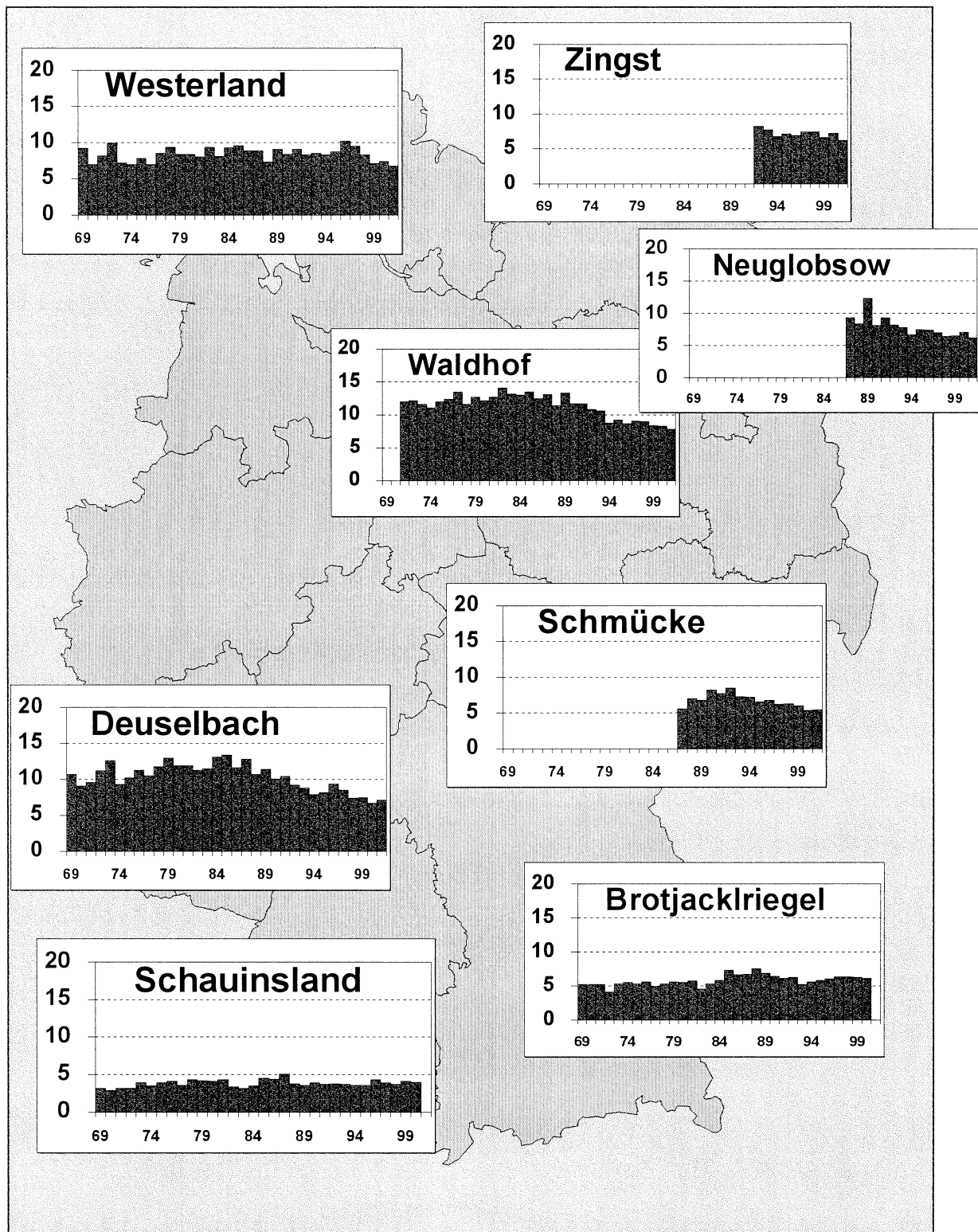


Abbildung 12: Jahresmittel von Stickstoffdioxid für 1969 bis 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  an den personellen Messstellen des UBA, nasschemisches Saltzman-Messverfahren



Tabelle 11: Monats- und Jahresmittel, Stickstoffdioxid für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	16	7	2	6	5	4	4	7	-	-	-	-	7
ZG	19	11	10	11	12	7	8	8	8	11	11	9	11
HG	24	12	11	10	8	6	6	10	-	-	-	-	11
AU	24	-	-	13	9	7	9	11	11	18	18	16	13
UE	13	11	11	9	5	5	6	7	7	10	8	10	8
NG	15	7	8	7	4	4	4	6	7	10	11	11	8
SH	19	10	10	6	3	3	4	5	5	7	-	4	7
BA	21	12	22	-	-	10	-	-	-	-	19	17	-
WA	16	11	11	-	9	11	11	11	9	13	16	15	12
GI	31	23	33	21	15	14	12	-	-	22	29	24	22
FA	14	9	9	9	7	8	5	7	8	12	12	10	9
MP	16	12	12	10	9	10	7	12	11	13	18	18	12
LF	15	12	18	12	7	6	7	9	11	18	-	15	12
LM	15	12	11	8	6	6	3	8	8	11	12	14	10
LU	13	11	10	7	6	5	5	3	4	7	11	9	8
SM	12	11	11	8	8	8	6	6	9	9	12	12	9
RE	15	15	12	-	9	9	6	6	10	11	13	17	11
DE	17	16	11	-	9	7	7	7	8	11	16	17	11
AS	22	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	19	19	-
FB	-	10	7	8	7	8	5	4	6	7	11	9	7
BR	11	-	8	5	6	7	6	5	8	10	-	-	8
RS	-	-	-	-	-	-	-	5	7	-	12	14	-
SC	4	6	4	5	7	6	-	4	3	3	5	5	5

Tabelle 12: Monats- und Jahresmittel, Stickstoffmonoxid für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	1.6	0.6	0.5	0.6	0.3	0.2	0.2	0.7	-	-	-	-	0.6
ZG	0.5	0.4	0.4	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.4	0.6	0.6	0.6	0.5
HG	3.1	1.6	2.2	1.8	1.4	1.3	1.6	1.8	-	-	-	-	1.9
AU	3.3	-	-	1.3	1.4	1.4	1.5	1.7	2.3	3.2	3.3	3.7	2.2
UE	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.3	1.3
NG	0.8	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.8	0.5	0.4	0.4
SH	1.6	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.4	-	1.2	1.3
BA	5.4	2.6	2.3	-	-	1.4	-	-	-	-	3.7	5.2	-
WA	0.8	0.3	0.4	-	0.4	0.5	0.6	0.7	0.5	0.9	0.9	1.5	0.7
GI	10.5	5.5	4.2	2.7	2.8	2.2	2.4	-	-	6.0	16.2	8.7	6.2
FA	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.7	2.0	1.4	1.4
MP	2.5	2.2	1.5	2.0	1.7	1.4	1.5	2.6	1.8	3.0	1.9	2.6	2.1
LF	3.1	1.6	1.9	1.3	1.5	1.3	1.4	1.3	1.6	2.1	-	4.1	1.9
LM	1.3	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.4	1.3	1.9	1.3
LU	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	3.7	1.4	1.6	1.5
SM	0.5	0.5	0.5	0.3	0.4	0.2	0.3	0.2	0.8	0.4	0.5	0.7	0.4
RE	1.5	1.6	1.4	-	1.3	1.4	1.4	1.3	1.7	1.4	4.0	2.8	1.8
DE	2.1	1.0	0.6	-	0.4	0.4	0.3	0.4	0.6	0.7	1.1	1.5	0.8
AS	5.4	4.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.6	9.8	7.2	-
FB	-	2.4	1.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.6	1.8	1.4
BR	0.3	-	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3	-	-	0.2
RS	-	-	-	-	-	-	-	2.0	1.5	-	2.3	3.5	-
SC	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	-	0.2	0.2	0.2	0.4	0.3	0.3

Tabelle 13: Monatsmaxima der Halbstundenwerte, Stickstoffdioxid für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	70	42	15	34	30	31	36	64	-	-	-	-
ZG	57	49	39	42	80	32	34	55	33	34	54	51
HG	64	52	56	57	34	42	42	50	-	-	-	-
AU	63	-	-	48	51	41	39	54	38	53	78	54
UE	40	49	55	30	35	23	34	33	45	28	47	48
NG	47	43	37	34	14	16	17	24	24	33	44	42
SH	57	36	59	34	26	23	19	34	29	40	-	31
BA	55	57	70	-	-	32	-	-	-	-	67	53
WA	42	47	47	-	28	58	39	38	35	31	48	49
GI	78	76	79	65	69	50	51	-	-	57	72	63
FA	55	33	47	30	20	44	29	28	42	48	70	43
MP	38	42	33	27	26	43	32	44	28	33	43	66
LF	56	56	56	46	50	38	49	54	39	61	-	52
LM	46	63	46	43	25	28	28	37	60	38	48	53
LU	42	43	35	24	41	30	37	22	27	23	43	43
SM	54	66	41	25	25	20	25	15	49	34	48	60
RE	57	60	44	-	33	37	28	37	57	47	46	60
DE	70	102	37	-	32	25	34	27	22	50	58	70
AS	55	83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	54	65
FB	-	41	24	19	15	18	17	15	18	24	50	43
BR	50	-	35	15	22	29	21	17	23	36	-	-
RS	-	-	-	-	-	-	-	45	30	-	45	55
SC	45	50	28	27	26	25	-	22	19	29	49	37

Tabelle 14: Monatsmaxima der Halbstundenwerte, Stickstoffmonoxid für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	74	13	9	13	6	6	7	30	-	-	-	-
ZG	6	9	4	4	10	6	14	5	7	19	9	23
HG	41	19	41	20	8	11	12	14	-	-	-	-
AU	54	-	-	16	12	26	27	38	59	58	56	84
UE	7	15	10	14	12	7	11	28	42	24	36	7
NG	14	9	9	8	2	3	3	5	7	28	18	12
SH	31	7	18	4	8	2	7	6	7	8	-	2
BA	47	75	26	-	-	7	-	-	-	-	41	69
WA	17	5	18	-	5	22	6	9	6	17	15	31
GI	129	96	52	32	91	36	49	-	-	48	118	144
FA	17	17	5	7	3	14	7	5	7	15	63	11
MP	52	42	12	24	25	10	25	41	34	44	38	45
LF	70	19	27	7	20	11	21	9	16	37	-	23
LM	9	21	7	6	8	17	6	5	5	27	11	25
LU	7	8	7	4	13	8	8	76	17	46	10	15
SM	20	5	7	5	13	4	15	2	33	7	10	15
RE	23	42	22	-	12	13	13	10	28	12	61	59
DE	43	31	13	-	5	21	8	5	12	9	27	55
AS	67	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57	114	134
FB	-	50	7	4	1	2	2	1	4	4	14	28
BR	4	-	8	4	9	12	10	3	17	9	-	-
RS	-	-	-	-	-	-	-	25	12	-	16	34
SC	19	10	9	8	7	11	-	8	7	8	23	8

Tabelle 15: Monatliche 50-Perzentile der Halbstundenwerte von Stickstoffdioxid für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverf.

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	15	5	2	4	4	1	3	6	-	-	-	-
ZG	18	9	10	11	10	6	7	7	8	10	8	7
HG	21	9	8	8	7	2	5	8	-	-	-	-
AU	23	-	-	12	7	5	8	9	10	17	15	15
UE	11	9	9	9	5	4	6	6	7	10	7	9
NG	14	6	6	6	4	4	4	5	6	9	9	9
SH	19	8	9	6	2	2	2	4	4	7	-	2
BA	19	10	19	-	-	9	-	-	-	-	16	15
WA	15	10	9	-	7	9	10	10	8	12	15	13
GI	30	21	30	19	14	13	10	-	-	20	29	22
FA	12	8	8	8	6	7	5	6	7	11	9	7
MP	15	12	11	10	8	9	6	11	11	13	16	16
LF	11	9	16	10	5	5	6	7	10	16	18	12
LM	14	8	9	7	5	5	2	7	6	9	11	11
LU	12	9	9	7	5	5	5	2	2	6	8	6
SM	10	9	10	7	8	7	6	6	8	9	9	10
RE	14	12	11	-	8	9	5	6	8	9	11	13
DE	11	13	9	-	9	7	6	6	7	9	14	13
AS	21	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	17	15
FB	-	8	7	7	7	7	5	2	5	7	9	7
BR	9	-	8	5	6	6	6	4	7	9	-	-
RS	-	-	-	-	-	-	-	2	6	-	10	11
SC	3	5	3	4	6	5	-	4	3	2	4	3

Tabelle 16: Monatliche 50-Perz. der Halbstundenwerte von Stickstoffmonoxid für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverf.

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	-	-	-	-
ZG	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.1	0.1	0.4	0.3
HG	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	-	-	-	-
AU	1.2	-	-	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
UE	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
NG	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
SH	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	-	1.2
BA	1.2	1.2	1.2	-	-	1.2	-	-	-	-	1.2	2.2
WA	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
GI	2.8	1.2	2.1	1.9	1.2	1.2	1.2	-	-	3.1	5.7	1.2
FA	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
MP	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
LF	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	3.2
LM	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
LU	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
SM	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
RE	1.2	1.2	1.2	-	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
DE	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
AS	2.5	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	1.2	1.2
FB	-	2.5	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
BR	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-
RS	-	-	-	-	-	-	-	1.2	1.2	-	1.2	1.2
SC	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabelle 17: Monatliche 98-Perzentile der Halbstundenwerte von Stickstoffdioxid für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverf.

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	15	5	2	4	4	1	3	6	-	-	-	-
ZG	18	9	10	11	10	6	7	7	8	10	8	7
HG	21	9	8	8	7	2	5	8	-	-	-	-
AU	23	-	-	12	7	5	8	9	10	17	15	15
UE	11	9	9	9	5	4	6	6	7	10	7	9
NG	14	6	6	6	4	4	4	5	6	9	9	9
SH	19	8	9	6	2	2	2	4	4	7	-	2
BA	19	10	19	-	-	9	-	-	-	-	16	15
WA	15	10	9	-	7	9	10	10	8	12	15	13
GI	30	21	30	19	14	13	10	-	-	20	29	22
FA	12	8	8	8	6	7	5	6	7	11	9	7
MP	15	12	11	10	8	9	6	11	11	13	16	16
LF	11	9	16	10	5	5	6	7	10	16	18	12
LM	14	8	9	7	5	5	2	7	6	9	11	11
LU	12	9	9	7	5	5	5	2	2	6	8	6
SM	10	9	10	7	8	7	6	6	8	9	9	10
RE	14	12	11	-	8	9	5	6	8	9	11	13
DE	11	13	9	-	9	7	6	6	7	9	14	13
AS	21	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	17	15
FB	-	8	7	7	7	7	5	2	5	7	9	7
BR	9	-	8	5	6	6	6	4	7	9	-	-
RS	-	-	-	-	-	-	-	2	6	-	10	11
SC	3	5	3	4	6	5	-	4	3	2	4	3

Tabelle 18: Monatliche 98-Perz. der Halbstundenwerte von Stickstoffmonoxid für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverf.

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	15.1	4.4	3.0	3.9	2.5	1.9	1.4	3.4	-	-	-	-
ZG	3.2	2.5	2.1	2.2	3.6	1.8	3.2	2.3	2.4	4.0	3.1	3.6
HG	20.4	5.0	14.2	6.9	3.8	2.9	4.7	5.8	-	-	-	-
AU	21.9	-	-	2.8	4.3	3.3	5.4	8.7	17.4	24.5	31.3	37.5
UE	2.5	2.5	3.0	1.2	1.2	1.2	1.2	2.9	3.5	3.0	3.2	2.5
NG	6.1	4.2	3.1	1.2	0.8	0.7	0.9	1.3	2.3	5.1	4.0	3.4
SH	5.3	2.9	2.9	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	3.8	-	1.2
BA	30.9	16.4	11.1	-	-	3.9	-	-	-	-	27.4	31.1
WA	7.1	5.5	2.8	-	2.5	3.8	3.7	3.0	3.1	6.5	10.0	19.2
GI	73.3	46.0	23.1	14.0	15.6	7.9	13.6	-	-	26.8	80.8	76.6
FA	4.1	2.8	1.2	1.2	1.2	2.5	1.2	1.2	1.2	8.3	7.4	5.0
MP	14.1	16.6	5.9	7.8	7.2	4.7	5.1	14.7	9.3	18.3	9.7	19.0
LF	21.4	6.1	6.9	3.1	4.9	2.7	4.1	3.2	6.7	13.1	5.2	14.7
LM	2.8	4.9	2.6	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	4.0	3.2	19.2
LU	2.8	3.6	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	35.3	4.8	6.9
SM	3.6	3.3	2.8	1.4	1.9	1.3	1.4	0.9	9.3	2.2	4.2	6.5
RE	5.8	5.7	4.8	-	3.4	3.1	3.5	3.0	8.5	4.4	30.7	15.0
DE	26.3	7.6	5.0	-	2.0	2.0	1.8	1.9	3.4	3.7	12.4	15.0
AS	33.6	32.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28.2	62.8	58.8
FB	-	5.2	3.8	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.1	7.1	15.8
BR	1.7	-	2.0	1.1	0.9	0.8	1.0	0.6	1.5	1.5	-	-
RS	-	-	-	-	-	-	-	7.0	4.1	-	8.1	22.9
SC	1.2	2.7	2.1	2.0	2.7	1.5	-	1.7	0.9	1.5	2.9	2.3

Tabelle 19: Jährliche Perzentile von Stickstoffdioxid für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
WE	0.2	0.2	0.4	0.8	1.7	4.2	8.8	15.5	20.7	28.0	70.3
ZG	0.2	2.1	2.8	3.6	5.4	8.7	13.5	19.7	23.9	29.4	79.8
HG	2	2	2	2	4	7	14	25	33	45	64
AU	2	2	2	2	6	11	19	27	33	40	78
UE	2	2	2	2	4	7	11	17	21	27	55
NG	0.2	1.8	2.3	2.8	3.9	6.1	9.8	15.5	20.1	26.3	46.5
SH	2	2	2	2	2	5	9	16	22	28	59
BA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WA	0.2	1.9	2.8	4.0	6.4	10.3	15.6	22.4	26.7	32.0	57.5
GI	2	2	4	6	11	20	31	44	50	58	79
FA	2	2	2	2	5	8	12	17	21	27	70
MP	2	2	2	5	7	11	16	22	26	32	66
LF	2	2	2	2	6	10	17	25	31	39	67
LM	2	2	2	2	4	7	13	20	26	32	63
LU	2	2	2	2	2	6	10	16	20	26	43
SM	0.2	2.4	3.2	3.9	5.3	7.7	11.2	16.4	21.1	28.5	65.7
RE	2	2	2	4	6	9	14	22	27	34	60
DE	0.7	2.8	3.5	4.2	5.8	8.5	13.2	21.3	29.0	40.4	102.3
AS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FB	2	2	2	2	5	7	9	13	16	22	50
BR	0.9	2.4	3.0	3.5	4.7	6.4	9.0	12.6	15.5	20.6	50.2
SC	0.2	1.0	1.4	1.7	2.4	3.7	6.0	8.8	11.4	15.5	50.3

Tabelle 20: Jährliche Perzentile von Stickstoffmonoxid für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
WE	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	1.4	2.3	4.1	77.4
ZG	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.6	1.2	1.8	2.8	22.9
HG	1	1	1	1	1	1	1	3	5	8	41
AU	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.5	6.9	16.9	84.2
UE	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.4	42.2
NG	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.8	1.4	3.0	28.2
SH	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.3	30.6
BA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WA	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	1.6	2.9	5.9	31.2
GI	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.1	4.3	15.1	28.9	52.1	143.6
FA	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	3.2	63.4
MP	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	3.5	6.2	10.8	51.5
LF	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	3.2	4.6	9.0	69.9
LM	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.8	27.4
LU	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	76
SM	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	1.0	1.7	3.1	32.7
RE	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.2	3.9	9.8	61.1
DE	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	1.6	2.9	6.6	54.5
AS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FB	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.8	3.8	50.2
BR	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.8	1.3	17.4
SC	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	1.0	2.0	22.5

Tabelle 21: Jahresmittel von Stickstoffmonoxid, 1987 - 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren, seit 1996 Trace-Level-Geräte an den personellen Messstellen

Station	WE	ZG	HG	AU	HW	TE	UE	SW	NG	AN	SH	KY	BA	WA	WI	GI	LI	FA	DL
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.0	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	4.3	-	-	-	-	-	-	-	3.8	2.8	-	8.7	-	-	-
1989	-	-	-	-	2.9	-	-	-	-	-	-	-	4.9	3.7	-	16	-	-	-
1990	-	-	-	-	4.2	-	-	-	-	-	-	-	3.3	1.9	-	10	-	-	-
1991	-	-	-	-	4.6	-	-	7.1	-	-	-	6.3	5.0	3.7	2.0	11	2.4	-	2.8
1992	-	1.5	-	-	2.7	2.8	1.6	5.0	1.7	2.0	-	4.6	3.5	2.5	1.9	13	1.7	-	2.4
1993	-	1.4	-	-	2.4	3.1	2.1	5.9	1.4	2.0	-	4.1	2.7	2.5	1.6	13	1.9	-	4.9
1994	-	1.4	-	-	1.9	3.5	1.7	4.2	1.4	2.4	-	4.7	2.3	2.2	-	6.1	1.9	-	2.8
1995	-	1.5	-	-	2.0	4.4	2.0	4.3	1.6	3.2	-	5.4	2.4	1.8	5.0	7.1	1.8	-	2.5
1996	1.6	1.5	1.9	-	2.7	4.3	2.1	5.4	1.7	2.5	-	3.9	2.8	1.9	4.9	6.5	1.7	-	2.6
1997	1.5	0.8	2.7	-	3.4	4.1	2.0	4.6	0.7	2.9	-	4.7	2.6	1.4	-	8.1	1.8	-	2.8
1998	1.2	0.7	1.9	-	-	2.7	1.5	-	0.8	2.6	-	-	2.4	1.2	2.1	6.0	1.3	-	1.8
1999	0.7	0.5	1.5	2.2	-	-	1.5	-	0.5	-	1.5	-	-	0.8	-	-	-	1.4	-
2000	0.8	0.6	-	2.2	-	-	1.6	-	0.7	-	1.6	-	2.2	1.0	-	4.7	-	1.4	-
2001	0.6	0.5	-	2.2	-	-	1.3	-	0.4	-	1.3	-	-	0.7	-	6.2	-	1.4	-
Station	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	AS	OE	BR	FB	RT	SC	MU	RS	ZU
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	5.5	-	-	-	-	-	2.4	1.7	4.0	-	-	-	7.5	-	-	-	-
1989	-	-	6.1	-	-	-	-	-	2.5	5.7	3.6	-	-	-	6.4	1.3	-	-	-
1990	-	-	4.1	2.2	-	-	-	-	2.3	4.0	3.1	-	-	-	7.0	1.2	-	-	-
1991	-	-	5.6	2.8	-	-	-	3.0	2.6	3.3	4.7	-	2.6	-	3.6	1.2	-	-	-
1992	-	2.3	5.1	2.7	-	1.5	1.6	3.7	2.7	4.8	4.2	2.5	2.5	-	5.4	1.3	-	-	-
1993	-	2.4	6.8	3.2	-	1.5	1.4	3.6	2.8	4.2	2.9	-	-	-	-	1.3	-	-	-
1994	2.4	1.8	3.2	-	1.5	1.4	1.4	3.1	-	1.5	2.6	-	2.1	-	-	1.3	-	-	-
1995	2.5	2.1	10	5.0	1.7	1.4	1.5	2.1	-	1.7	2.6	2.0	2.0	-	-	1.6	-	-	-
1996	2.7	1.6	5.2	3.5	1.7	1.5	1.3	2.4	1.5	2.3	3.2	1.7	1.7	-	-	1.0	2.2	-	0.9
1997	2.9	1.9	6.3	2.6	1.8	1.5	0.8	3.3	1.9	1.0	3.6	-	-	-	4.8	0.3	3.9	-	0.1
1998	1.9	1.6	3.3	2.4	2.6	1.4	0.5	1.8	1.9	0.6	2.3	0.4	0.4	-	2.4	0.3	3.1	-	-
1999	2.0	1.6	-	-	1.3	1.4	0.4	-	1.8	0.6	-	-	0.3	-	-	0.3	-	-	-
2000	2.8	1.5	-	-	1.6	1.3	0.4	-	1.4	0.6	2.9	-	0.3	-	-	0.3	-	-	-
2001	2.1	1.9	-	-	1.3	1.5	0.4	-	1.8	0.8	-	-	0.2	1.4	-	0.3	-	-	-

Tabelle 22: Jahresmittel von Stickstoffdioxid, 1987 - 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren, seit 1996 Trace-Level-Geräte an den personellen Messstellen

Station	WE	ZG	HG	AU	HW	TE	UE	SW	NG	AN	SH	KY	BA	WA	WI	GI	LI	FA	DL
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	18	13	-	31	-	-	-
1989	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	23	11	-	34	-	-	-
1990	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	23	8	-	28	-	-	-
1991	-	-	-	-	14	-	-	16	-	-	-	13	22	10	11	28	13	-	13
1992	-	8	-	-	18	9	7	17	9	10	-	12	24	12	12	26	12	-	13
1993	-	8	-	-	19	9	8	17	8	11	-	13	17	14	9	25	13	-	13
1994	-	8	-	-	16	14	10	13	7	13	-	14	8	14	-	22	12	-	13
1995	-	12	-	-	13	14	8	14	8	-	-	17	12	13	15	18	11	-	11
1996	12	10	11	-	16	14	10	16	8	14	-	15	12	16	18	17	12	-	12
1997	11	12	12	-	14	14	10	14	-	12	-	16	14	17	-	30	11	-	11
1998	12	13	11	-	-	11	9	-	10	13	-	-	15	15	11	29	10	-	11
1999	9	12	9	11	-	-	12	-	9	-	8	-	-	12	-	-	-	8	-
2000	7	14	-	12	-	-	11	-	9	-	8	-	15	10	-	20	-	9	-
2001	7	11	-	13	-	-	8	-	8	-	7	-	-	12	-	22	-	9	-
Station	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	AS	OE	BR	FB	RT	SC	MU	RS	ZU
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	29	-	-	-	-	-	23	11	17	-	-	-	16	-	-	-	-
1989	-	-	31	-	-	-	-	-	14	15	21	-	-	-	18	5	-	-	-
1990	-	-	30	16	-	-	-	-	17	12	20	-	-	-	16	6	-	-	-
1991	-	-	27	16	-	-	-	16	24	14	20	-	8	-	19	6	-	-	-
1992	-	15	29	18	-	7	13	16	25	10	21	8	8	-	18	5	-	-	-
1993	-	16	16	16	-	10	9	16	17	-	18	-	-	-	-	6	-	-	-
1994	10	12	17	-	10	9	9	14	-	6	14	-	3	-	-	6	-	-	-
1995	11	11	19	15	12	8	9	13	-	8	17	5	5	-	-	6	-	-	-
1996	12	11	20	15	15	11	8	15	9	16	18	5	5	-	-	7	10	-	-
1997	9	12	25	18	11	9	12	16	11	13	19	-	-	-	19	6	10	-	-
1998	11	11	17	16	11	10	11	13	12	12	12	8	8	-	14	6	11	-	-
1999	10	10	-	-	10	9	10	-	11	11	-	-	8	-	-	5	-	-	-
2000	12	11	-	-	10	7	10	-	12	9	15	-	8	-	-	5	-	-	-
2001	12	12	-	-	10	8	9	-	11	11	-	-	8	7	-	5	-	-	-

Tabelle 23: Jahresmittel von Stickstoffdioxid für 1968 bis 1999 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , nasschemisches Saltzman-Messverfahren

Stationen	Westerland	Zingst	Neuglobsow	Waldhof	Schmücke	Deuselbach	Brotjacklriegel	Schauinsland
1968	-	-	-	-	-	6.8	-	2.8
1969	9.2	-	-	-	-	10.7	5.2	3.2
1970	7.0	-	-	7.3	-	9.1	5.2	2.9
1971	8.2	-	-	12.0	-	9.6	5.2	3.2
1972	9.9	-	-	12.2	-	11.2	4.1	3.2
1973	7.2	-	-	11.6	-	12.6	5.3	3.9
1974	7.0	-	-	11.1	-	9.3	5.5	3.5
1975	7.8	-	-	12.0	-	10.2	5.3	3.9
1976	7.0	-	-	12.4	-	11.3	5.6	4.1
1977	8.5	-	-	13.5	-	10.5	4.9	3.6
1978	9.4	-	-	11.6	-	11.8	5.3	4.3
1979	8.4	-	-	12.7	-	13.0	5.6	4.2
1980	8.4	-	-	12.2	-	11.9	5.5	4.1
1981	8.0	-	-	12.7	-	11.9	5.7	4.3
1982	9.4	-	-	14.1	-	11.3	4.5	3.4
1983	8.1	-	-	13.2	-	11.5	5.3	3.2
1984	9.3	-	-	13.0	-	13.1	5.8	3.5
1985	9.6	-	-	13.5	-	13.4	7.3	4.5
1986	8.9	-	-	12.5	-	11.6	6.6	4.4
1987	8.9	-	9.3	13.1	5.6	12.8	6.7	5.1
1988	7.3	-	8.3	11.4	7.0	10.7	7.5	3.8
1989	9.1	-	12.3	13.3	6.8	11.4	6.8	3.6
1990	8.4	-	8.1	11.7	8.2	10.1	6.4	3.9
1991	9.1	-	-	11.7	7.1	10.4	6.1	3.7
1992	8.3	8.2	8.2	10.9	8.5	9.2	6.2	3.8
1993	8.5	7.7	7.8	10.6	7.3	8.8	5.2	3.7
1994	8.3	6.8	6.7	8.8	7.2	7.9	5.6	3.6
1995	8.7	7.1	7.5	9.2	6.6	8.2	5.8	3.6
1996	10.2	6.9	7.4	8.7	6.8	9.4	6.0	4.3
1997	9.5	7.4	7.0	9.1	6.2	8.5	6.3	3.9
1998	8.3	7.4	6.9	9.0	6.3	7.4	6.3	3.7
1999	7.1	6.6	6.5	8.4	6.0	7.5	6.2	4.1
2000	7.4	7.2	7.1	8.3	5.4	6.8	6.1	4.0
2001	6.7	6.1	6.2	7.8	5.4	7.1	-	-



### 2.1.2 Ozon (O<sub>3</sub>)

Ozon wird im Gegensatz zu SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> nicht direkt in die Atmosphäre emittiert, sondern bei Sonnenstrahlung aus den sog. Ozonvorläufern (NO<sub>x</sub>, VOC, CO, CH<sub>4</sub>) innerhalb der Atmosphäre gebildet.

In Tabelle 26 sind die Monats- und Jahresmittel der Ozon-Konzentrationen und in der Tabelle 27 die maximalen monatlichen Stundenwerte zusammengestellt. Die Jahresmittel nehmen mit zunehmender Stationshöhe zu. Die höchsten Jahreswerte wurden auch im Jahr 2001 an den Bergstationen Schauinsland (84 µg/m<sup>3</sup>), Brotjacklriegel (77 µg/m<sup>3</sup>), Schmücke (71 µg/m<sup>3</sup>) und Forellenbach (69 µg/m<sup>3</sup>) gemessen. Auffallend ist der hohe Jahreswert an der Nordseestation Westerland (63 µg/m<sup>3</sup>), der vor allem auf den dominierenden Beitrag des nordhemisphärischen Ozonhintergrundes zum Jahresmittelwert zurückzuführen ist.

Die maximalen Monatsmittel traten zwischen April und September auf. Die höchsten Monatsmittel wurden mit etwas über 100 µg/m<sup>3</sup> in den Monaten Mai bis August an den Bergstationen Schauinsland beobachtet, gefolgt von Brotjacklriegel mit knapp 100 µg/m<sup>3</sup> (Ausnahme: 107 µg/m<sup>3</sup> im Mai). Die maximalen Stundenwerte wurden an den meisten Stationen in den Monaten Juni, Juli und August 2001 beobachtet (Tabelle 27, siehe auch Kapitel 3.2). Die höchsten Stundenwerte wurden an den Stationen Schauinsland (236 µg/m<sup>3</sup> im Juni), Helgoland (203 µg/m<sup>3</sup>) sowie Schmücke (195 µg/m<sup>3</sup> im Juli) und Deuselbach (195 µg/m<sup>3</sup> im Juni) beobachtet. Zum Vergleich: Der höchste Ozonwert in Deutschland wurde mit 299 µg/m<sup>3</sup> an der Station Plochingen (bei Stuttgart) beobachtet.

In der Tabelle 28 sind die monatlichen 50-Perzentilwerte, in Tabelle 29 die monatlichen 98-Perzentilwerte und in Tabelle 30 die jährlichen Perzentilwerte für 2001 zusammen mit den Minima und Maxima der Ozonstundenwerte zusammengestellt. Das höchste 98-Jahresperzentil wurde mit 175 µg/m<sup>3</sup> auf dem Schauinsland gemessen, gefolgt von Regnitzlosau (174 µg/m<sup>3</sup>), Schmücke (172 µg/m<sup>3</sup>), Deuselbach und Gittrup mit je 166 µg/m<sup>3</sup>, d.h. 98% aller Ozonwerte lagen unterhalb dieser Werte. In Abbildung 13 sind monatliche Maxima, 98-, 90- und 50-Perzentile von 1994 bis 2001 dargestellt (Mittel über die 8 personell besetzten Messstellen). Man erkennt einen leichten Rückgang der Maxima und der höheren Perzentile, kaum aber eine Änderung des Medians. Wie in Abbildung 14 bis Abbildung 16 zu sehen ist, hat auch die jährliche Zahl der Stunden mit Ozonkonzentrationen > 180 µg/m<sup>3</sup> und > 240 µg/m<sup>3</sup> sowohl im Mittel über alle UBA-Stationen als auch im Mittel über alle deutschen Stationen abgenommen.

Wie aus Tabelle 31, Abbildung 17 und Abbildung 14 zu sehen ist, sind dagegen die Ozon-Jahresmittel zwischen 1990 und 2001 an den meisten Stationen leicht angestiegen. Der Anstieg der Ozon-Mittelwerte in Deutschland, der übrigens auch in anderen Ländern Mitteleuropas (z.B. Österreich, Schweiz, Großbritannien) beobachtet wird, ist auf den Rückgang der NO-Emissionen in Mitteleuropa zurückzuführen, wodurch der Abbau von Ozon in Emittentennähe verringert wird (Titrationseffekt). Hinzu kommt sehr wahrscheinlich auch der Anstieg des nordhemisphärischen Ozon-Hintergrundes, der ebenfalls zu einer Zunahme der Ozon-Mittelwerte führt (Ref. 4).

Vor diesem Hintergrund verwundert es nicht, dass bei den Langfristzielwerten für den Schutz der menschlichen Gesundheit und Vegetation im letzten Jahrzehnt keine Verbesserung

der Situation eingetreten ist, da diese Werte vor allem durch die mittleren Konzentrationen bestimmt werden und nicht durch die Spitzenwerte (*Ref. 5*). Die neuesten EU-Zielwerte für den Schutz von menschlicher Gesundheit und Vegetation (*Ref. 6*), die auf den neuesten Erkenntnissen auf dem Gebiet der Wirkungsforschung basieren, sehen wie folgt aus (siehe Tabelle 24).

Tabelle 24: EU-Zielwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit und Vegetation (*Ref. 6, 7*)

<b>Schutz der menschlichen Gesundheit</b>	Langfristziel:	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (gleitendes 8-h-Mittel)
	Zwischenziel bis 2010:	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (gleitendes 8-h-Mittel), 25 Tage/Jahr mit Überschreitungen sind zulässig
	Informationsschwelle:	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-h-Mittel)
	Alarmschwelle:	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-h-Mittel)
<b>Schutz der Vegetation</b>	Langfristziel:	6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ (AOT40, Mai bis Juli)
	Zielwert bis 2010:	18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ (AOT40, Mai bis Juli)

Bezüglich der Langzeit-Zielwerte erbrachten die Auswertungen der Messungen aus dem UBA-Messnetz folgende Ergebnisse:

### 2.1.3.1 Zielwerte für den Gesundheitsschutz:

Bezüglich der Einhaltung des Zielwertes von 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (gleitendes 8-h-Mittel) ist festzustellen, dass dieser Wert an den Stationen im Messnetz des UBA (ohne Station Zugspitze) im Jahr 2001 an 4 bis 58 Tagen überschritten worden ist. An 10 von 21 UBA-Stationen wurde der bis 2010 zulässige Zielwert von Überschreitungen an 25 Tagen/Jahr nicht eingehalten. Dies betrifft vor allem die Bergstationen.

In Tabelle 25 sind die Zielwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit für alle Stationen im UBA-Messnetz für die Jahre 1990 bis 2001 aufgelistet, wobei die Stationen nach Stationshöhe angeordnet sind. In Abbildung 18 und Abbildung 19 sind diese Werte für die 8 personell besetzten Stationen dargestellt. Folgende Ergebnisse sollen festgehalten werden:

- Die Zahl der Tage mit Überschreitungen der Zielwerte nimmt mit zunehmender Höhenlage der Stationen zu.
- Der bis 2010 zulässige Zielwert von 25 Tagen/Jahr wurde an den 8 personell besetzten Stationen zwischen 1990 und 2001 nur an den beiden norddeutschen Küstenstationen Zingst und Westerland in keinem Jahr erreicht oder überschritten. Die höchste Zahl an Überschreitungen wurde am Schauinsland 57x bzw. am Brotjacklriegel 58x beobachtet.
- Zwischen 1990 und 2001 traten an den 8 personell besetzten Stationen von Jahr zu Jahr erhebliche, meteorologisch bedingte Schwankungen der Zahl der Tage mit

Überschreitungen des EU-Zielwertes von  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (gleitende 8-Stunden-Mittelwerte) auf, ein systematischer Trend ist jedoch nicht erkennbar.

Tabelle 25: Anzahl der Tage/Jahr mit Überschreitungen von gleitenden 8-h-Mitteln  $> 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Ozon an den Messstellen des Umweltbundesamtes zwischen 1990 und 2001. Fett gedruckt: Überschreitungen des bis 2010 zulässigen Zielwertes von 25 Tagen/Jahr. Höhe der Stationen in m über NN.

	Höhe	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
ZG	1		10	9	10	9	14	15	13	10	7	10	5
UE	1		6	7	9	14	19	19	16	11	10	10	10
WE	12	13	7	5	12	14	18	17	15	17	13	14	11
AU	15									23	14	14	4
KY	40		6	3	14	21	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>36</b>			
GI	43	11	17	24	<b>35</b>	<b>38</b>	<b>33</b>	<b>30</b>	23	25	21	22	16
TE	46		10	8	12	16	18	15	9	9	4		
HG	50							20	14	15	13	18	8
BA	52	20	17	20	<b>31</b>	<b>34</b>	<b>29</b>	22	16	17	15	17	12
AN	56		<b>27</b>	23	23	<b>29</b>	<b>31</b>	<b>26</b>	17	14	18		
SW	59	0	6	12	19	<b>28</b>	24	23	17	18			
NG	65		17	23	24	<b>28</b>	<b>28</b>	24	17	21	<b>28</b>	<b>35</b>	20
SH	70										<b>30</b>	<b>30</b>	<b>26</b>
FA	73									22	21	21	14
WA	74	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>35</b>	<b>47</b>	<b>44</b>	<b>38</b>	<b>29</b>	22	<b>27</b>	<b>29</b>	<b>33</b>	<b>29</b>
HW	75	12	10	13	19	<b>26</b>	24	21	17	13			
MP	86			24	25	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>26</b>	24	25	22	22	23
DL	97	5	5	11	14	21	20	23	<b>26</b>	<b>29</b>	<b>34</b>		
LI	98	2	7	7	18	22	<b>31</b>	<b>29</b>	<b>28</b>	<b>27</b>	24		
WI	107	22	14	12	7	19	24	<b>26</b>	23	25	19		
OE	283												<b>49</b>
LF	356		23	<b>28</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>28</b>	25	22	22	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>28</b>
HE	380	<b>34</b>	<b>37</b>	<b>40</b>	<b>48</b>	<b>47</b>	25	<b>29</b>	22	<b>29</b>	20		
RT	427	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>38</b>	<b>52</b>	<b>58</b>	<b>54</b>	<b>46</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>28</b>		
DE	480	<b>56</b>	<b>45</b>	<b>37</b>	<b>37</b>	<b>43</b>	<b>47</b>	<b>50</b>	<b>48</b>	<b>50</b>	<b>37</b>	<b>30</b>	<b>33</b>
AS	481	10	17	<b>31</b>	<b>44</b>	<b>35</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>26</b>	21	23	<b>28</b>	<b>32</b>
LU	490		17	<b>27</b>	20	<b>27</b>	<b>26</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>29</b>	<b>33</b>	<b>32</b>	20
SZ	500	1	9	16	<b>27</b>	<b>41</b>	<b>39</b>	<b>38</b>	<b>32</b>	<b>35</b>	<b>37</b>		
ME	510	18	19	19	23	<b>37</b>	<b>34</b>	<b>29</b>	20	19			
LM	527				<b>33</b>	<b>43</b>	<b>40</b>	<b>36</b>	24	22	<b>25</b>	<b>30</b>	23
RS	552												<b>29</b>
RE	595	21	<b>33</b>	<b>37</b>	<b>49</b>	<b>45</b>	<b>40</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>30</b>	<b>32</b>	<b>31</b>	<b>36</b>
MU	622						<b>42</b>	<b>29</b>	<b>31</b>	<b>26</b>	<b>36</b>		
EB	816												<b>29</b>
FB	858												<b>33</b>
SM	937		<b>33</b>	<b>39</b>	<b>38</b>	<b>50</b>	<b>52</b>	<b>56</b>	<b>49</b>	<b>53</b>	<b>50</b>	<b>52</b>	<b>42</b>
BR	1016	<b>59</b>	<b>47</b>	<b>50</b>	<b>65</b>	<b>76</b>	<b>67</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>68</b>	<b>63</b>	<b>61</b>	<b>56</b>
SC	1205	<b>73</b>	<b>66</b>	<b>67</b>	<b>66</b>	<b>75</b>	<b>66</b>	<b>69</b>	<b>61</b>	<b>62</b>	<b>55</b>	<b>54</b>	<b>57</b>
ZU	2963					<b>95</b>	<b>114</b>	<b>96</b>	<b>119</b>	<b>111</b>	<b>104</b>	<b>97</b>	

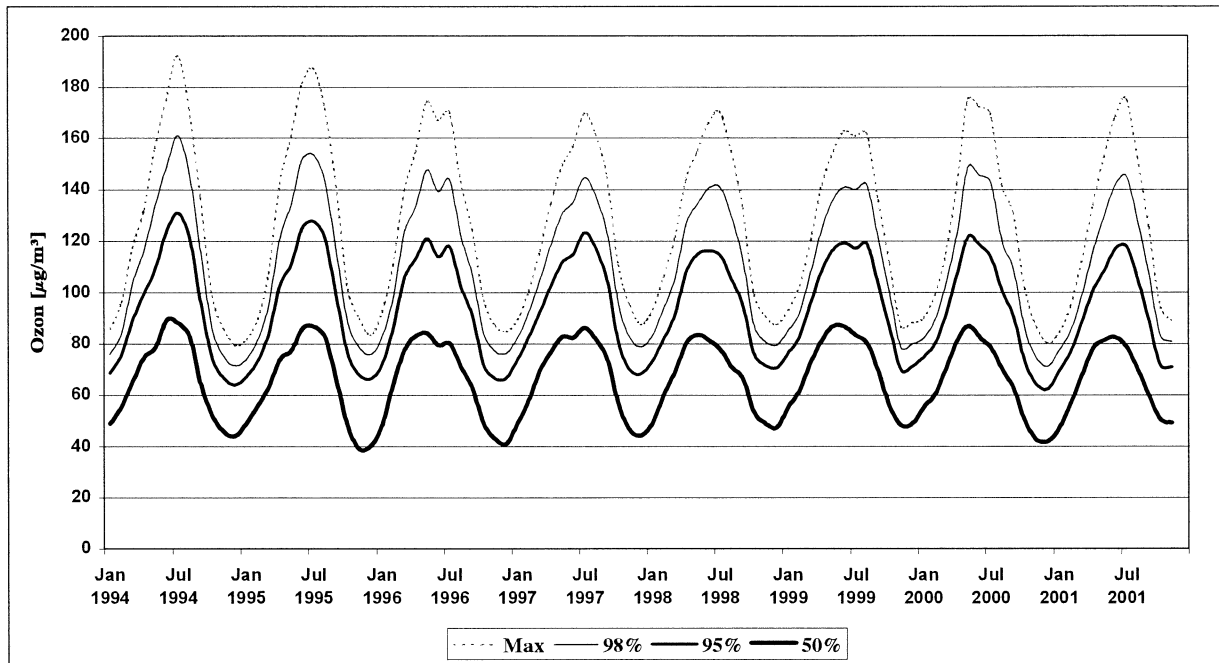


Abbildung 13: Monatliche Maxima, 98-, 90- und 50-Perzentile für Ozon von 1994 bis 2001, gemittelt über die 8 personell besetzten UBA-Messstellen.

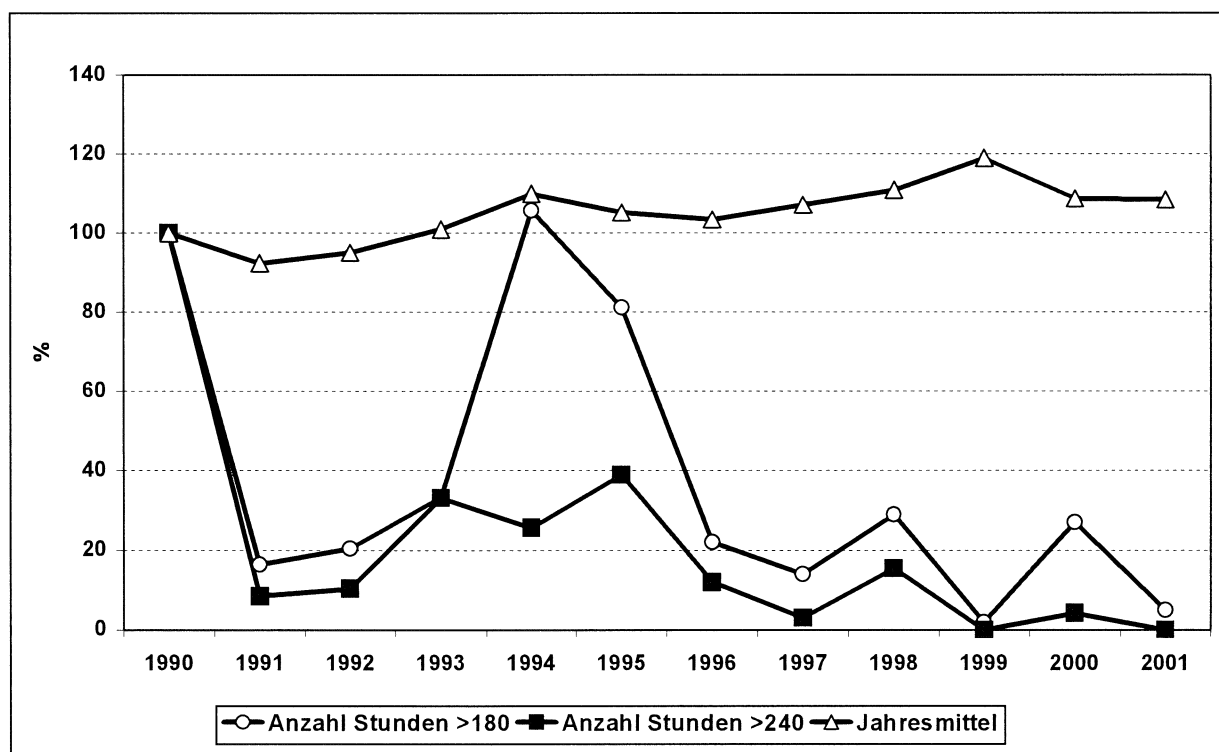


Abbildung 14: Zahl der jährlichen Stunden mit Ozonwerten  $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $> 240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sowie Jahresmittel, gemittelt über alle UBA-Stationen und normiert auf 1990

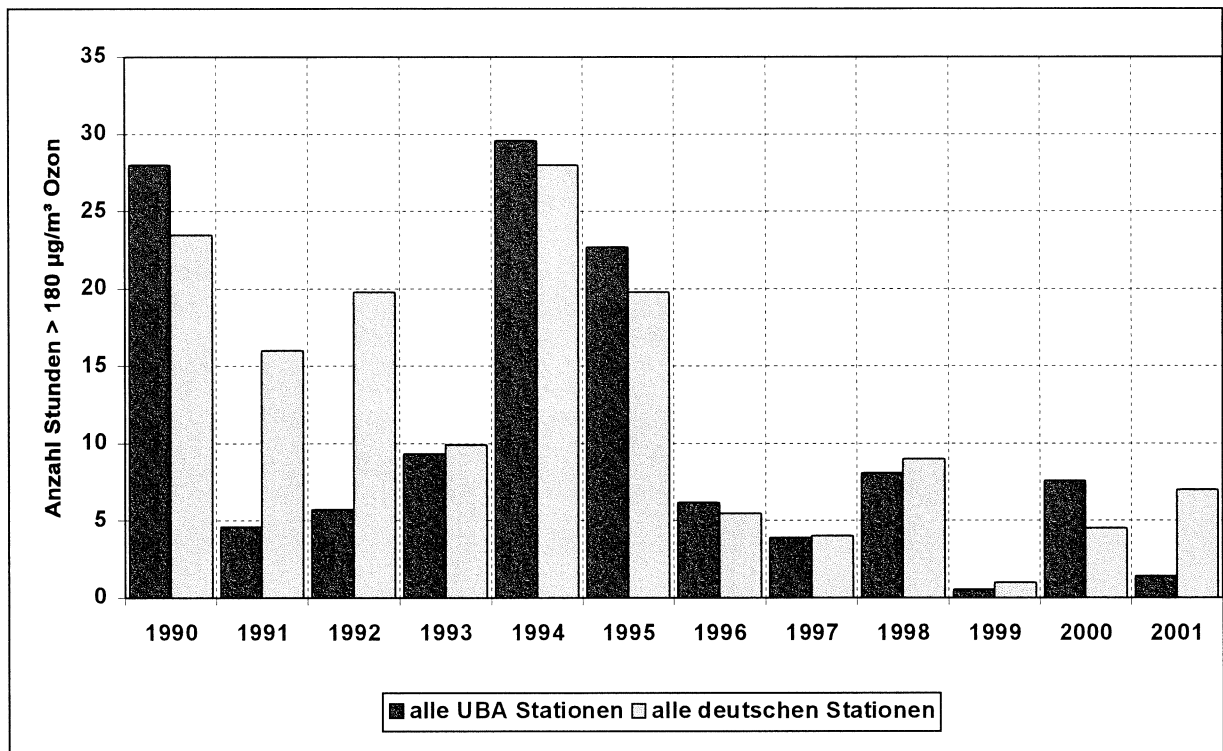


Abbildung 15: Zahl der jährlichen Stunden mit Ozonwerten  $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , gemittelt über alle UBA-Stationen (dunkelgrau) und alle deutschen Stationen (hellgrau)

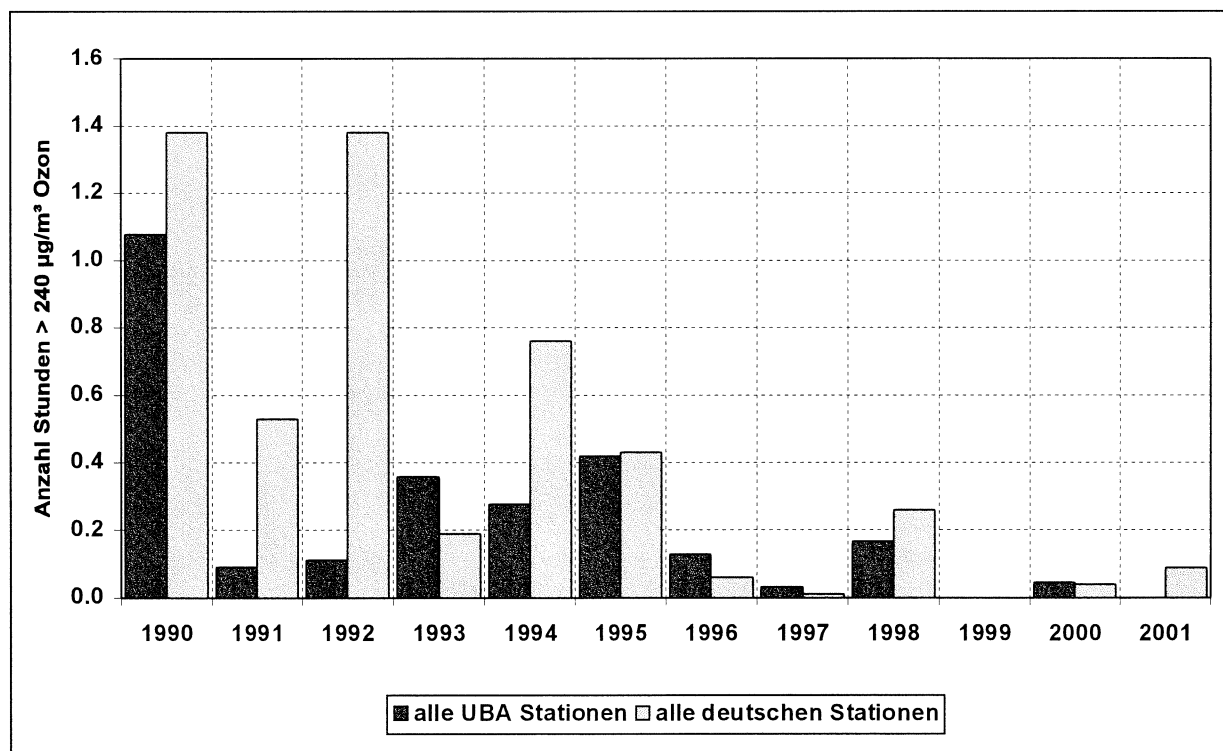


Abbildung 16: Zahl der jährlichen Stunden mit Ozonwerten  $> 240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , gemittelt über alle UBA-Stationen (dunkelgrau) und alle deutschen Stationen (hellgrau)

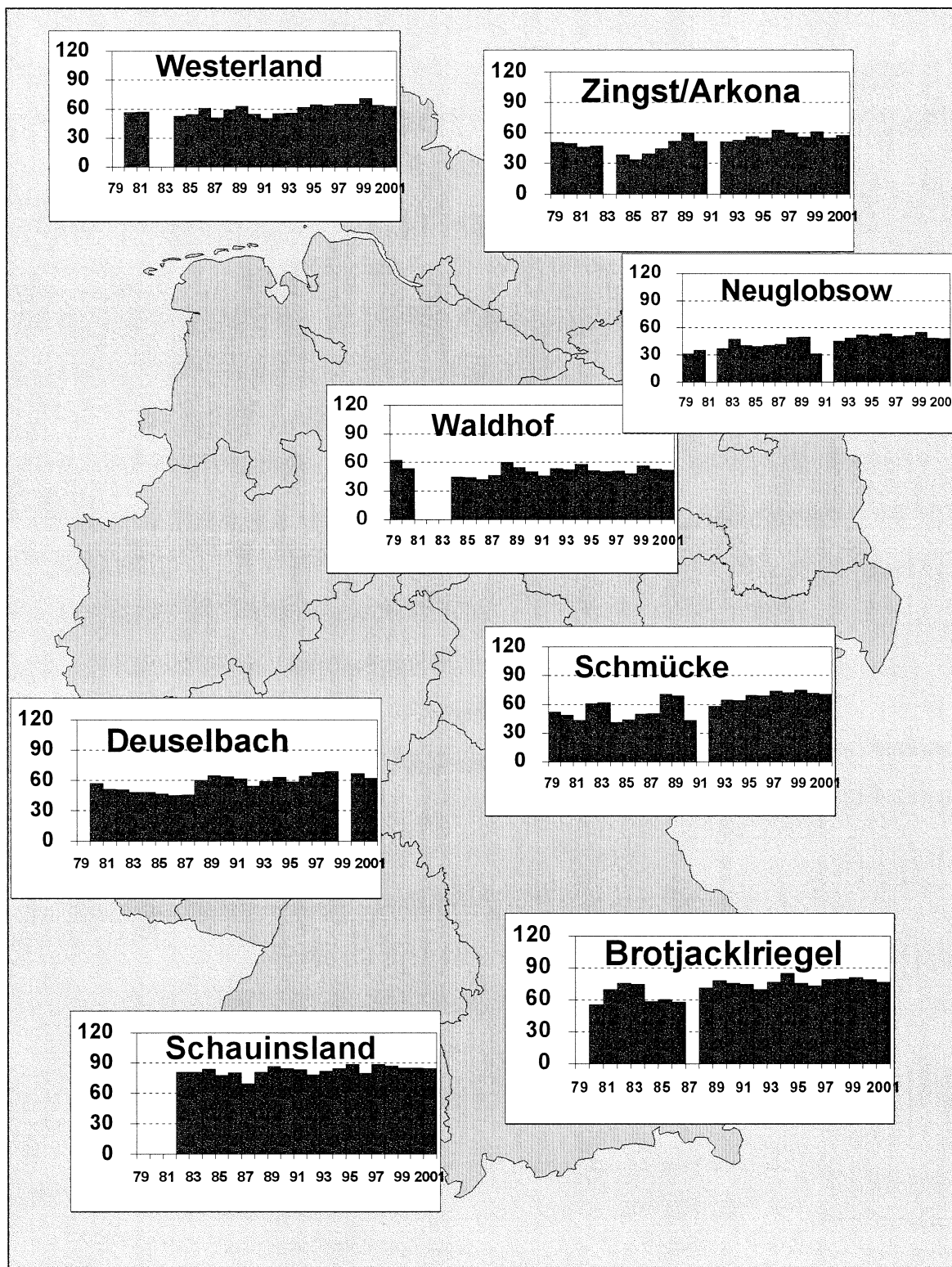


Abbildung 17: Jahresmittel von Ozon für 1969 bis 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  an den personellen Messstellen des UBA

\* Zingst ab 1993, davor Messungen an der Station Arkona des Meteorologischen Dienstes

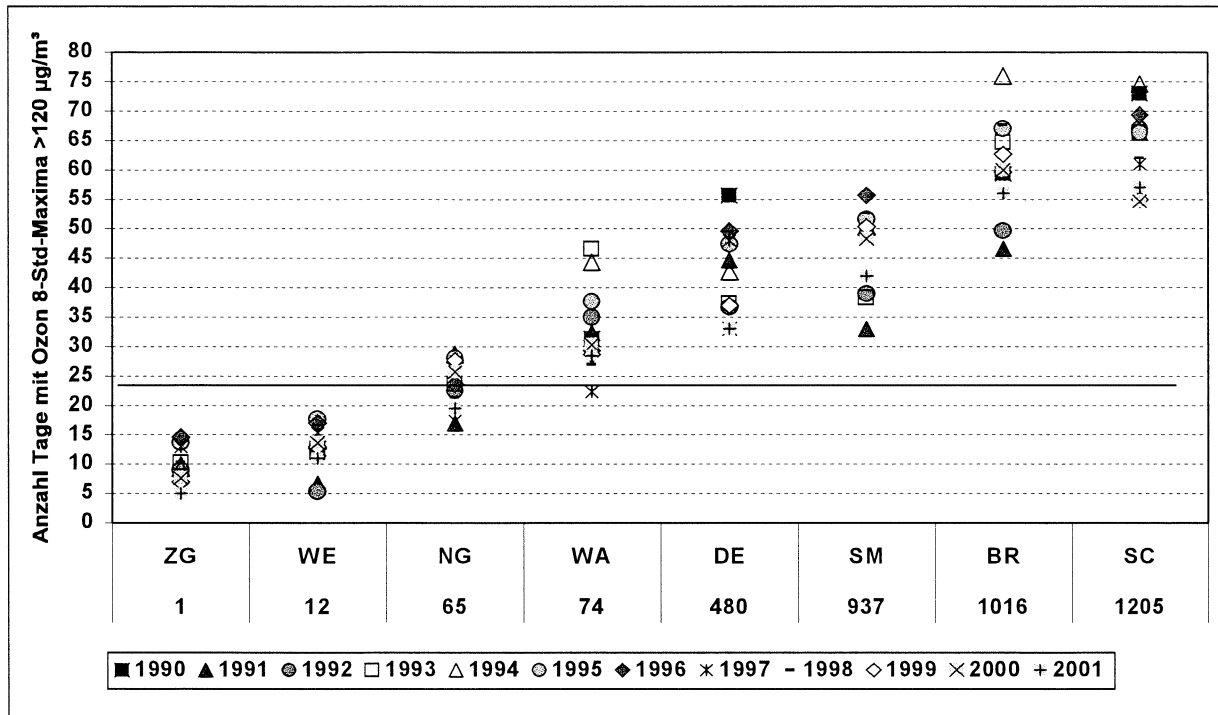


Abbildung 18: Anzahl der Tage/Jahr mit Überschreitungen von gleitenden 8-h-Mitteln  $>120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Ozon an den 8 personell besetzten Messstellen des Umweltbundesamtes zwischen 1990 und 2001, nach Stationshöhe sortiert (Höhenangaben über NN unter der Stationsbezeichnung).

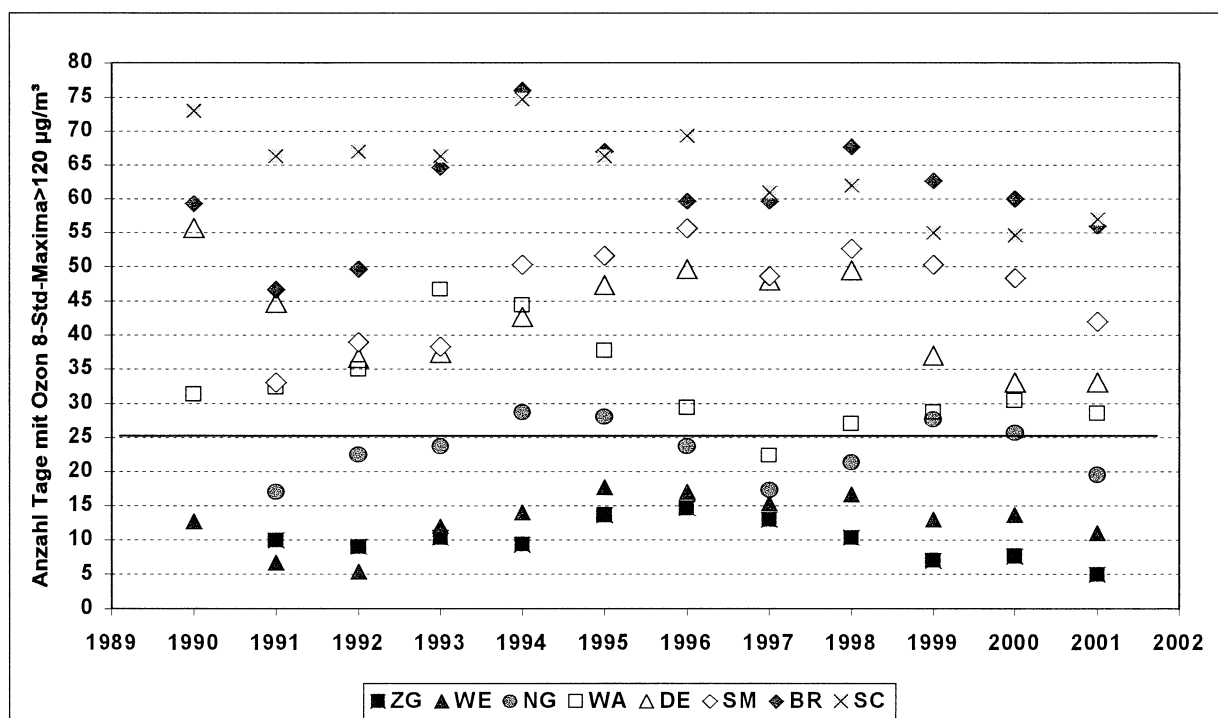


Abbildung 19: Anzahl der Tage/Jahr mit Überschreitungen von gleitenden 8-h-Mitteln  $>120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Ozon an den 8 personell besetzten Messstellen des Umweltbundesamtes zwischen 1990 und 2001, nach Jahren sortiert.

### 2.1.3.2 Zielwerte für den Schutz der Vegetation

Als Langfristzielwerte für die Schädigung der Vegetation werden oft sog. AOT40-Werte angegeben (AOT40: Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb). Zur Bestimmung dieses Wertes werden alle Überschreitungen eines Stundenmittels von 40 ppb (entspricht  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) während der Hauptwachstumsphase von Mai bis Juli, in der Zeit zwischen 8:00 und 20:00 Uhr MEZ aufsummiert.

Die während des letzten Jahrzehnts im Messnetz des UBA ermittelten Zielwerte für den Schutz der Vegetation sind in Abbildung 20 und Abbildung 21 dargestellt. Bezüglich der Einhaltung des Zielwertes von  $18000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$  (AOT40) bis 2010 ist festzustellen, dass dieser Wert an den höher gelegenen Stationen, vor allem am Schauinsland (1205 m), im vergangenen Jahrzehnt deutlich überschritten wurde. Dagegen wurde dieser Wert an den meisten anderen Stationen im gleichen Zeitraum nicht erreicht. Bezüglich der Einhaltung des Langfristziels von  $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$  ist festzustellen, dass dieser Wert an fast allen UBA-Stationen noch mehr oder weniger deutlich überschritten wird.

Noch ausgeprägter als bei den Zielwerten für den Gesundheitsschutz ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , gleitendes 8-h-Mittel) ist bei den Zielwerten für den Schutz der Vegetation (AOT40) eine sehr starke Variation von Jahr zu Jahr zu beobachten, die ebenso meteorologische Ursachen hat (z.B. warme oder kalte Sommer). In Abbildung 22 ist der Verlauf der kumulativen Beiträge zum AOT40-Wert für 1994 bis 2001 beispielhaft für die Station Westerland/Sylt und Schauinsland/Schwarzwald dargestellt. Während in Westerland wegen des dominierenden Beitrags des nordhemisphärischen Hintergrunds die AOT40-Werte während der Vegetationsperiode in der Regel gleichmäßig ansteigen, wird der entsprechende Anstieg auf dem Schauinsland mehr durch Episoden mit höheren Ozonwerten verursacht.

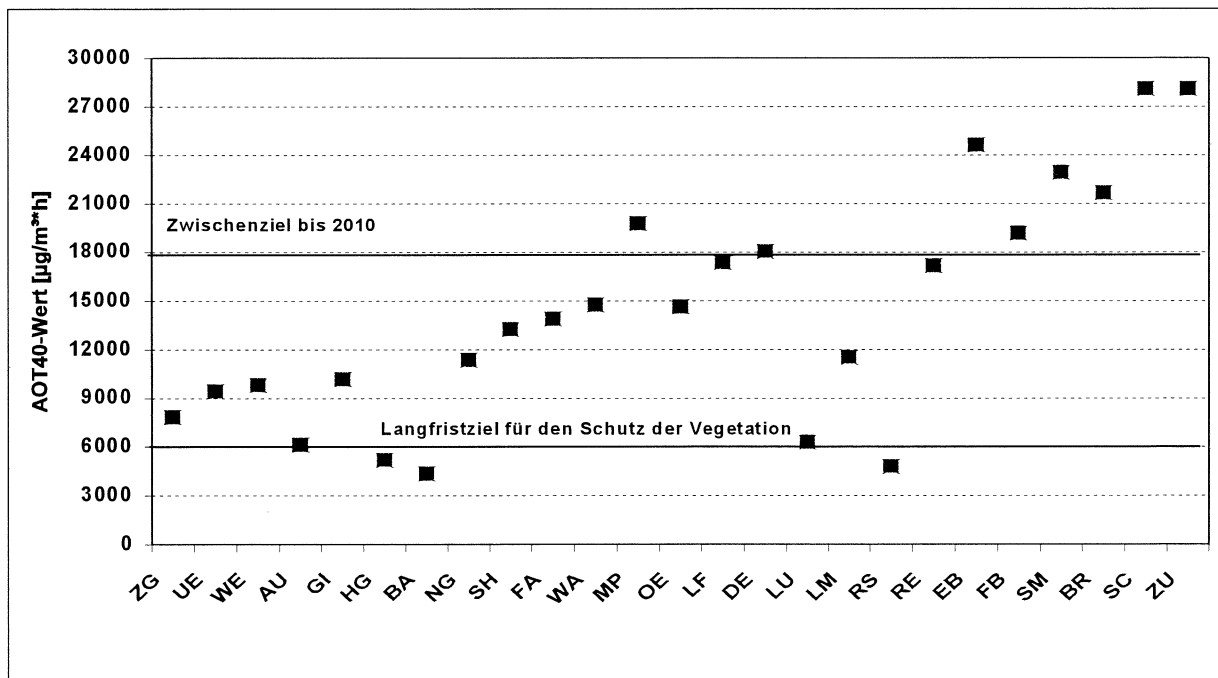


Abbildung 20: AOT40-Werte zum Schutz der Vegetation an allen Stationen des UBA für 2001



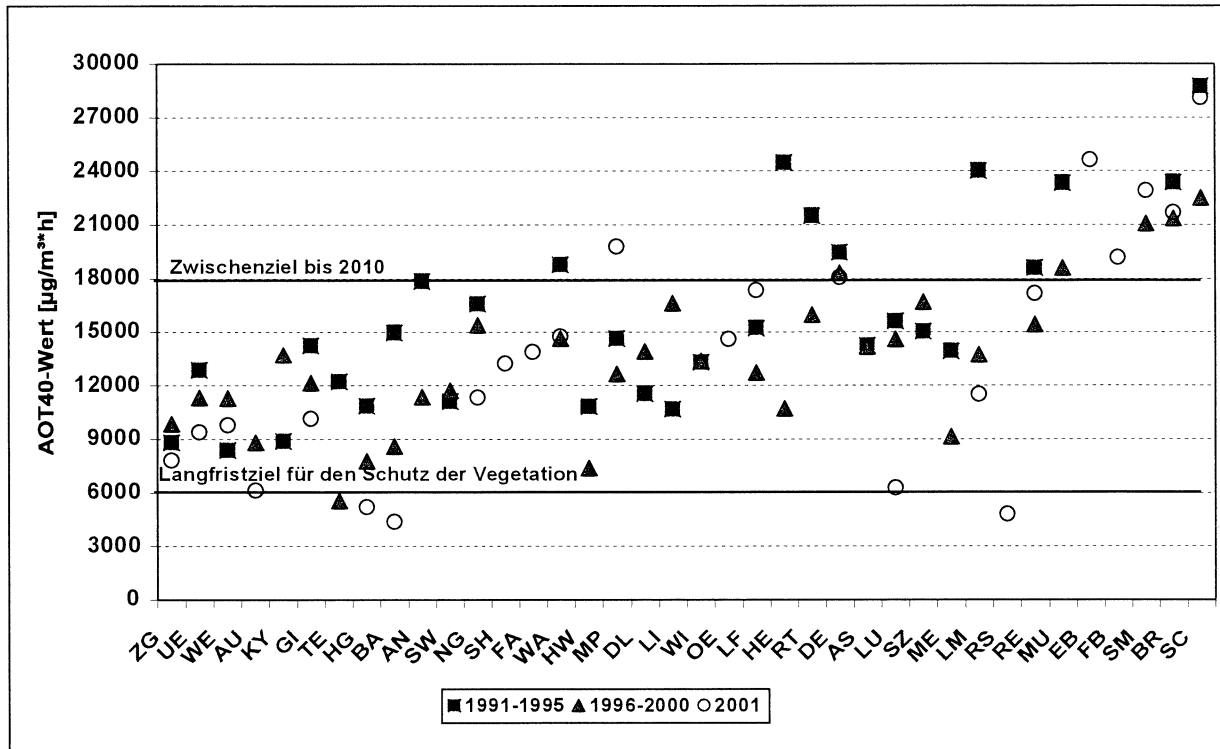


Abbildung 21: AOT40-Werte zum Schutz der Vegetation an allen Stationen des UBA, sortiert nach Stationshöhe

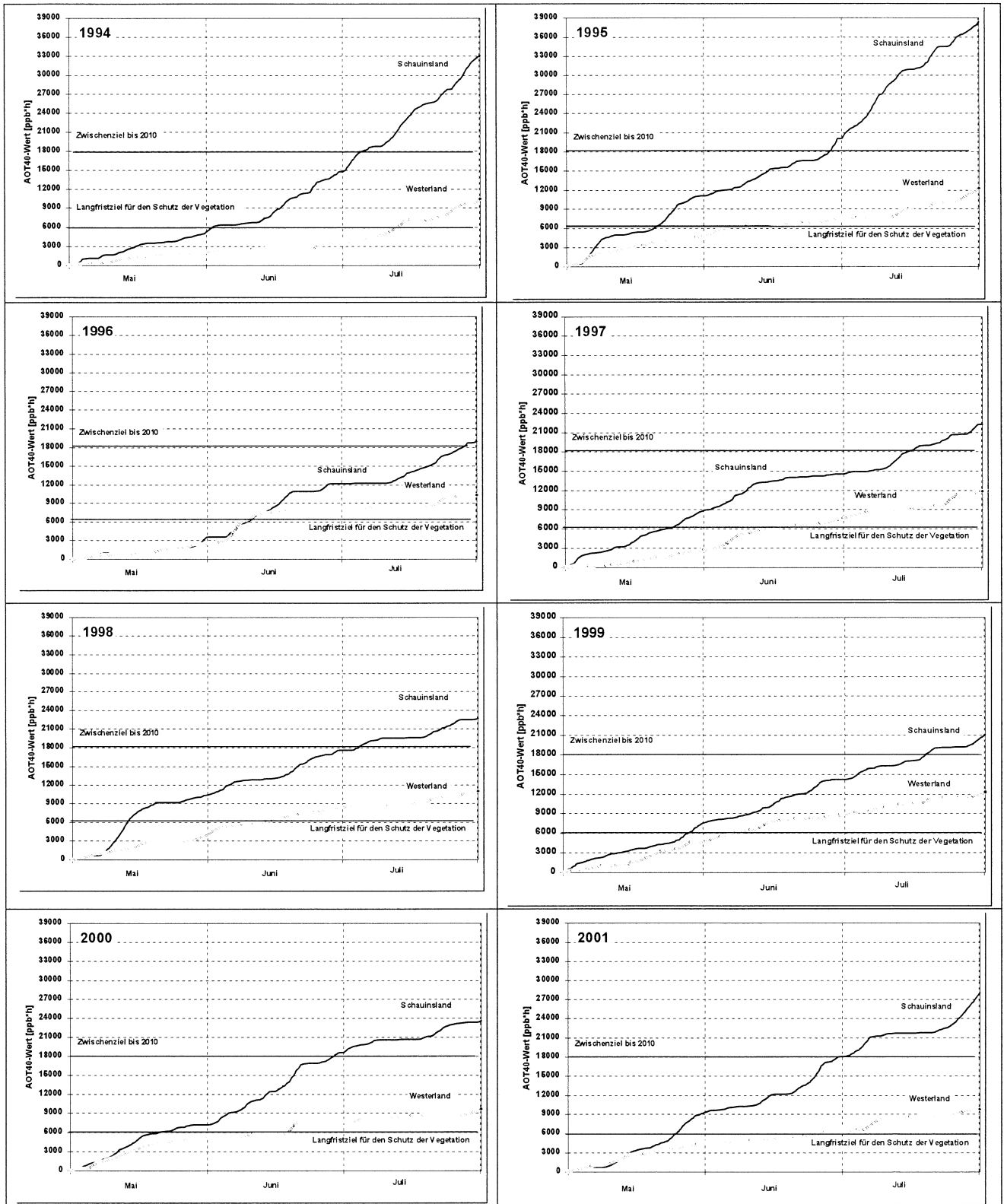


Abbildung 22: Verlauf der kumulativen Beiträge zum AOT40-Wert zum Schutz der Vegetation für 1994 bis 2001 in Westerland und auf dem Schauinsland

Tabelle 26: Monats- und Jahresmittel, Ozon für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bez. auf 20 °C

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	35	53	64	76	86	81	79	70	-	47	56	46	63
ZG	32	55	71	70	76	72	73	62	47	41	50	44	58
HG	36	56	64	73	77	77	73	73	61	43	61	52	62
AU	23	37	48	57	62	63	62	56	37	32	35	26	45
UE	28	48	62	65	76	70	75	62	44	37	40	37	53
NG	23	44	51	56	73	62	65	55	36	29	42	44	48
SH	23	44	56	59	74	62	68	58	39	31	34	37	49
BA	-	-	48	57	59	57	-	-	34	28	25	29	44
WA	30	48	58	67	79	66	68	67	41	31	32	34	52
GI	-	-	43	59	64	57	57	51	33	25	18	25	43
FA	25	44	53	64	77	67	70	67	43	32	33	38	51
MP	30	45	52	63	69	63	70	57	41	28	27	31	48
LF	-	-	-	-	80	77	80	74	49	45	-	39	61
LM	39	48	63	64	72	68	73	72	45	37	32	40	54
LU	38	52	54	62	68	66	73	67	41	38	33	36	52
SM	52	58	63	82	94	91	98	97	59	60	48	47	71
RE	-	-	63	75	83	76	82	90	60	55	41	46	66
DE	45	53	63	76	84	84	84	80	52	50	35	40	62
AS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	59	71	60	65	68	-	-	-	-	-
FB	44	-	71	81	97	85	85	85	53	55	42	53	69
BR	68	65	80	91	107	94	94	96	62	65	45	55	77
RS	-	-	-	-	-	-	-	60	43	32	35	41	-
SC	73	68	82	91	103	102	104	103	73	80	65	66	84

Tabelle 27: Monatsmaxima der Stundenwerte, Ozon für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	80	86	115	120	152	138	175	183	-	88	81	91
ZG	83	83	115	123	127	123	137	171	89	85	89	80
HG	78	86	96	116	124	135	164	203	96	84	83	85
AU	66	70	85	101	122	121	157	166	78	75	82	76
UE	59	86	103	128	125	131	157	172	96	83	77	74
NG	65	83	105	143	143	125	161	184	106	87	100	87
SH	61	83	114	132	143	137	169	186	101	81	70	70
BA	-	-	98	111	122	177	-	-	88	70	65	73
WA	62	83	106	129	166	174	175	175	93	75	72	78
GI	-	-	100	111	151	178	160	193	81	69	69	68
FA	64	82	112	132	154	148	145	185	107	74	78	77
MP	76	85	110	137	157	160	178	188	106	80	69	73
LF	-	-	-	-	146	161	184	178	104	96	74	79
LM	64	94	97	117	124	163	166	194	93	65	52	69
LU	79	95	98	112	117	122	161	131	83	90	67	72
SM	86	95	112	126	156	183	195	177	103	110	88	98
RE	-	-	117	128	156	168	193	185	114	114	89	94
DE	76	85	105	129	161	195	181	162	95	82	73	71
AS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	118	148	189	181	175	-	-	-	-
FB	90	-	113	133	158	159	158	162	102	95	83	92
BR	97	104	130	141	164	171	188	179	105	122	87	91
RS	-	-	-	-	-	-	-	160	103	94	81	87
SC	90	97	111	135	176	236	194	176	110	104	96	89

Tabelle 28: Monatliche 50-Perzentile der Stundenwerte von Ozon für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	32	52	70	80	88	81	77	69	-	45	64	48
ZG	30	55	76	71	79	73	73	61	50	40	54	45
HG	35	56	71	77	82	78	70	69	64	44	70	58
AU	23	37	52	61	65	64	61	53	39	34	39	27
UE	27	47	64	65	77	69	77	60	44	36	40	37
NG	21	43	53	58	75	62	65	55	36	28	41	45
SH	21	44	61	62	76	64	70	57	39	31	36	38
BA	-	-	51	57	59	55	-	-	34	27	24	28
WA	31	46	60	67	80	67	64	61	42	31	32	33
GI	-	-	46	61	67	57	53	43	32	24	9	23
FA	24	43	53	65	75	64	69	63	42	32	33	39
MP	29	46	53	65	67	64	74	52	42	28	26	29
LF	-	-	-	-	79	73	77	67	49	46	42	41
LM	40	46	65	64	73	61	69	68	46	39	33	44
LU	38	53	55	60	70	62	71	63	40	37	35	39
SM	54	60	66	82	94	85	93	92	59	57	51	49
RE	-	-	66	75	81	73	79	86	60	54	43	47
DE	51	55	64	77	82	79	80	76	50	51	37	44
AS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	59	69	55	60	62	-	-	-	-
FB	41	-	73	81	99	82	84	85	52	57	43	57
BR	71	64	81	90	106	91	91	94	60	65	47	59
RS	-	-	-	-	-	-	-	58	48	24	33	44
SC	74	72	85	91	105	96	96	103	72	80	65	67

Tabelle 29: Monatliche 98-Perzentile der Stundenwerte von Ozon für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	74	85	95	107	127	119	131	147	-	82	79	85
ZG	66	79	103	100	119	109	113	120	77	73	83	78
HG	74	83	90	101	108	109	130	152	86	78	81	80
AU	53	64	76	90	111	106	132	144	69	63	67	56
UE	50	78	96	110	115	113	134	140	77	65	67	66
NG	48	79	88	104	123	108	127	126	77	75	80	81
SH	53	80	96	110	131	114	136	142	85	67	67	64
BA	-	-	90	96	107	109	-	-	71	56	58	67
WA	56	81	94	111	139	131	145	160	84	64	66	71
GI	-	-	86	99	127	118	140	164	68	57	61	62
FA	59	73	92	116	129	128	129	153	89	66	65	71
MP	68	77	95	119	140	138	146	157	92	71	63	66
LF	-	-	-	-	131	136	157	160	89	82	67	71
LM	59	83	91	102	115	126	134	155	74	61	46	59
LU	65	81	89	102	110	114	121	122	74	68	61	64
SM	76	87	93	114	144	155	170	166	92	103	77	91
RE	-	-	104	116	132	135	143	173	103	94	80	83
DE	73	80	91	104	142	166	158	147	88	72	62	66
AS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	102	129	143	155	148	-	-	-	-
FB	83	-	104	123	145	135	139	134	86	85	72	88
BR	92	96	112	129	153	151	154	156	93	105	74	88
RS	-	-	-	-	-	-	-	143	87	84	73	80
SC	88	93	101	123	152	175	175	164	99	100	92	84

Tabelle 30: Jährliche Perzentile der Stundenwerte von Ozon für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
WE	1	4	15	25	45	67	82	92	100	112	183
ZG	1	12	19	25	41	59	74	87	95	103	171
HG	1	4	16	28	47	67	77	87	93	103	203
AU	1	1	2	8	27	45	62	77	88	105	166
UE	1	12	17	23	34	51	70	87	96	107	172
NG	1	4	9	14	27	47	67	83	96	109	184
SH	1	3	6	12	26	47	68	89	100	117	186
BA	1	2	4	10	24	42	60	78	90	103	178
WA	1	3	8	15	30	48	69	91	104	124	175
GI	1	1	1	4	19	40	62	81	95	115	193
FA	1	5	11	18	31	48	67	88	103	121	185
MP	1	1	3	10	24	45	66	91	109	129	188
LF	1	8	16	26	42	57	77	100	118	135	184
LM	1	14	21	27	38	51	67	86	102	117	194
LU	1	9	17	24	37	51	66	83	95	106	161
SM	1	19	30	40	53	67	85	109	125	147	195
RE	1	8	20	30	47	65	82	103	118	132	193
DE	1	8	21	31	45	59	77	97	116	136	195
AS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FB	1	16	25	34	50	67	87	107	117	126	162
BR	3	24	35	45	59	74	93	115	126	138	188
SC	1	43	52	59	69	80	95	118	134	153	236

Tabelle 31: Jahresmittel von Ozon für 1982 bis 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C

Stat.	WE	ZG	HG	AU	HW	TE	UE	SW	NG	AN	SH	KY	BA	WA	WI	GI	LI	FA	DL
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	53	-	-	-	-	-	-	-	41	-	-	-	-	45	-	-	33	-	-
1985	54	-	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-	-	44	-	-	31	-	-
1986	61	-	-	-	-	-	-	-	41	-	-	-	-	42	-	-	40	-	-
1987	51	-	-	-	-	-	-	-	42	-	-	-	-	46	-	-	36	-	-
1988	59	-	-	-	39	-	-	-	50	-	-	-	-	60	-	36	46	-	-
1989	63	-	-	-	48	-	-	-	50	-	-	-	43	55	-	32	48	-	-
1990	55	-	-	-	48	-	-	-	32	-	-	-	38	51	-	27	45	-	-
1991	51	-	-	-	44	-	-	40	-	-	-	-	41	47	51	28	-	-	-
1992	55	51	-	-	49	42	43	41	45	49	-	34	43	58	48	39	-	-	42
1993	56	53	-	-	54	44	44	45	49	45	-	38	45	53	46	42	50	-	48
1994	62	56	-	-	-	50	45	47	52	49	-	48	56	58	-	-	48	-	44
1995	65	55	-	-	52	52	55	53	51	53	-	49	44	52	51	44	52	-	53
1996	64	63	-	-	52	49	58	52	53	52	-	48	45	-	49	42	55	-	47
1997	65	60	64	-	52	52	58	52	50	50	-	53	45	51	52	42	57	-	48
1998	65	56	64	-	-	-	57	-	52	54	-	-	44	48	51	42	-	-	59
1999	71	61	64	53	-	-	56	-	45	-	-	-	51	56	-	46	-	54	-
2000	64	55	-	40	-	-	52	-	49	-	52	-	45	53	-	42	-	50	-
2001	63	58	62	45	-	-	53	-	48	-	49	-	44	52	-	43	-	51	-
Stat.	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	AS	OE	BR	FB	RT	SC	MU	RS	ZU
1982	-	-	-	-	-	-	61	-	-	51	-	-	76	-	-	81	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	62	-	-	48	-	-	75	-	-	81	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	41	-	-	48	-	-	59	-	-	84	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	44	-	-	47	-	-	61	-	-	78	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	50	-	-	45	-	-	58	-	-	80	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	51	-	-	46	-	-	-	-	-	70	-	-	-
1988	-	-	42	-	-	-	70	-	56	64	-	-	71	-	50	81	-	-	-
1989	-	-	40	-	-	-	69	-	50	65	39	-	78	-	49	87	-	-	-
1990	-	-	42	58	-	-	43	-	53	64	42	-	76	-	50	85	-	-	-
1991	-	-	42	54	-	-	-	42	52	61	38	-	75	-	49	83	-	-	-
1992	-	47	41	52	-	55	58	50	59	55	48	-	73	-	51	78	-	-	-
1993	37	49	47	57	-	60	65	51	59	59	59	-	77	-	58	82	-	-	-
1994	47	51	-	-	55	50	64	53	-	63	-	-	86	-	63	85	-	-	-
1995	52	54	55	-	59	60	70	56	-	59	52	-	74	-	52	89	-	-	101
1996	44	53	46	44	62	63	69	52	59	64	54	-	73	-	50	80	48	-	103
1997	47	51	47	53	61	61	74	57	63	68	43	-	79	-	56	89	41	-	102
1998	49	58	-	57	59	62	72	61	64	69	44	-	80	-	-	87	57	-	105
1999	50	60	-	-	62	64	75	-	63	-	52	-	81	-	-	85	-	-	103
2000	47	55	-	-	61	61	72	-	62	67	49	-	79	73	-	85	-	-	-
2001	48	-	-	-	54	52	71	-	66	62	-	-	77	69	-	84	-	-	-

## 2.1.4 Flüchtige Organische Substanzen (VOC)

Seit 1998 werden entsprechend dem EMEP-Programm zweimal pro Woche routinemäßig Messungen von 27 flüchtigen organischen Substanzen (siehe Tabelle 32) in Waldhof (Lüneburger Heide) und auf der Schmücke (Thüringer Wald) durchgeführt, seit Januar 2001 auch in Zingst und auf dem Brotjacklriegel. Die Messungen erfolgen jeweils am Montag und Donnerstag um 13 Uhr MEZ. Die Probenahmezeit beträgt ca. 20 Minuten. Die Probenahme erfolgt mit evakuierten Kanistern. Vor Einführung der Analytik auf der Schmücke wurde die Analytik beim NILU in Norwegen durchgeführt. Danach erfolgten über einen längeren Zeitraum Parallelmessungen mit Analysen beim NILU und auf der Schmücke. Zur Sicherstellung des Qualitätsstandards werden auch weiterhin von Zeit zu Zeit Parallelbestimmungen durchgeführt.

Darüber hinaus wird zur Bestimmung eines Tagesganges an der Schmücke jeweils von Donnerstag 14:00 Uhr bis Freitag 12:00 Uhr alle 2 Stunden gemessen. Folgende VOC werden gemessen:

Tabelle 32: VOC-Messprogramm:

<b>Ethan</b>	<b>i-Buten</b>	<b>Isopren</b>
<b>Ethen</b>	<b>cis-2-Buten</b>	<b>n-Hexan</b>
<b>Propan</b>	<b>i-Pentan</b>	<b>n-Heptan</b>
<b>Propen</b>	<b>n-Pentan</b>	<b>Benzol</b>
<b>Ethin</b>	<b>Butadien 1,3</b>	<b>Toluol</b>
<b>i-Butan</b>	<b>tr-2-Penten</b>	<b>Ethylbenzol</b>
<b>n-Butan</b>	<b>cis-2-Penten</b>	<b>m/p-Xylol</b>
<b>trans-2-Buten</b>	<b>2-Methylpentan</b>	<b>o-Xylol</b>
<b>1-Buten</b>	<b>3-Methylpentan</b>	<b>Σ Pentene</b>

Einige der aufgelisteten VOC sind ausschließlich anthropogenen Ursprungs (z.B. Benzol), einige sind überwiegend natürlichen Ursprungs (z.B. Isopren) und wieder andere sind sowohl anthropogenen als auch natürlichen Ursprungs (z.B. Ethan, Ethen). Die hier aufgelisteten VOC sind insgesamt überwiegend anthropogenen Ursprungs.

In Tabelle 34 bis Tabelle 37 sind die Monats- und Jahresmittel der VOC und in Tabelle 38 bis Tabelle 41 die maximalen monatlichen Werte im Jahr 2001 für die Stationen Zingst, Waldhof, Schmücke und Brotjacklriegel aufgelistet. Für die Stationen Schmücke, Waldhof, Zingst und Brotjacklriegel sind die Konzentrationsmuster ähnlich, die Konzentrationen nehmen jedoch mit zunehmender Stationshöhe in der Regel etwas ab (Abbildung 23).

Wie aus Abbildung 24 bis Abbildung 25 zu entnehmen ist, unterscheiden sich die Standortpaare Zingst und Brotjacklriegel von Waldhof und Schmücke deutlich im Hinblick auf den Isoprengehalt im Sommer. Dies ist auf die unterschiedlichen Baumarten im Umfeld der Stationen zurückzuführen.

Abbildung 24 bis Abbildung 25 zeigen für die Stationen Zingst, Waldhof, Schmücke und Brotjacklriegel den gegenläufigen mittleren Jahresgang (1998-2001 bzw. 2000-2001) für die

überwiegend anthropogen emittierten VOC gesamt mit einem Maximum im Winter sowie für das überwiegend aus biogenen Quellen stammende Isopren mit einem Maximum im Sommer.

Bei der Interpretation der gemessenen VOC-Konzentrationen ist zu beachten, dass die beobachteten Konzentrationswerte wegen der sich um Größenordnungen unterscheidenden Reaktivitäten der einzelnen VOC keine Rückschlüsse auf die Emissionen der einzelnen VOC und deren Emissionsverhältnisse ziehen lassen.

Zwischen 1998 und 2001 wurden an den Stationen Zingst, Waldhof, Schmücke und Brotjackriegel folgende Jahresmittel für VOC gesamt bestimmt:

Tabelle 33: Jahresmittel VOC gesamt

Jahr	Zingst	Waldhof	Schmücke	Brotjackriegel
1998		6908 ppt	5946 ppt	
1999		6126 ppt	5249 ppt	
2000	5649 ppt	5830 ppt	5421 ppt	5030 ppt
2001	5886 ppt	6008 ppt	5150 ppt	5164 ppt

Die entsprechenden Monatsmittel aller Stationen für diesen Zeitraum sind in Abbildung 23 zu sehen. Für eine Tendaussage ist die Zeitspanne von nur 4 Jahren noch zu kurz.

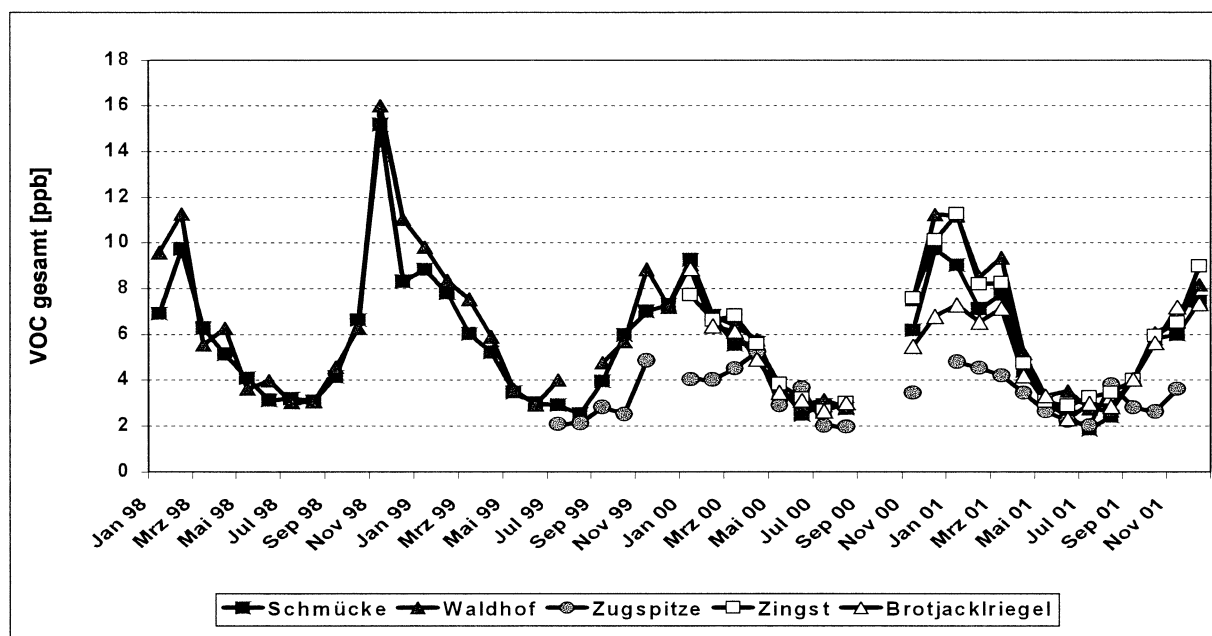


Abbildung 23: Monatsmittel VOC gesamt in Waldhof, Zingst, auf der Schmücke, dem Brotjackriegel und der Zugspitze von 1998 bis 2001



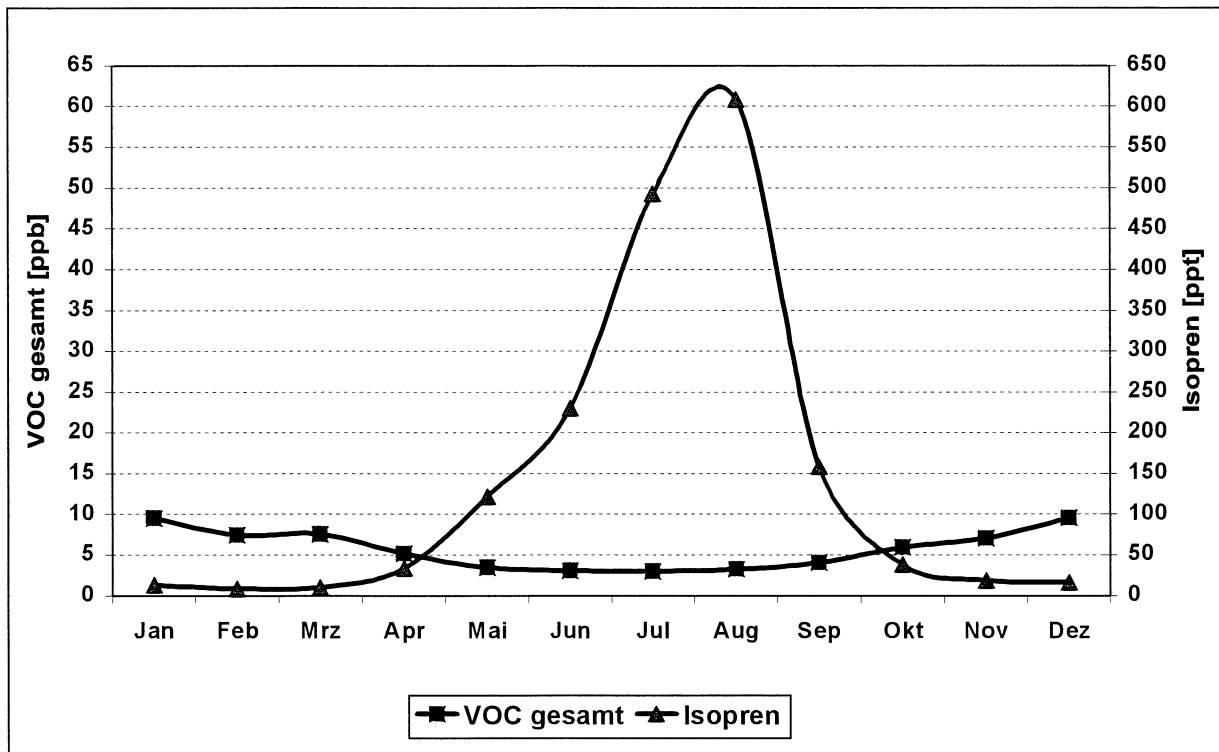


Abbildung 24: Mittlerer Jahresgang von VOC gesamt und Isopren in Zingst für 2000-2001.

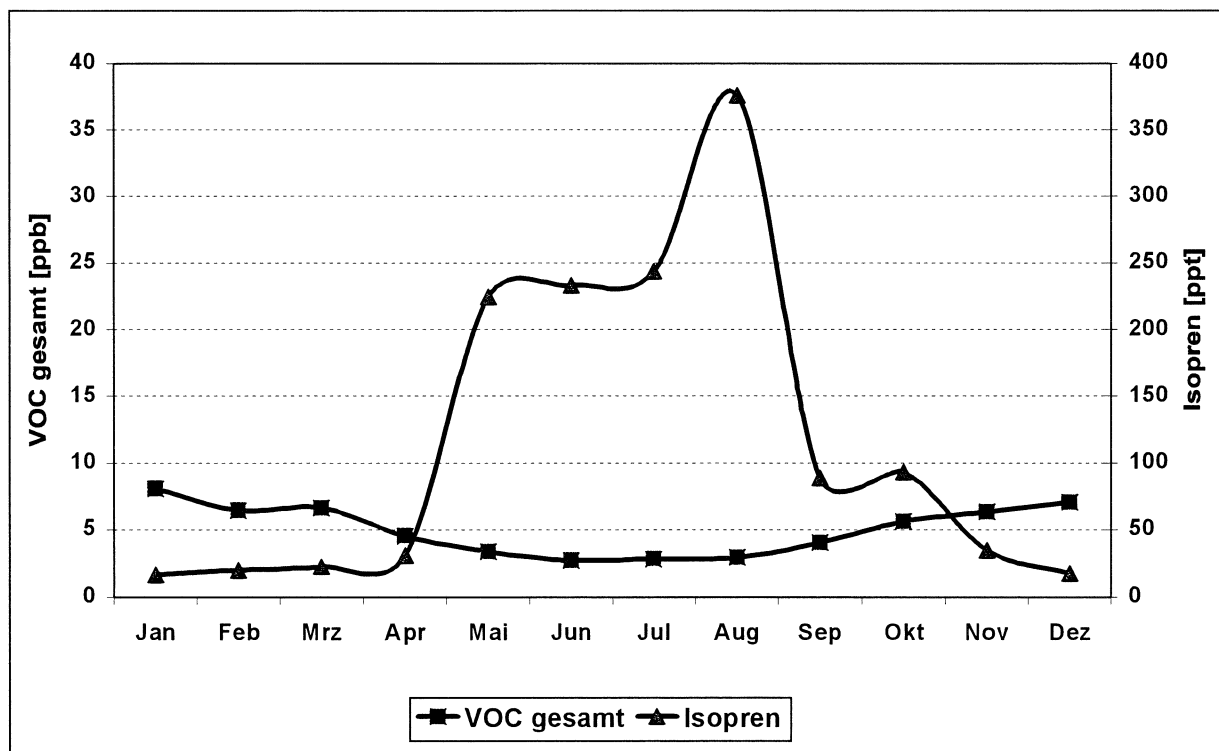


Abbildung 25: Mittlerer Jahresgang von VOC gesamt und Isopren auf dem Brotjacklriegel für 2000-2001.

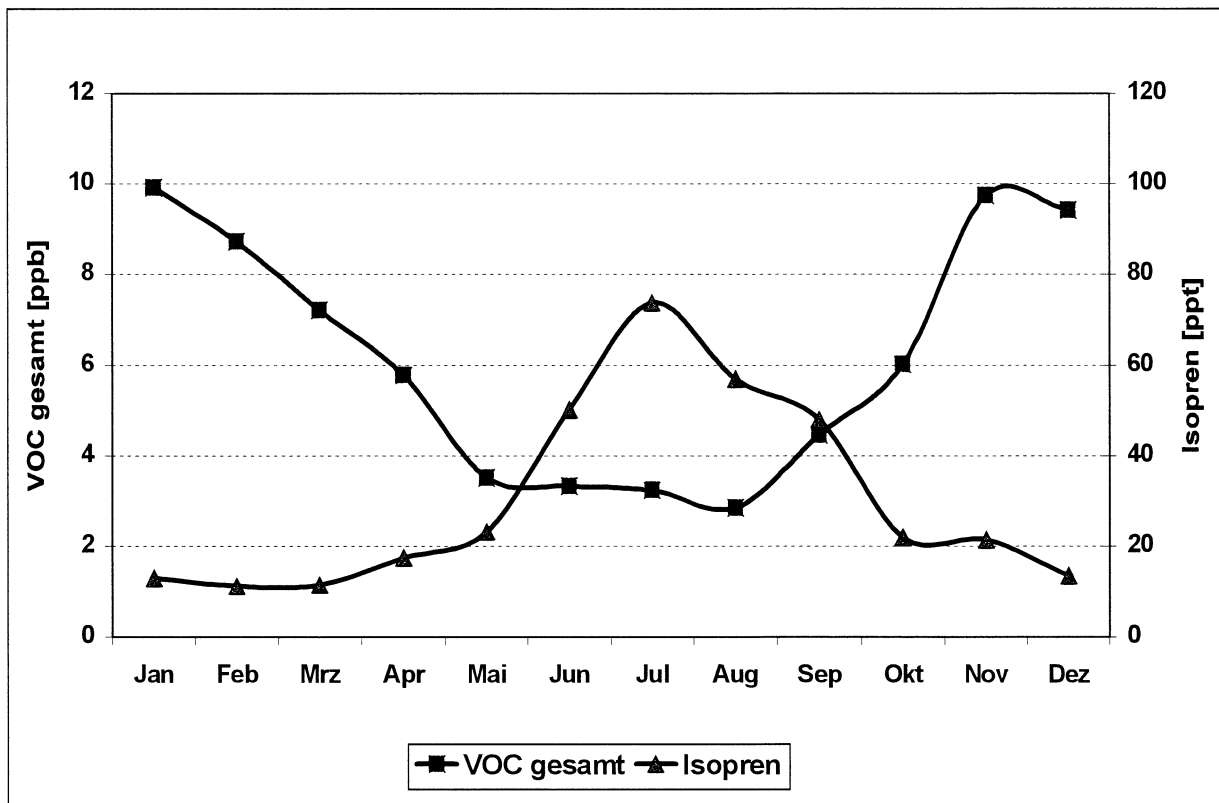


Abbildung 26: Mittlerer Jahrgang von VOC gesamt und Isopren in Waldhof für 1998-2001.

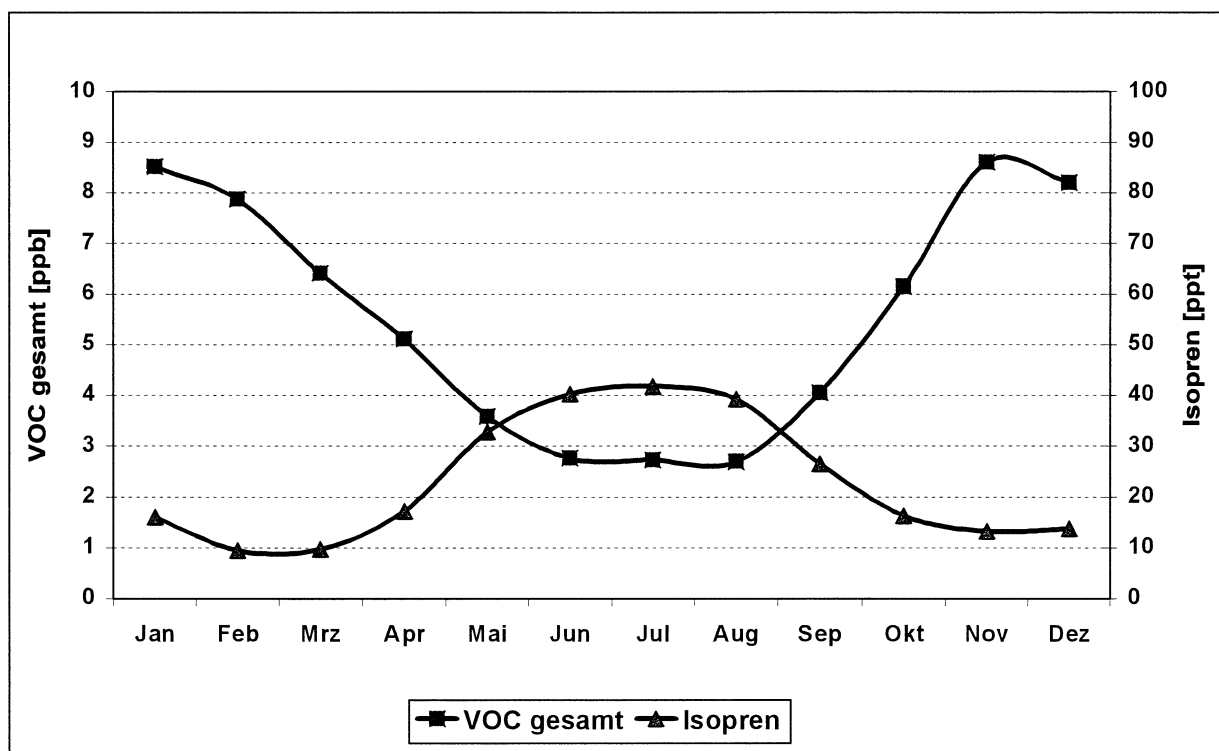


Abbildung 27: Mittlerer Jahrgang von VOC gesamt und Isopren auf der Schmücke für 1998-2001.

Tabelle 34: Monats- und Jahresmittel, VOC in Zingst für 2001 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Ethan	3182	2679	2643	1827	1213	1036	791	754	1216	1701	2014	2369	1784
Ethen	1802	1004	838	354	185	169	196	211	471	888	768	1088	664
Propan	1450	1249	1255	694	312	359	283	306	454	706	874	1423	777
Propen	212	121	94	64	55	53	53	61	81	118	145	189	103
Ethin	1630	1053	1406	680	369	188	187	225	451	713	700	1140	729
i-Butan	361	282	268	132	82	83	70	84	110	180	219	382	187
n-Butan	650	505	485	224	137	163	132	159	194	348	413	658	337
trans-2-Buten	7	7	8	6	6	6	6	5	6	5	8	5	6
1-Buten	47	30	25	21	20	19	18	20	28	26	35	38	27
i-Buten	137	114	103	89	103	88	90	75	89	76	102	99	97
cis-2-Buten	10	9	14	9	7	8	6	6	7	6	9	7	8
i-Pentan	336	219	200	113	126	131	217	157	143	239	221	316	201
n-Pentan	218	162	144	75	55	92	144	79	98	143	147	234	132
Butadien 1,3	29	13	9	7	11	5	5	5	9	10	18	22	12
tr-2-Penten	4	4	6	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4
cis-2-Penten	5	4	6	4	3	3	3	3	2	3	3	4	4
2-Methylpentan	107	67	58	32	27	87	34	42	42	74	82	101	62
3-Methylpentan	61	38	32	17	13	45	19	22	22	40	47	56	34
Isopren	15	9	9	21	77	147	674	927	158	38	14	12	182
n-Hexan	80	55	50	26	55	-	34	41	26	47	76	98	54
n-Heptan	35	21	26	12	8	7	10	11	14	18	24	33	18
Benzol	391	260	328	159	74	63	82	72	197	195	189	309	193
Toluol	297	185	158	106	79	74	137	127	120	184	259	236	164
Ethylbenzol	45	22	21	14	13	5	22	13	14	35	27	31	22
m/p-Xylol	101	49	38	26	16	12	35	31	24	85	79	68	47
o-Xylol	33	14	13	5	4	0	12	9	8	32	22	24	15
Pentene	42	35	37	29	29	26	29	34	30	31	35	35	33
VOC gesamt	11276	8201	8263	4740	3079	2886	3275	3457	4013	5938	6528	8974	5881

Tabelle 35: Monats- und Jahresmittel, VOC in Waldhof für 2001 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Ethan	3106	2716	2527	1870	1284	1173	948	765	1105	1725	1861	2179	1786
Ethen	1734	799	1114	531	274	280	221	311	422	816	749	1064	708
Propan	1450	1498	1359	825	376	443	359	294	561	755	876	1184	839
Propen	215	125	185	84	77	70	51	87	109	147	157	198	128
Ethin	1565	892	1545	656	352	308	216	195	328	612	622	1069	710
i-Butan	360	314	322	159	92	116	114	78	135	223	232	296	206
n-Butan	655	629	570	273	157	219	162	139	242	387	427	574	374
trans-2-Buten	8	8	9	7	6	5	6	4	5	5	8	8	7
1-Buten	48	33	42	25	25	21	18	22	33	36	40	46	33
i-Buten	147	114	114	103	93	93	83	83	124	91	104	107	105
cis-2-Buten	11	12	14	8	7	6	6	4	5	6	10	9	8
i-Pentan	355	272	278	113	115	173	110	242	177	284	335	265	229
n-Pentan	250	219	215	89	72	120	67	72	161	172	202	193	153
Butadien 1,3	31	17	16	7	5	9	5	5	9	12	20	22	13
tr-2-Penten	6	5	7	5	4	2	3	3	3	3	6	5	4
cis-2-Penten	6	5	5	3	3	7	2	2	2	2	5	4	4
2-Methylpentan	120	89	90	32	36	52	29	33	54	85	84	92	67
3-Methylpentan	65	46	50	16	18	28	15	17	27	45	43	49	35
Isopren	17	12	10	21	23	61	65	70	44	24	15	9	30
n-Hexan	86	70	71	23	22	-	31	25	40	59	57	73	50
n-Heptan	38	30	29	13	12	14	9	12	19	24	33	32	22
Benzol	376	220	361	159	90	137	71	59	163	161	157	289	189
Toluol	316	203	246	103	113	122	113	108	166	256	309	239	194
Ethylbenzol	47	31	42	13	16	14	17	14	27	34	39	33	28
m/p-Xylol	114	84	84	21	29	22	22	21	53	73	102	80	60
o-Xylol	42	26	23	3	7	4	6	6	13	29	28	25	18
Pentene	47	39	43	31	32	29	24	24	32	29	40	38	34
VOC gesamt	11202	8497	9361	5185	3334	3541	2769	2690	4055	6089	6551	8174	6026

Tabelle 36: Monats- und Jahresmittel, VOC auf der Schmücke für 2001 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Ethan	2599	2470	2188	1693	1109	1037	712	798	-	1628	1983	1809	1648
Ethen	1292	764	858	242	166	192	116	170	-	732	794	646	548
Propan	1040	934	1060	656	331	347	166	272	-	637	735	1013	658
Propen	136	108	123	50	46	50	34	39	-	121	138	135	89
Ethin	1308	895	1321	654	344	316	151	248	-	738	648	808	682
i-Butan	277	224	250	122	89	84	42	66	-	196	177	304	167
n-Butan	516	450	476	233	157	152	83	133	-	350	342	586	316
trans-2-Buten	12	8	9	7	6	7	6	4	-	7	7	25	9
1-Buten	39	34	33	17	20	22	16	18	-	35	34	44	28
i-Buten	152	129	125	92	90	100	69	78	-	91	109	118	105
cis-2-Buten	16	13	14	8	9	9	5	4	-	10	9	23	11
i-Pentan	304	191	226	115	122	116	66	111	-	269	182	426	192
n-Pentan	171	128	148	71	78	68	58	65	-	145	121	261	119
Butadien 1,3	23	16	16	7	9	6	4	3	-	12	19	17	12
tr-2-Penten	12	6	7	4	4	4	4	2	-	6	5	25	7
cis-2-Penten	7	5	5	5	4	5	2	2	-	5	5	15	5
2-Methylpentan	101	66	79	37	37	34	29	34	-	85	58	146	64
3-Methylpentan	57	36	43	20	19	18	15	18	-	43	32	75	34
Isopren	28	12	11	14	34	59	37	51	-	19	14	16	27
n-Hexan	62	43	49	20	23	-	21	19	-	45	39	82	39
n-Heptan	30	23	28	12	12	10	7	10	-	32	21	31	19
Benzol	315	208	297	148	94	81	49	90	-	196	169	293	177
Toluol	289	197	227	104	133	128	83	104	-	253	193	275	180
Ethylbenzol	50	29	38	15	18	16	18	17	-	36	33	42	28
m/p-Xylol	118	76	87	39	34	25	36	35	-	75	89	114	67
o-Xylol	42	19	21	13	11	4	11	14	-	26	25	37	20
Pentene	66	41	42	33	28	33	25	25	-	43	40	113	44
VOC gesamt	9040	7116	7769	4422	3016	2426	1858	2427	-	5825	6011	7439	5239

Tabelle 37: Monats- und Jahresmittel, VOC auf dem Brotjacklriegel für 2001 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Ethan	2391	2340	2003	1667	1145	988	786	792	1182	1448	1905	1979	1555
Ethen	1093	736	925	283	230	249	238	227	497	826	1129	783	602
Propan	870	892	915	565	346	293	247	272	419	523	777	1091	603
Propen	119	97	127	54	57	58	53	46	77	124	171	119	92
Ethin	1077	867	1277	607	441	304	257	400	569	804	929	997	714
i-Butan	199	197	209	112	88	79	90	82	123	156	231	397	164
n-Butan	345	339	359	201	158	128	118	125	177	263	366	511	259
trans-2-Buten	7	9	8	7	6	6	7	4	8	9	12	7	7
1-Buten	36	32	33	21	21	21	20	19	24	34	42	34	28
i-Buten	109	105	100	88	85	81	78	68	98	91	109	96	92
cis-2-Buten	9	9	11	9	8	6	8	4	9	9	13	8	9
i-Pentan	190	177	207	102	143	139	365	184	196	289	283	249	211
n-Pentan	119	109	128	69	71	78	171	99	117	144	160	175	120
Butadien 1,3	13	10	14	5	5	5	5	3	6	12	20	15	9
tr-2-Penten	4	5	5	5	4	5	10	4	7	6	10	7	6
cis-2-Penten	4	6	4	4	3	5	5	3	5	5	6	5	5
2-Methylpentan	60	54	66	28	39	37	50	47	58	87	101	83	59
3-Methylpentan	33	29	36	15	22	19	29	26	31	47	56	53	33
Isopren	12	21	19	30	200	127	322	462	89	93	23	12	116
n-Hexan	42	36	42	21	35	-	32	34	35	51	56	65	43
n-Heptan	21	18	22	10	13	11	13	11	19	24	36	27	19
Benzol	256	200	279	134	103	78	73	99	130	211	230	269	172
Toluol	177	153	206	99	115	117	148	124	174	217	317	211	172
Ethylbenzol	23	20	32	12	17	17	18	14	22	34	40	30	23
m/p-Xylol	44	48	71	23	32	23	34	27	52	72	107	61	50
o-Xylol	14	9	23	10	9	5	10	6	18	23	31	18	15
Pentene	40	39	35	30	30	36	50	29	41	40	53	42	39
VOC gesamt	7299	6545	7148	4203	3315	2308	2996	2860	4041	5632	7195	7332	5090

Tabelle 38: Monatsmaxima, VOC in Zingst für 2001 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ethan	4832	4409	3809	2447	1452	1276	1361	966	2201	2415	2845	4654
Ethen	4074	3385	2081	645	336	324	287	438	776	2122	1738	2857
Propan	2143	2264	1780	834	471	624	686	571	887	1299	1513	2534
Propen	437	387	192	107	91	107	75	173	145	248	359	389
Ethin	3528	3012	2677	1117	623	294	353	469	917	1637	1425	2367
i-Butan	541	560	405	202	175	129	161	186	189	409	453	609
n-Butan	975	950	702	301	281	350	349	389	362	679	862	1081
trans-2-Buten	11	11	11	11	7	9	7	8	13	7	18	8
1-Buten	68	57	48	27	28	26	23	35	45	53	74	60
i-Buten	181	151	146	108	154	124	120	95	127	107	151	149
cis-2-Buten	20	16	19	14	12	15	15	12	13	7	15	14
i-Pentan	519	430	409	186	351	444	959	494	226	611	459	502
n-Pentan	366	343	252	102	98	366	780	235	171	302	315	406
Butadien 1,3	58	39	20	14	61	9	10	11	32	27	46	61
tr-2-Penten	5	7	9	5	5	6	7	11	6	6	8	6
cis-2-Penten	8	7	8	6	6	7	6	7	6	8	8	7
2-Methylpentan	170	138	130	51	58	541	91	143	66	183	214	154
3-Methylpentan	100	87	72	28	25	284	54	76	35	105	138	86
Isopren	23	16	14	71	164	246	1305	4611	511	73	21	21
n-Hexan	140	143	84	41	184	-	61	94	50	102	275	157
n-Heptan	61	49	68	19	16	12	21	33	22	31	63	49
Benzol	849	786	619	268	118	108	141	151	573	387	383	640
Toluol	489	370	342	153	139	156	344	448	212	350	659	347
Ethylbenzol	76	49	66	29	27	16	45	46	32	118	61	49
m/p-Xylol	167	97	98	53	43	45	92	114	93	362	193	130
o-Xylol	56	31	39	16	12	3	30	39	33	151	59	47
Pentene	52	51	54	41	47	42	45	70	52	54	64	49

Tabelle 39: Monatsmaxima, VOC in Waldhof für 2001 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ethan	5082	3953	4058	2547	1632	1383	1999	1297	2405	2642	3242	3459
Ethen	3452	1255	2583	1310	734	441	438	711	1158	1559	2513	2853
Propan	2093	4236	2691	1206	719	822	1149	643	1125	1337	1773	1590
Propen	398	219	330	160	267	104	105	324	191	252	631	440
Ethin	3009	1341	2612	1196	632	524	392	280	1087	1219	1482	2228
i-Butan	508	690	662	240	247	212	492	198	254	457	578	439
n-Butan	906	1593	1295	369	399	429	557	288	457	795	1042	998
trans-2-Buten	10	13	12	9	8	7	12	7	8	7	30	16
1-Buten	79	53	63	39	53	24	33	50	54	58	136	76
i-Buten	189	175	134	232	132	110	124	139	179	158	242	162
cis-2-Buten	18	21	17	12	13	11	13	11	9	10	33	21
i-Pentan	549	658	674	169	337	396	290	1224	425	716	981	347
n-Pentan	337	777	510	156	209	246	157	164	547	393	650	287
Butadien 1,3	52	38	34	14	12	29	12	16	25	34	91	54
tr-2-Penten	11	9	11	8	6	5	6	4	5	5	24	7
cis-2-Penten	8	10	7	6	8	21	6	5	6	5	13	7
2-Methylpentan	189	225	240	50	113	126	68	84	119	189	234	132
3-Methylpentan	103	116	129	27	63	63	32	46	58	97	130	78
Isopren	32	20	16	47	40	158	178	123	57	38	44	16
n-Hexan	140	200	171	38	89	-	86	76	99	108	149	99
n-Heptan	59	81	77	24	29	23	23	25	37	44	116	42
Benzol	761	329	601	314	167	486	142	95	446	325	400	593
Toluol	495	351	537	211	255	225	325	200	349	538	851	372
Ethylbenzol	91	68	118	42	44	36	64	30	54	69	124	56
m/p-Xylol	205	194	234	67	87	66	75	70	121	118	329	124
o-Xylol	71	68	74	17	24	14	28	26	32	52	92	40
Pentene	65	63	63	36	48	40	46	33	51	36	114	50



Tabelle 40: Monatsmaxima, VOC auf der Schmücke für 2001 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ethan	3522	3311	3605	2013	1407	1117	881	1469	-	2017	2919	2351
Ethen	3170	1771	2691	536	278	404	197	518	-	1134	2092	1197
Propan	1557	1585	1748	893	509	524	242	510	-	937	1301	1317
Propen	323	262	358	105	63	111	46	92	-	177	439	301
Ethin	3046	1696	2706	891	452	500	231	566	-	1505	1262	1240
i-Butan	447	448	569	154	158	135	63	126	-	375	345	407
n-Butan	875	1083	1170	308	264	224	123	273	-	656	670	908
trans-2-Buten	52	11	16	10	8	12	12	7	-	12	18	87
1-Buten	73	64	82	24	25	38	26	35	-	53	85	92
i-Buten	233	178	249	116	113	156	104	110	-	108	161	177
cis-2-Buten	48	17	25	12	18	17	10	13	-	16	17	76
i-Pentan	669	342	554	150	209	173	87	272	-	537	421	1238
n-Pentan	325	237	354	93	171	104	133	156	-	272	242	546
Butadien 1,3	44	32	43	10	33	19	5	5	-	24	66	33
tr-2-Penten	47	8	10	9	9	8	8	6	-	10	9	106
cis-2-Penten	26	9	8	8	7	9	6	6	-	10	9	57
2-Methylpentan	208	128	194	56	69	56	65	86	-	164	126	480
3-Methylpentan	111	75	105	30	39	29	28	47	-	81	76	243
Isopren	105	15	21	25	62	100	79	87	-	33	29	41
n-Hexan	120	95	112	33	45	-	43	46	-	79	95	199
n-Heptan	69	48	68	20	20	14	11	23	-	88	49	69
Benzol	664	377	615	190	111	121	84	166	-	347	341	561
Toluol	584	344	591	144	308	199	191	195	-	611	490	730
Ethylbenzol	88	51	99	27	30	39	44	34	-	67	74	109
m/p-Xylol	199	119	232	60	69	102	111	78	-	119	189	323
o-Xylol	78	38	69	22	20	34	43	31	-	43	59	114
Pentene	206	66	79	46	49	46	44	49	-	67	72	444

Tabelle 41: Monatsmaxima, VOC auf dem Brotjacklriegel für 2001 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ethan	3393	2704	3086	2337	1519	1212	1025	1253	1814	2071	2608	3303
Ethen	2205	1084	1849	487	620	341	323	445	866	1134	2195	1139
Propan	1328	1124	1405	727	587	437	476	423	612	770	1337	2036
Propen	267	145	206	78	127	90	95	68	131	150	394	213
Ethin	1942	1183	2095	860	803	399	594	751	1299	1716	1552	1622
i-Butan	336	276	368	203	155	119	240	157	269	256	491	1210
n-Butan	561	467	618	437	276	191	207	239	237	424	786	841
trans-2-Buten	11	11	10	12	9	11	26	7	11	17	30	14
1-Buten	68	39	50	37	31	30	29	26	34	43	87	65
i-Buten	156	129	122	116	99	107	98	84	126	147	178	194
cis-2-Buten	13	17	24	13	12	14	26	6	14	16	31	16
i-Pentan	327	269	428	138	264	213	1238	465	283	409	680	372
n-Pentan	208	163	248	118	114	120	678	247	182	217	337	341
Butadien 1,3	35	19	29	10	9	8	11	8	10	21	49	44
tr-2-Penten	9	6	9	8	7	11	49	10	15	10	17	21
cis-2-Penten	7	9	7	5	6	8	27	6	9	8	11	11
2-Methylpentan	120	77	144	39	76	60	161	110	97	123	201	129
3-Methylpentan	63	41	76	21	47	31	99	62	50	77	117	109
Isopren	22	63	38	118	285	374	774	805	237	274	35	22
n-Hexan	76	50	75	29	58	-	56	61	54	78	125	128
n-Heptan	42	25	43	13	24	16	24	23	37	33	90	47
Benzol	468	267	492	193	209	93	129	160	272	327	389	438
Toluol	371	222	438	138	214	172	397	268	268	340	722	350
Ethylbenzol	55	28	72	28	48	31	42	40	39	49	78	54
m/p-Xylol	134	88	156	51	94	51	98	74	123	115	238	135
o-Xylol	41	17	62	30	38	19	33	30	66	39	72	39
Pentene	73	49	49	50	40	48	194	50	69	66	90	98

### 2.1.5 Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)

Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) ist derzeit mit etwa 50 % für den zusätzlichen, anthropogen verursachten Treibhauseffekt verantwortlich. Die wichtigsten anthropogenen Quellen in Deutschland (1999) sind Kraft- und Fernheizwerke mit ca. 37 %, gefolgt vom Straßenverkehr mit 19 %, Industriefeuerungen (16 %) und Haushalten (14 %). Der deutsche Beitrag an den weltweiten anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen beträgt gegenwärtig knapp 3 %. Er wird in den kommenden Jahren noch weiter zurückgehen. Zwischen 1990 und 1999 haben die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland um etwa (15 %) abgenommen (siehe Abbildung 28).

Seit 1972 werden an 5 Messstationen des UBA (Westerland, Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjacklriegel) kontinuierliche Messungen der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen durchgeführt, seit 1995 auch an den Stationen Zingst, Neuglobsow, Schmücke und auf der Zugspitze. Alle Werte sind auf die internationale NOAA-Scale bezogen. Abbildung 29 zeigt den Verlauf der CO<sub>2</sub>-Monatsmittel an der UBA-Station Schauinsland im Vergleich zu globalen Hintergrundstationen von 1968 bis 2001.

In der Tabelle 42 sind die Monats- und Jahresmittel der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und in Tabelle 43 die monatlichen Halbstundenmaxima zusammengestellt. Die monatlichen 50-Perzentilwerte, 98-Perzentilwerte sowie die jährlichen Perzentile sind in Tabelle 44 bis Tabelle 46 zusammengestellt. Generell sind die Konzentrationsunterschiede für die unterschiedlichen Perzentile wegen der sehr großen atmosphärischen Lebensdauer dieses Treibhausgases wesentlich geringer als für die reaktiven Gase SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PAN und VOC. In Tabelle 47 und in Abbildung 30 sind die CO<sub>2</sub>-Jahreswerte von 1972 bis 2001 zusammengestellt. Aus diesen Daten lässt sich eine mittlere Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration von etwa 1.5 ppm/Jahr (entspricht etwa 0.4 %/Jahr) ableiten.

Ein ausführlicher Beitrag über die atmosphärischen Kreisläufe der Treibhausgase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O ist im Messnetz-Jahresbericht 1999 des UBA enthalten (*Ref. 15*).

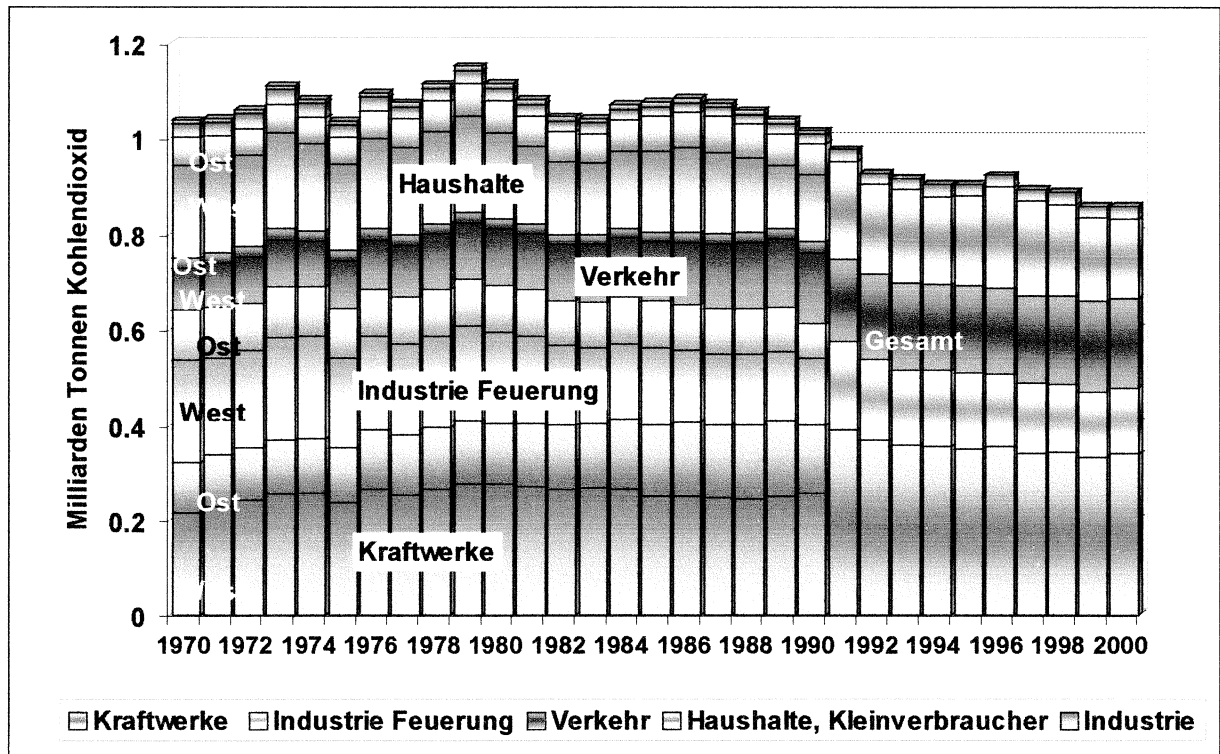


Abbildung 28: Jährliche Kohlendioxid-Emissionen in Deutschland von 1970 bis 2000 (Ref. 1)

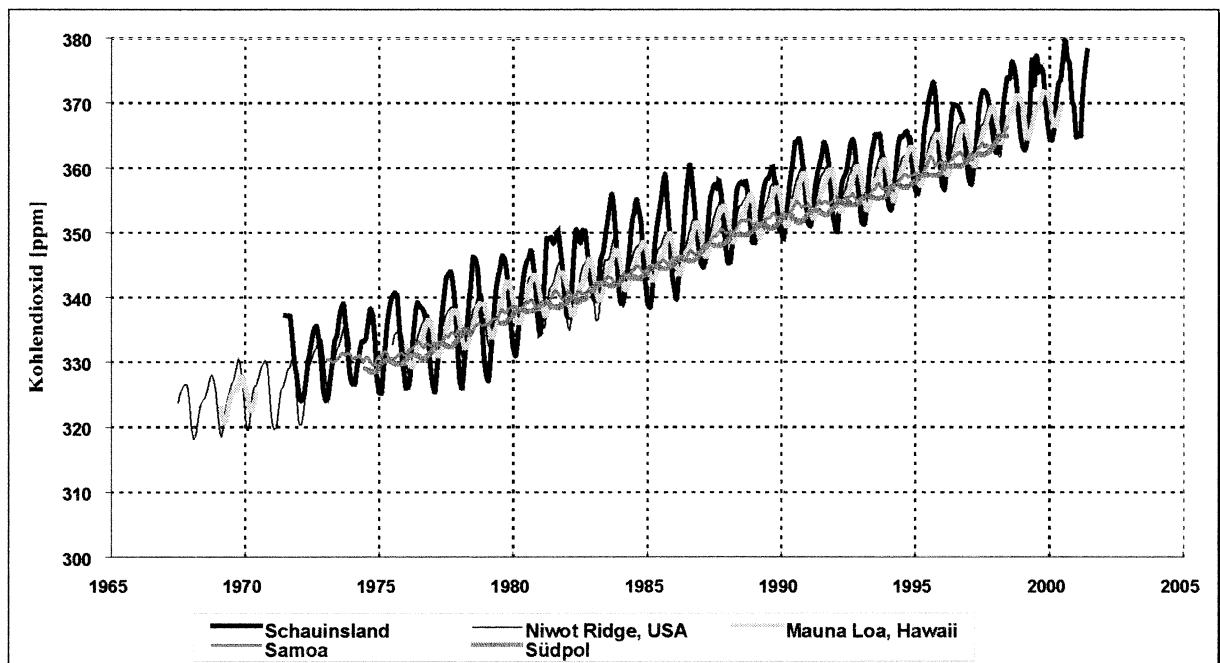


Abbildung 29: Langzeittrend der Monatsmittel der Kohlendioxidkonzentrationen vom Schauinsland im Vergleich zu Stationen auf Hawaii (Mauna Loa), in Niwot Ridge (USA), in Samoa und am Südpol zwischen 1968 bis 2001

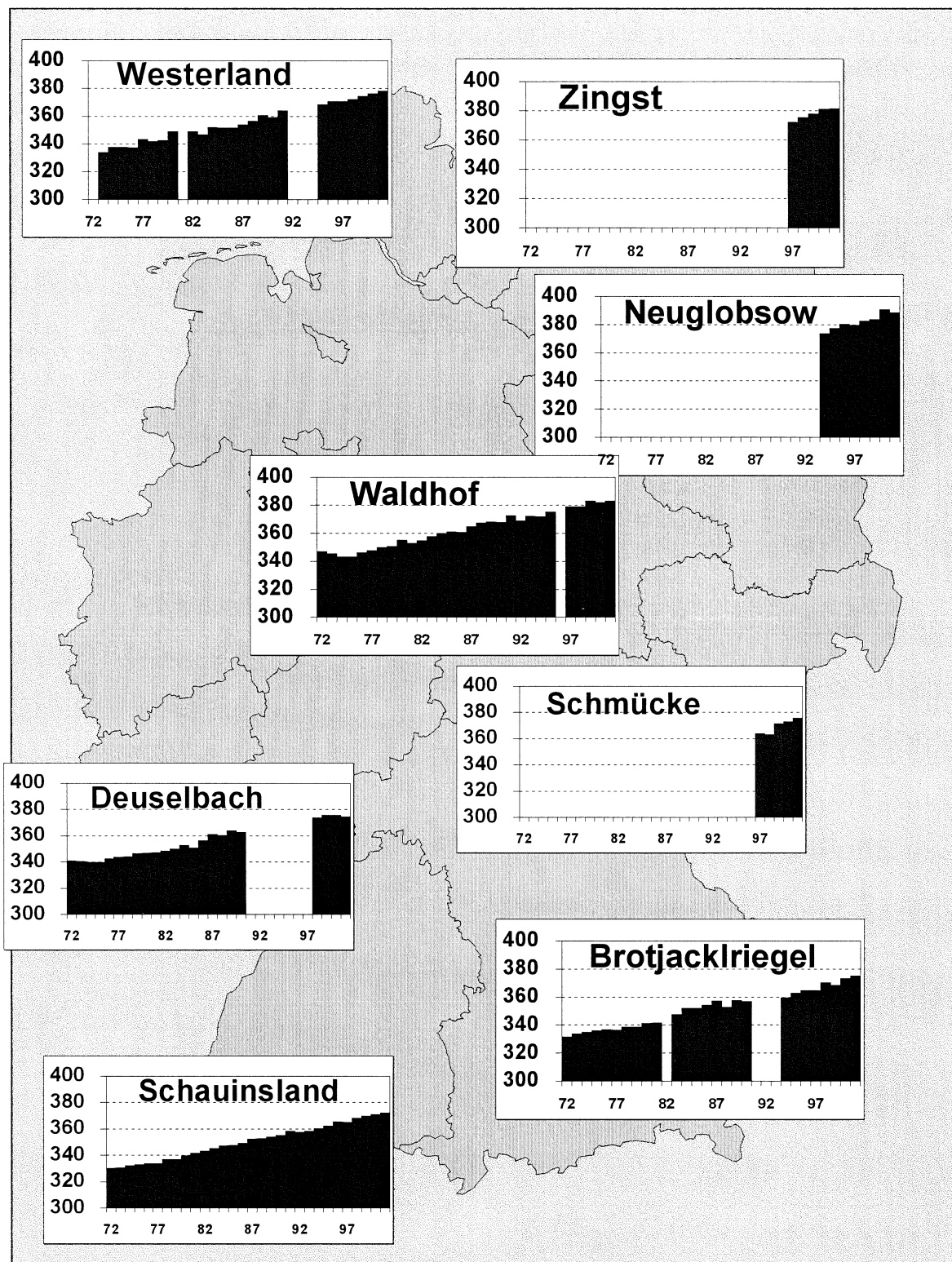


Abbildung 30: Jahresmittel von Kohlendioxid für 1972 bis 2001 in ppm (NOAA-Scale)

Tabelle 42: Monats- und Jahresmittel, Kohlendioxid für 2001 in ppm, kursive Werte: GC, andere Werte: IR

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	387	382	385	379	-	373	370	373	373	-	377	384	378
ZG	386	381	385	381	382	378	377	378	378	387	380	383	381
NG	-	386	389	389	386	386	388	392	385	402	385	386	389
WA	390	-	382	383	381	380	386	-	-	-	-	-	-
SM	382	383	384	377	373	370	368	370	373	379	-	-	376
DE	383	376	377	374	373	368	370	372	372	378	-	-	374
BR	380	381	381	377	-	369	366	367	369	376	380	382	375
SC	377	380	377	376	371	369	365	365	365	372	376	378	372

Tabelle 43: Monatsmaxima der Halbstundenwerte, Kohlendioxid für 2001 in ppm, kursive Werte: GC, andere Werte: IR

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	459	403	439	408	-	408	402	472	421	-	417	423
ZG	404	403	419	413	487	541	524	488	474	483	418	413
NG	-	423	423	446	476	509	506	530	484	508	408	415
WA	423	-	420	439	463	463	463	-	-	-	-	-
SM	418	401	408	392	393	388	385	397	408	399	-	-
DE	425	417	407	398	413	414	422	411	409	418	-	-
BR	395	405	402	391	-	386	393	408	390	402	402	397
SC	388	409	399	395	391	385	385	399	378	385	387	393

Tabelle 44: Monatliche 50-Perzentile der Halbstundenwerte von Kohlendioxid für 2001 in ppm, kursive Werte: GC, andere Werte: IR

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	386	381	382	-	-	374	368	367	369	-	374	381
ZG	386	380	383	379	377	372	370	373	374	383	378	382
NG	-	385	387	383	379	378	379	384	381	398	384	385
WA	385	-	381	381	375	374	378	-	-	-	-	-
SM	381	382	383	377	372	370	368	369	372	380	-	-
DE	381	378	377	373	373	368	367	371	372	378	-	-
BR	379	380	380	377	-	368	365	366	368	375	379	382
SC	376	379	376	376	371	369	365	365	365	371	375	378

Tabelle 45: Monatliche 98-Perzentile der Halbstundenwerte von Kohlendioxid für 2001 in ppm, kursive Werte: GC, andere Werte: IR

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	408	396	408	-	-	389	390	421	407	-	401	407
ZG	400	391	400	400	439	425	443	445	428	424	402	401
NG	-	404	412	427	444	455	462	487	450	470	403	403
WA	416	-	405	416	446	454	463	-	-	-	-	-
SM	398	394	398	385	387	383	382	385	389	394	-	-
DE	405	394	398	390	396	393	399	399	392	400	-	-
BR	392	398	392	386	-	382	383	388	383	389	396	394
SC	384	400	391	383	385	380	376	377	374	380	383	386

Tabelle 46: Jährliche Perzentile der Halbstundenwerte von Kohlendioxid für 2001 in ppm, kursive Werte: GC, andere Werte: IR

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
<b>WE</b>	<b>333</b>	<b>361</b>	<b>362</b>	<b>365</b>	<b>372</b>	<b>376</b>	<b>384</b>	<b>392</b>	<b>397</b>	<b>404</b>	<b>472</b>
<b>ZG</b>	<b>345</b>	<b>361</b>	<b>363</b>	<b>367</b>	<b>374</b>	<b>379</b>	<b>386</b>	<b>395</b>	<b>403</b>	<b>419</b>	<b>541</b>
<b>NG</b>	<b>356</b>	<b>361</b>	<b>364</b>	<b>368</b>	<b>377</b>	<b>384</b>	<b>395</b>	<b>413</b>	<b>428</b>	<b>450</b>	<b>530</b>
<b>WA</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>SM</b>	<b>353</b>	<b>361</b>	<b>363</b>	<b>365</b>	<b>370</b>	<b>376</b>	<b>381</b>	<b>386</b>	<b>390</b>	<b>394</b>	<b>418</b>
<b>DE</b>	<b>334</b>	<b>351</b>	<b>356</b>	<b>360</b>	<b>367</b>	<b>375</b>	<b>381</b>	<b>388</b>	<b>393</b>	<b>398</b>	<b>425</b>
<b>BR</b>	<b>347</b>	<b>358</b>	<b>361</b>	<b>363</b>	<b>369</b>	<b>376</b>	<b>380</b>	<b>385</b>	<b>388</b>	<b>392</b>	<b>408</b>
<b>SC</b>	<b>322</b>	<b>358</b>	<b>360</b>	<b>363</b>	<b>368</b>	<b>374</b>	<b>377</b>	<b>380</b>	<b>382</b>	<b>385</b>	<b>409</b>

Tabelle 47: Jahresmittel von Kohlendioxid für 1972 bis 2001 in ppm, kursive Werte: GC, andere Werte: IR. Im Jahr 2000 war das CO<sub>2</sub>-IR-Gerät von Neuglobsow zu Vergleichszwecken auf dem Feldberg (siehe Messnetz-Jahresbericht 2000, Kapitel 3.3), daher für dieses Jahr GC-Werte.

Stationen	Westerland	Zingst	Neuglobsow	Waldhof	Schmücke	Deuselbach	Brotjackl.	Schauinsland	Zugspitze
1972	-	-	-	347	-	341	332	330	-
1973	334	-	-	346	-	340	334	331	-
1974	338	-	-	343	-	340	335	332	-
1975	338	-	-	343	-	340	336	333	-
1976	337	-	-	346	-	342	337	334	-
1977	343	-	-	348	-	344	336	334	-
1978	342	-	-	350	-	344	339	337	-
1979	343	-	-	351	-	346	339	337	-
1980	-	-	-	355	-	347	341	340	-
1981	-	-	-	353	-	347	342	342	-
1982	349	-	-	355	-	348	-	343	-
1983	347	-	-	358	-	350	-	345	-
1984	352	-	-	360	-	353	352	347	-
1985	352	-	-	361	-	351	352	348	-
1986	352	-	-	361	-	356	354	349	-
1987	354	-	-	365	-	361	357	352	-
1988	357	-	-	368	-	360	353	353	-
1989	361	-	-	368	-	364	-	354	-
1990	359	-	-	368	-	363	357	355	-
1991	364	-	-	373	-	-	-	358	-
1992	-	-	-	369	-	-	-	357	-
1993	-	-	-	372	-	-	-	359	-
1994	-	-	374	372	-	-	359	360	-
1995	369	-	377	375	-	-	363	362	360
1996	371	-	380	-	-	-	-	366	361
1997	371	372	380	379	364	370	365	365	362
1998	372	375	382	379	363	374	370	368	368
1999	375	378	384	383	371	376	368	370	369
2000	376	381	391	382	373	376	373	371	370
2001	378	381	389	383	376	374	375	372	-

## 2.1.6 Methan (CH<sub>4</sub>)

Methan ist derzeit mit etwa 20% für den zusätzlichen Treibhauseffekt verantwortlich. Ähnlich wie das CO<sub>2</sub> unterliegt Methan nur geringen räumlichen und zeitlichen Schwankungen.

Methan wird an 6 Stationen des UBA gemessen: Schauinsland (seit September 1991), Deuselbach (seit November 1993), Zingst (seit Februar 1994), Neuglobsow (seit August 1994), Schmücke (seit 1997) und Zugspitze (seit 1994).

In der Tabelle 48 sind die Monats- und Jahresmittel und in Tabelle 49 die Monatsmaxima der Halbstundenwerte für 2001 aufgelistet. Der höchste Jahreswert wurde mit 1891 ppb in Zingst, der niedrigste mit 1844 ppb am Schauinsland gemessen. Die CH<sub>4</sub>-Konzentrationen sind im Sommer geringfügig (um 0.4%) niedriger als im Winter. In Abbildung 31 ist der zunehmende Trend der Monatsmittel für Methan, CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O an der Station Schauinsland dargestellt.

Die monatlichen 50-Perzentilwerte, 98-Perzentilwerte sowie die jährlichen Perzentile sind in Tabelle 50 bis Tabelle 52 zusammengestellt. Generell sind die Konzentrationsunterschiede für die verschiedenen Perzentile - ähnlich wie beim CO<sub>2</sub>- wesentlich geringer als für die reaktiven Gase.

In Tabelle 53 sind die CH<sub>4</sub>-Jahreswerte ab 1993 angegeben. Obwohl die Zeitreihen noch vergleichsweise kurz sind, lässt sich doch eine leichte Zunahme erkennen. Am Schauinsland betrug die Zunahme im Mittel 4 ppb/Jahr (0.2%/Jahr).

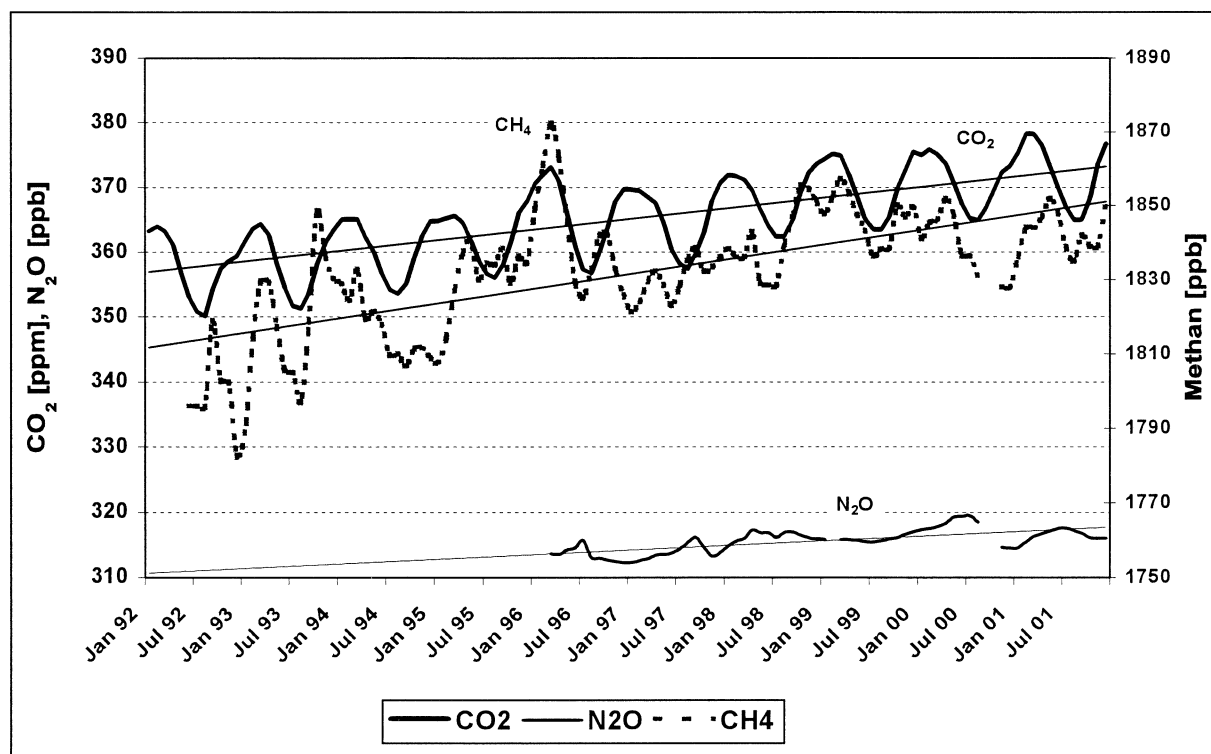


Abbildung 31: Monatsmittel der Methan-, Kohlendioxid- (CO<sub>2</sub>) und Distickstoffoxid- (N<sub>2</sub>O) Konzentrationen auf dem Schauinsland von 1992 bis 2001



Tabelle 48: Monats- und Jahresmittel, Methan für 2001 in ppb

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
ZG	1908	1881	1903	1875	1854	1857	1878	1890	1924	1946	1887	1893	1756
NG	-	1869	1882	1852	1826	1830	1829	1842	1874	1901	1869	1891	1860
SM	1888	1878	1899	1864	1851	1854	1842	1847	1869	-	-	-	1865
DE	1905	1890	1886	1869	1869	1859	1862	1857	1874	1878	-	-	1875
SC	1844	-	1844	1850	1854	1842	1836	1834	1850	1828	1850	1851	1844

Tabelle 49: Monatsmaxima der Halbstundenwerte, Methan für 2001 in ppb

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ZG	1999	2068	2249	2041	1999	1999	2609	2466	2721	2471	2162	2182
NG	-	2044	2100	1980	1998	1981	1969	2000	2075	2105	2126	2033
SM	2088	2056	2048	1973	1998	1995	1919	1963	2027	-	-	-
DE	2252	2273	2105	1997	1999	2067	2103	1999	2054	2082	-	-
SC	2064	-	2065	1945	1952	1971	1984	1988	1951	1961	1983	2015

Tabelle 50: Monatliche 50-Perzentile der Halbstundenwerte von Methan für 2001

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ZG	1909	1877	1890	1869	1842	1841	1854	1878	1892	1924	1867	1877
NG	-	1866	1870	1847	1819	1824	1820	1833	1867	1893	1857	1881
SM	1876	1867	1892	1860	1845	1853	1838	1840	1865	1862	-	-
DE	1890	1882	1881	1862	1864	1855	1855	1851	1866	1864	-	-
SC	1838	-	1833	1850	1853	1839	1836	1827	1846	1826	1845	1851

Tabelle 51: Monatliche 98-Perzentile der Halbstundenwerte von Methan für 2001

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ZG	1992	1974	2031	1957	1958	1970	2152	2105	2274	2218	2048	2017
NG	-	1959	1996	1935	1918	1914	1939	1944	2013	2072	2000	1995
SM	2003	1979	1995	1931	1952	1906	1898	1919	1961	1989	-	-
DE	2035	2051	1984	1951	1971	1967	1985	1948	1990	2006	-	-
SC	1901	-	1968	1905	1913	1903	1899	1905	1918	1888	1929	1910

Tabelle 52: Jährliche Perzentile der Halbstundenwerte von Methan für 2001

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
ZG	1320	1816	1823	1830	1845	1875	1919	1967	2002	2094	2721
NG	1751	1792	1800	1808	1824	1849	1886	1930	1958	1993	2126
SM	1783	1811	1819	1826	1838	1857	1883	1917	1942	1970	2088
DE	1754	1809	1819	1828	1843	1865	1897	1939	1967	1993	2273
SC	1766	1795	1805	1812	1825	1839	1861	1882	1895	1918	2065

Tabelle 53: Jahresmittel von Methan für 1993 bis 2001 in ppb

Stationen	Westerland	Zingst	Neuglobsow	Waldhof	Schmücke	Deuselbach	Brotjacklr.	Schauinsland	Zugspitze
1993	-	-	-	-	-	-	-	1819	-
1994	-	1846	-	-	-	1847	-	1816	-
1995	-	1867	1857	-	1843	1872	-	1829	1803
1996	-	-	-	-	-	-	-	1842	1814
1997	-	-	1877	-	-	1870	-	1831	1800
1998	-	1882	1880	-	-	1878	-	1840	1809
1999	-	1886	1882	-	1869	1877	-	1846	1815
2000	-	1748	1877	-	1867	1880	-	1842	1813
2001	-	1891	1860	-	1865	1875	-	1844	-

## 2.1.7 Distickstoffdioxid (N<sub>2</sub>O)

Distickstoffdioxid trägt mit etwa 6% zum zusätzlichen Treibhauseffekt bei. Ähnlich wie CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> unterliegt N<sub>2</sub>O nur geringen räumlichen und zeitlichen Schwankungen. Die wichtigsten Quellen in Deutschland (1999) sind die Land- und Abfallwirtschaft mit mehr als 50%, gefolgt vom Verkehrsbereich mit ca. 10%, Industrieprozessen sowie Kraft- und Fernheizwerken mit jeweils ca. 7% (Ref. 2).

Zwischen 1990 und 1999 wurden die N<sub>2</sub>O-Emissionen in Deutschland um knapp 30% reduziert. Im UBA-Messnetz wird N<sub>2</sub>O bisher nur auf dem Schauinsland seit 1996 gemessen. Die mittlere Zunahme zwischen 1996 und 2001 betrug ca. 0.6 ppb/Jahr (ca. 0.2%/Jahr) (siehe Abbildung 31 und Tabelle 54)

Tabelle 54: Monats- und Jahresmittel von N<sub>2</sub>O auf dem Schauinsland für 1996 bis 2001 in ppb

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
1996	-	-		313.8	-	-	-	-	-	313.1	-	-	-
1997	-	-	313.0	-	314.0	313.8		316.2	318.8		312.6	314.2	314.7
1998	315.1	-	316.5	-	317.1	315.0	316.4	317.5	317.3	316.7	315.9	315.8	316.3
1999	-	-	-	-	315.7	315.4	315.2	315.9	315.9	316.2	316.4	317.4	316.0
2000	317.5	317.4	317.7	318.2	319.0	320.5	318.4	-	-	-	-	314.6	317.9
2001	314.4		316.5	316.0	317.6	317.5	317.4	317.8	316.5	316.0	315.8	316.3	316.5

## 2.1.8 Partikelförmige Luftverunreinigungen

Im Übersichtsartikel in Kapitel 3.1 wird ausführlich über die Messungen von Feinstaub im Messnetz des Umweltbundesamtes berichtet. Aus diesem Grund sollen hier nur die Ergebnisse aus dem Jahr 2001 dargestellt und interpretiert werden.

Ausgehend von der Erkenntnis, dass vor allem kleine Staubteilchen ein hohes Schädigungspotential im Hinblick auf die menschliche Gesundheit aufweisen, steht die Belastung durch Feinstaub mit der Partikelgröße  $PM_{10}$  in der Luft im Vordergrund nationaler und internationaler Luftreinhaltepolitik (Englisch: PM = particulate matter). Unter  $PM_{10}$  versteht man - etwas vereinfacht - die Gesamtmasse aller Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als  $10\ \mu m$  ist.

Im UBA-Messnetz wird der Gesamtschwebstaub (Tagesproben) teilweise schon seit Ende der 1960er Jahre an den Stationen Westerland, Zingst, Neuglobsow, Waldhof, Schmücke, Deuselbach, Brotjacklriegel und Schauinsland gemessen. Ab Beginn der 90er Jahre werden neben den Tagesproben auch kontinuierliche Messungen des Schwebstaubs durchgeführt. Ab 1999 wurde an 8 von 9 personell besetzten Messstellen von der täglichen Gesamtstaubmessung auf die Bestimmung der Partikelmasse für Teilchen unterhalb von  $10\ \mu m$  Durchmesser ( $PM_{10}$ ) umgestellt. In Waldhof wurden die Gesamtstaubmessungen parallel in 1999 weitergeführt und seit 1999 auch die Partikelmasse für Teilchen unterhalb von  $2.5\ \mu m$  Durchmesser ( $PM_{2.5}$ ) bestimmt (siehe Abbildung 33). Über alle Messwerte gemittelt ergab sich für Waldhof für 2001 bei einem Vergleich zwischen  $PM_{10}$  und Gesamtschwebstaub (Digitel) ein Faktor von 0.85 und zwischen Gesamtschwebstaub und  $PM_{2.5}$  ein Faktor von 0.66 bei Korrelationskoeffizienten von 0.94 und 0.86 (Abbildung 33). Allerdings ist die Benutzung solch konstanter Umrechnungsfaktoren zwischen  $PM_{2.5}$  und  $PM_{10}$  problematisch, da die entsprechenden Regressionsgeraden nicht durch den Koordinatenursprung gehen. Hinzu kommt, dass die gemittelten Faktoren auch von der Lage der Station abhängen (näheres hierzu in Kapitel 3.1).

In Tabelle 55 sind die Monats- und Jahresmittel des Schwebstaubs (kontinuierlich) zusammengestellt. In Tabelle 56 sind die Jahresmittel von Schwebstaub für den Zeitraum 1989 bis 2001 für das kontinuierliche Messverfahren und in Tabelle 57 die Messergebnisse der Digital high volume Tagesproben für den Zeitraum 1968 bis 2001 aufgelistet.

Wie aus Tabelle 56 sowie aus Tabelle 57 zu entnehmen ist, wurden im Jahre 2001 ähnlich niedrige Jahresmittelwerte für Schwebstaub (Digital-Tagesproben) beobachtet wie im Jahre 2000. Die Schwebstaubbelastung (Tagesproben) in ländlichen Gebieten Deutschlands ist während der letzten 20 bis 30 Jahre um mehr als die Hälfte zurückgegangen (Abbildung 37). Der stärkste Rückgang erfolgte zwischen 1990 und 2001.

In Abbildung 35 ist der über 7 personell besetzte Messstellen gemittelte Trend der monatlichen Maximalwerte sowie verschiedener Perzentile (98-, 95- und 50%) für Gesamtstaub (TSP, Total Suspended Particles), bzw. seit 2001  $PM_{10}$  zwischen Januar 1992 und Dezember 2001 dargestellt. Die Station Westerland wurde wegen des hohen Seesalzanteils nicht berücksichtigt. Man erkennt einen deutlichen Rückgang aller Perzentilwerte um 60 bis 70%.

Stationen zu erkennen. Wegen der schnellen Sedimentation von Partikeln über  $10\ \mu\text{m}$  sollte die Abnahme für  $\text{PM}_{10}$  und vor allem für  $\text{PM}_{2.5}$  langsamer erfolgt sein als für TSP. Entsprechende Untersuchungen an einer städtischen Hintergrundstation in Berlin zwischen 1990 und 1998 haben beispielsweise eine langsamere Abnahme von  $\text{PM}_{2.5}$  gegenüber  $\text{PM}_{10}$  und TSP ergeben (Ref. 3).

Als Folge der drastischen Reduzierung der Feinstaubemissionen in Deutschland während der letzten zehn Jahre werden die entsprechenden Konzentrationen des Feinstaubes in der Luft an den UBA-Messstellen nur noch sehr langsam abnehmen, da sie in zunehmendem Maße durch die Beiträge des Ferntransportes und der natürlichen Emissionen bestimmt werden.

Bezüglich der Staubinhaltsstoffe (schwefel- und stickstoffhaltige Verbindungen sowie Schwermetalle) wird auf Kapitel 3.1 verwiesen.

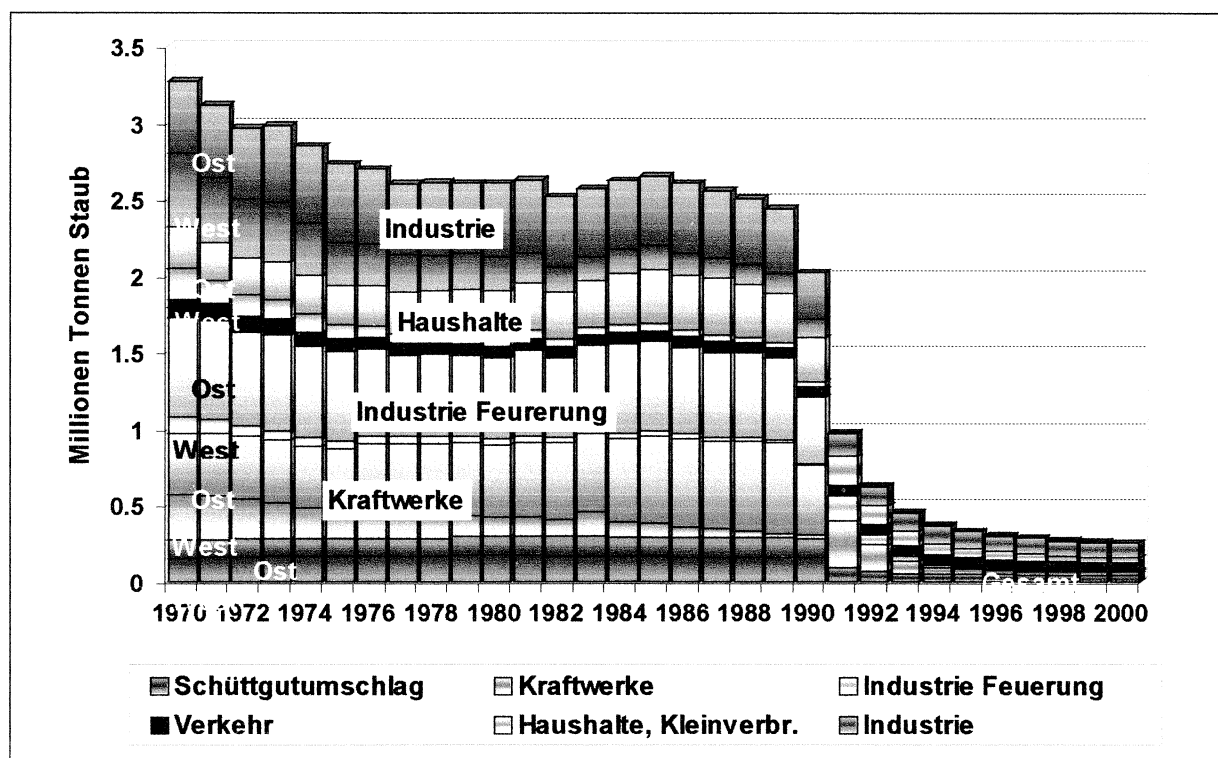


Abbildung 32: Jährliche Staub-Emissionen in Deutschland von 1970 bis 2000 (Ref. 1)

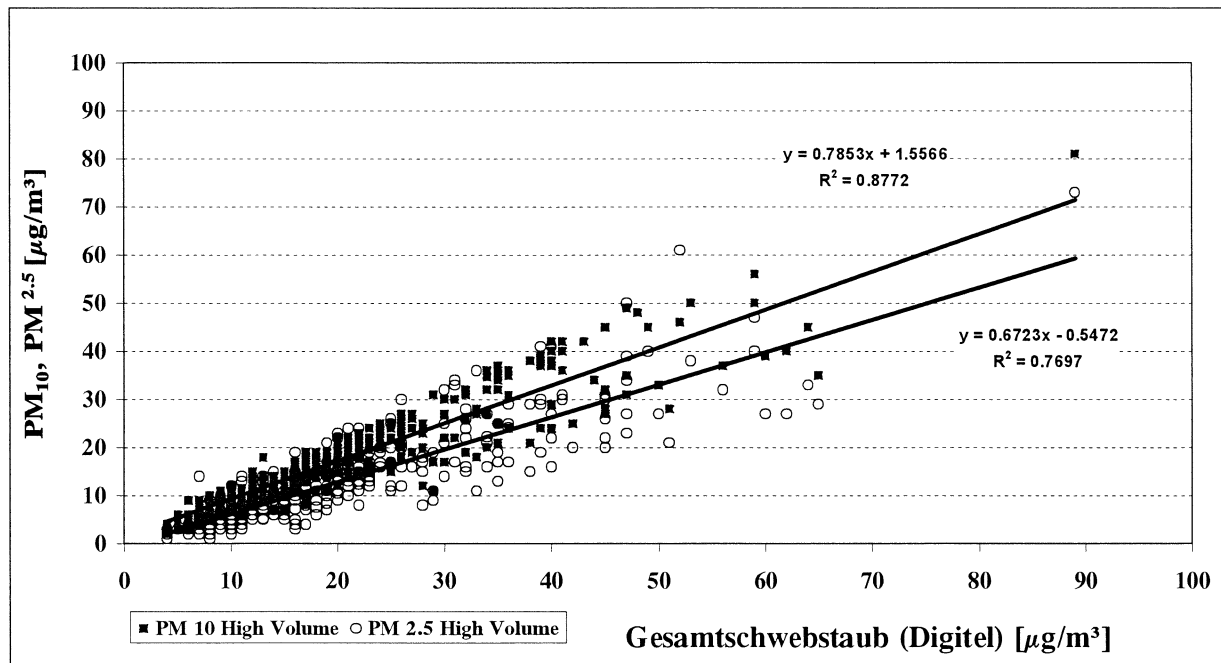


Abbildung 33: Vergleich von Staubmessungen in Waldhof von 1999 bis 2001 zwischen Gesamtstaub, PM<sub>10</sub> und PM<sub>2.5</sub>

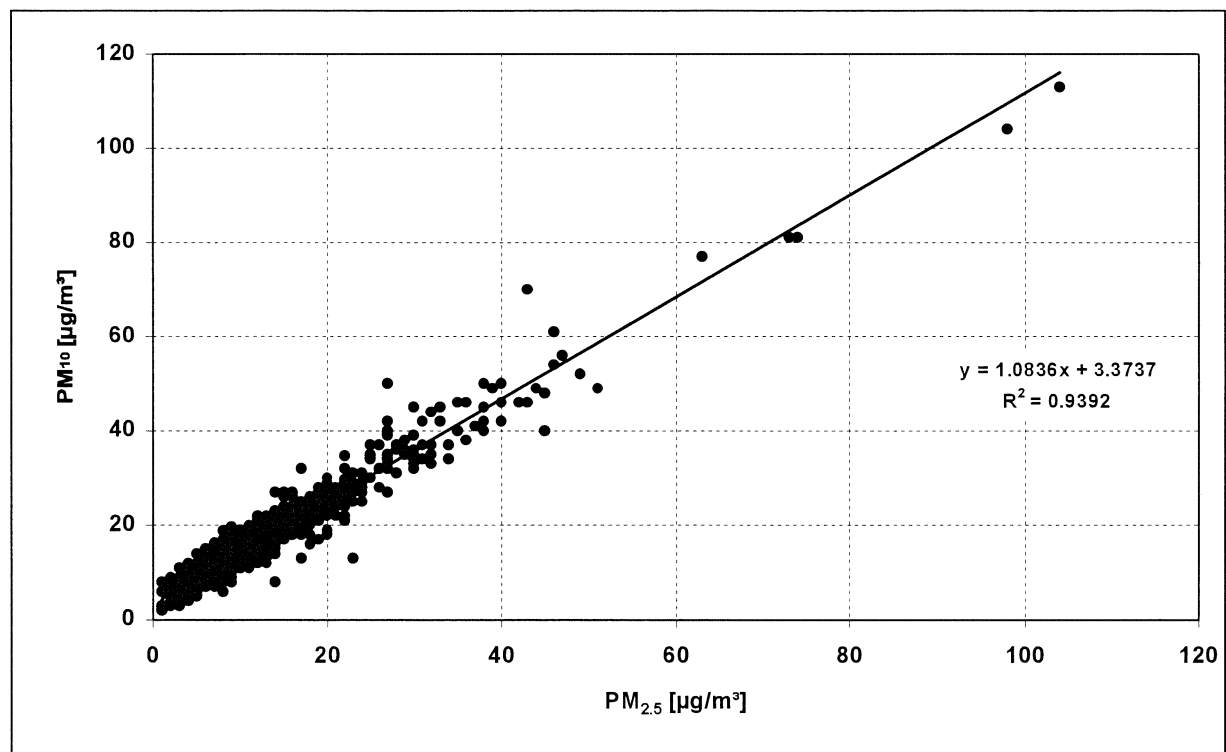


Abbildung 34: Vergleich von PM<sub>10</sub>- und PM<sub>2.5</sub>-Staubmessungen in Waldhof von 1999 bis 2001

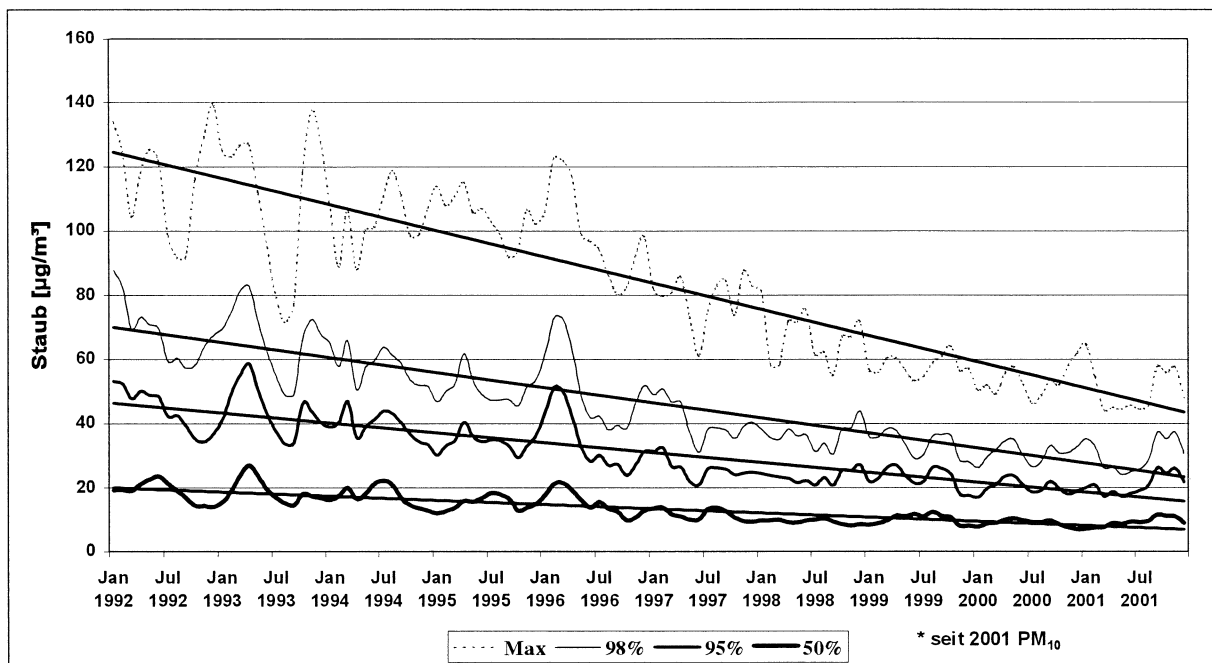


Abbildung 35: Trend der Monatsmaxima, 98-, 95- und 50-Perzentilwerte von Gesamtstaub bzw. PM<sub>10</sub> (seit 2001), gemittelt über 7 personell besetzte Messstellen, von Januar 1992 bis Dezember 2001, kontinuierliche  $\beta$ -Staubgeräte

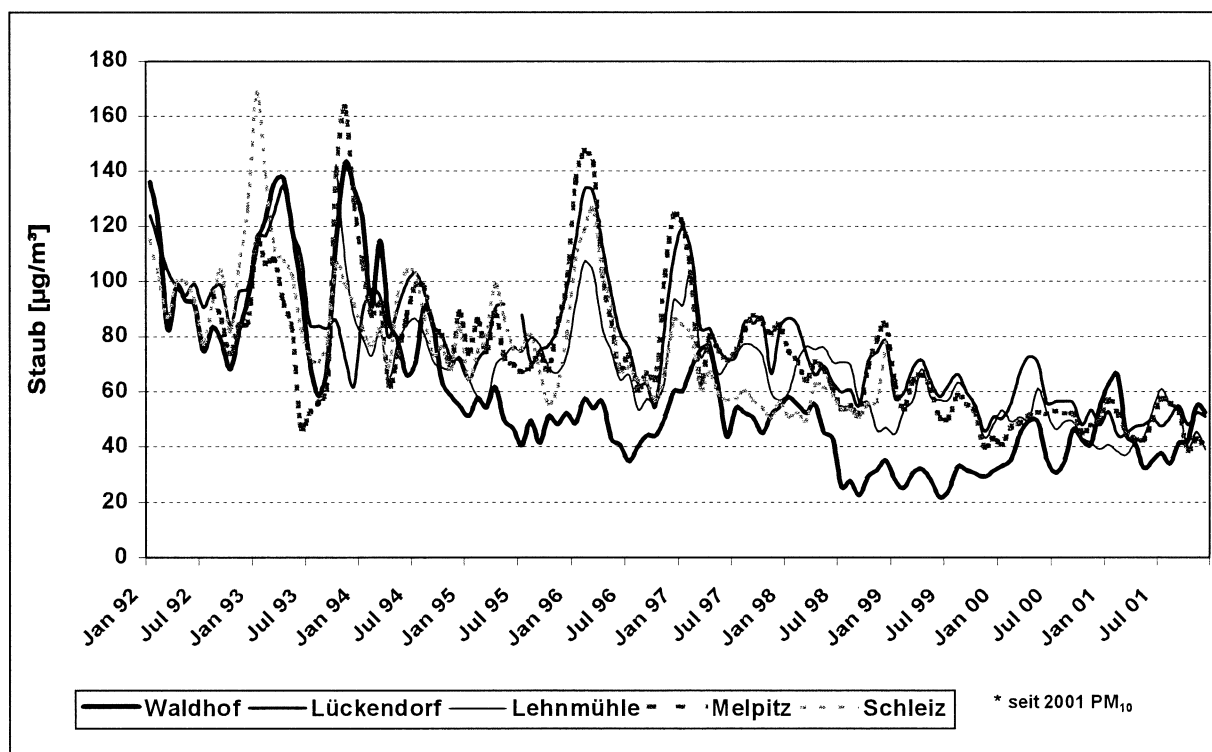


Abbildung 36: Trend der 98-Perzentilwerte der Staubkonzentrationen in Waldhof, Lückendorf, Lehnmühle, Melpitz und Schleiz zwischen 1992 und 2001, seit 2001 PM<sub>10</sub>-Messungen, kontinuierliche  $\beta$ -Staubgeräte

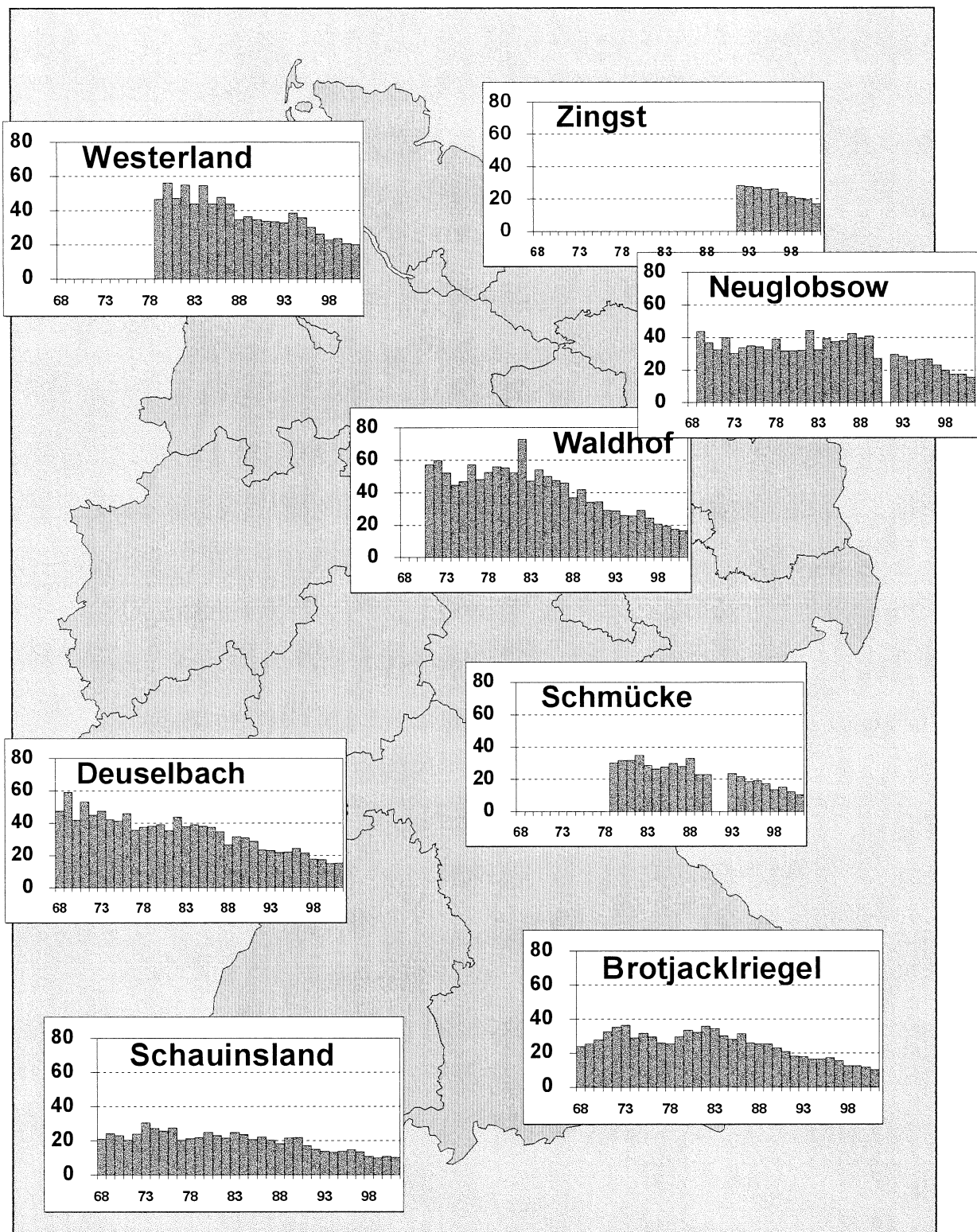


Abbildung 37: Jahresmittel von Schwebstaub für 1968 bis 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Digital-Tagesproben, ab 1999  $\text{PM}_{10}$ -Messungen

Tabelle 55: Monats- und Jahresmittel, Schwebstaub für 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kontinuierliches Messverfahren

\*: keine Messungen, kursive Werte:  $PM_{10}$

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZG	16	8	11	8	8	7	10	10	10	15	11	11	-
HG*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	37	-	25	19	25	19	23	-	24	15	17	-	-
UE	25	13	19	12	15	12	19	18	11	23	11	14	16
NG	-	-	16	10	9	7	8	9	16	28	11	14	-
SH	27	14	19	12	16	13	16	18	11	21	11	13	16
BA	23	-	22	18	23	17	21	-	-	28	15	16	-
WA	22	13	19	11	-	-	16	16	10	19	-	17	16
GI	19	14	19	12	18	17	18	12	7	13	12	12	-
FA	27	15	20	13	18	16	18	19	13	22	12	16	17
MP	22	17	22	14	17	17	21	23	14	20	13	18	18
LF	20	16	19	16	24	19	25	31	-	23	16	15	-
LM	15	11	15	12	17	15	18	23	12	23	12	12	15
LU	22	19	20	16	23	19	19	-	-	25	15	16	-
SM	7	8	8	7	13	10	11	13	5	11	5	-	9
RE	16	13	15	13	21	18	21	22	-	-	11	13	-
DE	10	10	9	8	15	10	10	11	9	14	12	11	-
AS	16	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	26	23	-
FB*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BR	11	-	13	13	21	15	16	21	13	-	-	-	15
RS	-	-	-	-	-	-	-	9	-	8	7	13	-
SC	5	9	5	7	15	10	10	-	7	13	7	6	-



Tabelle 56: Jahresmittel von Schwebstaub, 1989 bis 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kontinuierliches Messverfahren, kursive Werte:  $\text{PM}_{10}$

Station	WE	ZG	HG	AU	HW	TE	UE	SW	NG	AN	SH	KY	BA	WA	WI	GI	LI	FA	DL
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45	-	-	-	-	-
1990	-	-	-	-	19	-	-	-	-	-	-	-	23	30	-	22	-	-	-
1991	-	-	-	-	23	-	-	41	-	-	-	-	27	35	43	28	-	-	42
1992	-	19	-	-	19	31	33	33	23	36	-	35	25	29	38	25	-	-	38
1993	-	18	-	-	22	28	42	34	21	36	-	35	-	34	34	35	37	-	38
1994	-	16	22	-	21	28	29	31	20	32	-	31	-	27	23	-	31	-	33
1995	-	15	22	-	-	-	28	30	19	31	-	32	-	17	21	-	30	-	28
1996	-	16	-	-	-	28	-	36	21	32	-	-	-	17	-	-	34	-	31
1997	-	13	-	-	-	24	-	31	16	27	-	31	-	19	44	-	27	-	28
1998	-	12	-	-	-	-	20	-	15	25	-	-	25	12	30	-	-	-	22
1999	-	11	-	20	-	-	19	-	13	-	-	-	22	9	-	19	-	18	-
2000	-	10	-	19	-	-	17	-	14	-	16	-	21	12	-	14	-	17	-
2001	-	9	-	19	-	-	16	-	11	-	16	-	17	16	-	13	-	17	-
Station	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	AS	OE	BR	FB	RT	SC	MU	RS	ZU
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	-	-	-	-	-	23	-	-	-
1990	-	-	22	34	-	-	-	-	34	22	36	-	-	-	26	24	-	-	-
1991	-	-	26	28	-	-	-	35	40	22	-	-	30	-	29	23	-	-	-
1992	-	-	21	25	-	35	24	31	32	20	-	-	-	-	23	22	-	-	-
1993	-	36	20	27	-	36	22	30	33	18	39	-	29	-	-	20	-	-	-
1994	31	32	19	23	25	32	21	27	23	16	28	-	26	-	-	19	-	-	-
1995	29	27	-	20	23	-	18	26	20	22	19	-	-	-	22	12	-	-	-
1996	37	-	23	-	25	38	16	30	-	21	26	-	-	-	33	9	-	-	-
1997	30	27	-	32	22	30	14	22	-	16	26	-	-	-	-	6	17	-	-
1998	22	22	-	-	-	23	12	17	-	8	23	-	-	-	-	8	16	-	-
1999	20	22	-	-	20	21	11	-	17	11	13	-	16	-	-	10	-	-	-
2000	19	18	-	-	17	21	8	-	16	10	13	-	17	-	-	9	-	-	-
2001	18	18	-	-	15	17	7	-	14	10	-	-	15	-	-	8	-	8	-

Tabelle 57: Jahresmittel von Schwebstaub für 1968 bis 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Digital-Tagesproben, ab 1999  $\text{PM}_{10}$

Station	WE	ZG	HG	HW	SW	NG	AN	SH	BA	WA	LI	LF	ME	SM	DE	AS	BR	RT	SC	MU
1968	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48	-	24	-	21	-
1969	-	-	-	-	-	44	-	-	-	-	-	-	-	-	59	-	25	-	24	-
1970	-	-	-	-	-	37	-	-	-	57	-	-	-	-	42	-	-	-	23	-
1971	-	-	-	-	-	32	-	-	-	57	-	-	-	-	53	-	-	-	20	-
1972	-	-	-	-	-	40	-	-	-	60	-	-	-	-	45	-	35	-	24	-
1973	-	-	-	-	-	30	-	-	-	52	-	-	-	-	48	-	36	-	30	-
1974	-	-	-	-	-	34	-	-	-	45	-	-	-	-	42	-	29	-	27	-
1975	-	-	-	-	-	35	-	-	-	47	-	-	-	-	41	-	32	-	26	-
1976	-	-	-	47	-	34	-	-	62	57	-	-	52	-	46	49	30	45	27	-
1977	-	-	-	41	-	33	-	-	53	48	-	-	43	-	36	39	26	34	20	-
1978	-	-	-	43	-	39	-	-	57	52	-	-	44	-	38	43	26	37	21	-
1979	-	-	-	42	-	32	-	-	59	56	-	-	44	30	38	43	29	38	22	-
1980	-	-	-	43	-	32	-	-	54	55	-	-	44	32	39	42	34	38	25	-
1981	-	-	-	42	-	32	-	-	51	52	-	-	40	32	35	37	32	34	23	-
1982	55	-	-	48	-	44	-	-	59	73	-	-	42	35	44	44	36	39	21	-
1983	44	-	-	40	-	32	-	-	50	47	-	47	40	29	38	44	34	40	25	-
1984	55	-	-	46	-	39	54	-	57	54	-	57	41	26	39	43	30	40	24	-
1985	44	-	-	37	-	37	52	-	52	50	56	56	39	28	38	41	28	35	21	-
1986	48	-	-	36	39	38	51	-	49	48	53	59	42	30	37	44	31	36	22	-
1987	44	-	-	-	48	43	46	-	49	46	53	66	38	28	35	38	26	33	20	-
1988	35	-	-	-	35	40	40	-	36	37	46	41	32	33	26	31	25	25	18	-
1989	37	-	-	-	40	41	49	-	41	42	54	51	37	23	31	36	26	30	21	-
1990	35	-	-	-	31	28	39	-	37	34	37	34	35	24	31	34	23	25	22	-
1991	34	-	-	-	-	-	-	-	36	34	-	-	31	-	29	32	21	25	17	-
1992	33	28	-	-	-	30	-	-	33	29	-	-	26	-	23	26	18	22	15	-
1993	33	28	-	-	-	28	-	-	31	29	-	-	26	24	23	26	18	19	14	-
1994	39	27	-	-	-	26	-	-	31	26	-	-	24	22	22	22	17	17	13	-
1995	36	26	-	-	-	27	-	-	28	25	-	-	26	19	22	22	17	18	14	-
1996	30	26	30	26	-	27	-	-	-	29	-	-	28	19	24	24	17	20	15	-
1997	26	24	25	-	-	23	-	-	-	24	-	-	-	17	21	-	15	-	13	17
1998	23	21	23	-	-	20	-	-	-	20	-	-	-	14	18	-	13	-	11	16
1999	20	17	26	-	-	15	-	-	-	16	-	-	-	13	14	-	11	-	8	-
2000	21	20	-	-	-	17	-	19	-	17	-	-	-	12	15	-	12	-	11	-
2001	20	17	20	-	-	16	-	18	-	16	-	-	-	10	15	-	10	-	10	-

## 2.2 Ionen im Niederschlag

Neben der trockenen Deposition trägt die nasse Deposition durch Regen erheblich zur Beseitigung von Spurenstoffen aus der Atmosphäre bei (*Ref. 14*). Der Eintrag von Spurenstoffen durch Niederschläge in Böden kann nützlich sein, wenn es sich bei den ausgewaschenen Substanzen um Nährstoffe für Pflanzen handelt. Der Eintrag kann aber auch eine Belastung für Wasser, Böden und Vegetation bedeuten, wenn der Eintrag zu groß ist (sog. Eutrophierung), oder wenn es sich bei den deponierten Stoffen um Substanzen handelt, von denen schädigende Wirkungen ausgehen. Die chemische Zusammensetzung des Regens wird durch eine Vielzahl von gas- und partikelförmigen Substanzen bestimmt. In Deutschland wird die chemische Zusammensetzung vor allem durch die Spurengase  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  sowie durch Aerosolteilchen bestimmt.

Vor dem Hintergrund der erheblichen Emissionsreduzierungen für diese Stoffe interessiert vor allem, welche Auswirkungen diese Minderungen auf die Konzentrationen und Depositionen der entsprechenden Ionen im Regenwasser gehabt haben.

Im UBA-Messnetz werden sowohl „daily-bulk“- als auch weekly (wöchentliche) „wet-only“-Probenahmen und Analysen durchgeführt. Die daily-bulk-Messungen werden jedoch nur noch in Deuselbach und Waldhof fortgeführt, in Westerland, Zingst, Neuglobsow, auf der Schmücke, dem Brotjacklriegel und dem Schauinsland wurden sie am 31.12.1999 eingestellt. In den Tabellen sind jedoch sowohl die Ergebnisse der daily-bulk-Messungen (Tabelle 58 bis Tabelle 63) als auch der weekly wet-only-Messungen (Tabelle 64 und Tabelle 65) dargestellt.

Die Konzentrationen und Depositionen der Ionen Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), Sulfat ( $\text{SO}_4^{=}$ ), Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), Chlorid ( $\text{Cl}^-$ ), Natrium ( $\text{Na}^+$ ), Kalium ( $\text{K}^+$ ), Calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ) und Magnesium ( $\text{Mg}^{++}$ ) werden zusammen mit der Regenmenge und der spezifischen Leitfähigkeit als Monatswerte für die Stationen Waldhof und Deuselbach in Tabellenform für das Jahr 2001 zusammengestellt. Des Weiteren wird für jede der 2 weitergeführten „daily-bulk“-Stationen der mittlere Jahresgang der Monatswerte für die Konzentrationen und Depositionen sowie die Jahreswerte für den Zeitraum von 1982 bis 2001 tabellarisch dargestellt.

### 2.2.1 Konzentrationen der Ionen im Niederschlag – Daily-bulk

In Tabelle 58 sind die mittleren monatlichen Konzentrationen der Ionen im Niederschlag sowie die elektrische Leitfähigkeit, der pH-Wert sowie die monatliche Regenmenge der daily-bulk-Messungen für die Messstellen Deuselbach und Waldhof für 2001 zusammengestellt.

In Tabelle 59 und Tabelle 60 sind der mittlere Jahresgang der Monatswerte sowie die Jahresmittel für die Ionen-Konzentrationen, die pH-Werte und die spezifische Leitfähigkeit sowie die Jahressummen für die Regenmengen für Deuselbach und Waldhof für die Jahre 1982 bis 2001 zusammengefasst.

Aus diesen Tabellen sowie aus den Abbildung 41 bis Abbildung 45 geht hervor, dass sich der seit 1982 beobachtete Rückgang der Ionenkonzentrationen einiger Ionen wie beispielsweise  $\text{H}^+$ ,  $\text{SO}_4^{=}$  und  $\text{NO}_3^-$  auch im Jahre 2001 fortgesetzt hat. An beiden Stationen lagen die Ionenkonzentrationen ähnlich niedrig wie im Jahr 2000.

Wie aus Abbildung 41 zu ersehen ist, zeigen die pH-Werte an den 5 Stationen in den alten Ländern einen deutlichen Anstieg von ca. 4.3-4.4 im Jahre 1982 auf Werte zwischen 4.8 und 4.95 im Jahre 2001. Ein Anstieg der pH-Werte entspricht einem Rückgang der Konzentration von Wasserstoffionen ( $\text{H}^+$ ). Das heißt, der Regen ist heute deutlich weniger sauer als zu Beginn der 80er Jahre. Der Rückgang der Konzentrationen der Wasserstoffionen ( $\text{H}^+$ ) von 1982 bis 2001 lag zwischen 73 und 81% in Waldhof und Deuselbach, der Rückgang von  $\text{SO}_4^{=}$  zwischen 56 und 57% in Deuselbach und Waldhof, wenn man die 5-Jahreszeiträume 1982-1986 und 1997-2001 gegenüberstellt.

Parallel zum Anstieg der pH-Werte hat der Gesamtgehalt an Ionen im Niederschlag und damit dessen spezifische Leitfähigkeit zwischen 1982 und 2001 an den Stationen in den alten Ländern ebenfalls deutlich abgenommen (Abbildung 38, Abbildung 39 und Abbildung 45). Auch an den drei Stationen in den neuen Ländern ist eine Zunahme der pH-Werte nicht zu übersehen, trotz des relativ kurzen Zeitraums 1993-1999 (Abbildung 45). Eine Ausnahme ist Westerland, wo, bedingt durch den Einfluss von Seesalz, nur ein schwacher Rückgang beobachtet wurde.

Abbildung 40 zeigt zusammenfassend den Rückgang der Ionenkonzentrationen für  $\text{H}^+$ , Sulfat, Nitrat und Ammonium zwischen 1982 und 2001 im Mittel über die UBA-Stationen Deuselbach und Waldhof, normiert auf 1982.

Abbildung 38 und Abbildung 39 zeigen die jährliche Ionenverteilung im Niederschlag in Waldhof und Deuselbach für 1982 bis 2001. Die Abnahme des Gesamtgehaltes an Ionen im Regenwasser während der letzten zwei Jahrzehnte war verbunden mit einer Änderung der relativen Ionenverteilung. Im Jahre 2001 waren die prozentualen Anteile von  $\text{H}^+$  und  $\text{SO}_4^{=}$  geringer, die relativen Äquivalentkonzentrationen von  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{NH}_4^+$  dagegen höher als 1984, wobei deren Absolutkonzentrationen ebenfalls abgenommen haben. Generell unterscheiden sich die Konzentrationen der Regeninhaltsstoffe Sulfat, Nitrat und Ammonium an den 8 Stationen nur wenig, d.h. die Konzentrationsverteilung dieser Ionen in den ländlichen Regionen ist recht homogen.

Der deutliche Rückgang der Konzentrationen und Depositionen (siehe Kapitel 2.2.2) von  $\text{H}^+$  und  $\text{SO}_4^{=}$  und der weniger ausgeprägte Rückgang bei  $\text{NO}_3^-$  und vor allem bei  $\text{NH}_4^+$  sowie der damit verbundene Rückgang beispielsweise des Sulfat/Nitrat-Verhältnisses während der letzten 20 Jahre spiegelt die unterschiedlichen Langzeittrends der Emissionen von Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) und Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) in Deutschland und den meisten Nachbarländern wider.

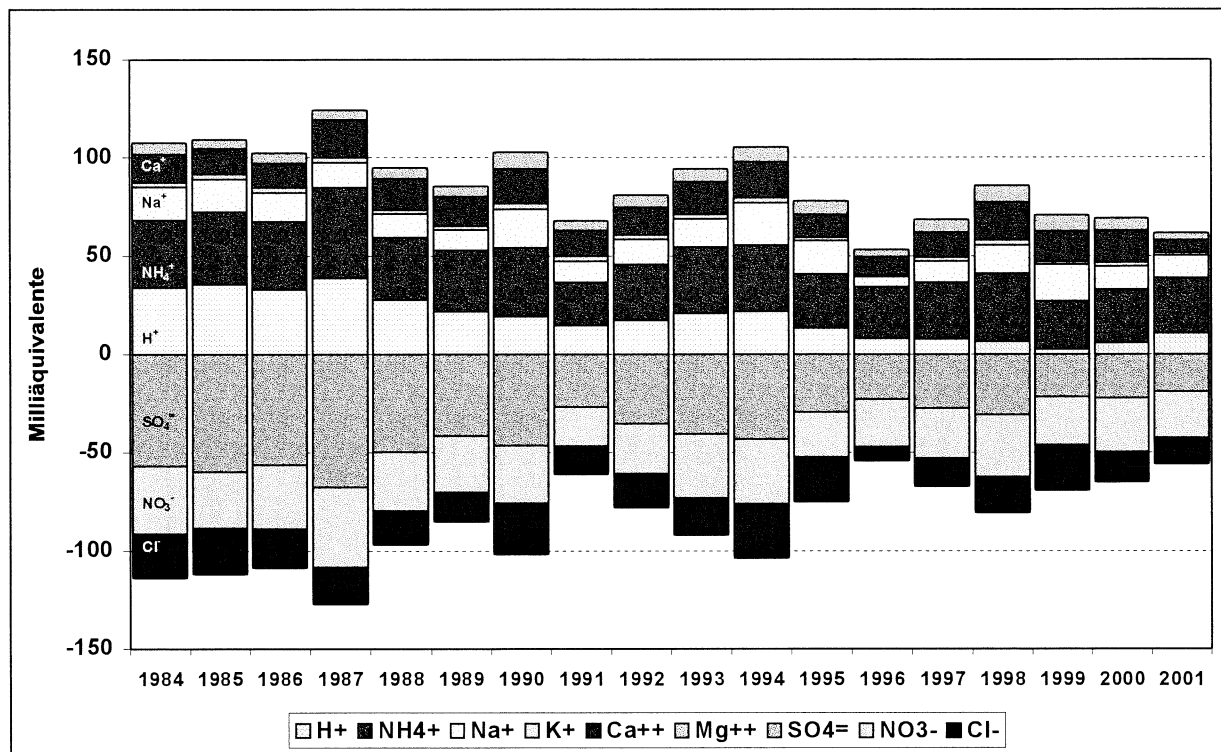


Abbildung 38: Jährliche Ionenverteilung im Niederschlag in Waldhof für 1984 bis 2001 (daily-bulk-Messungen)

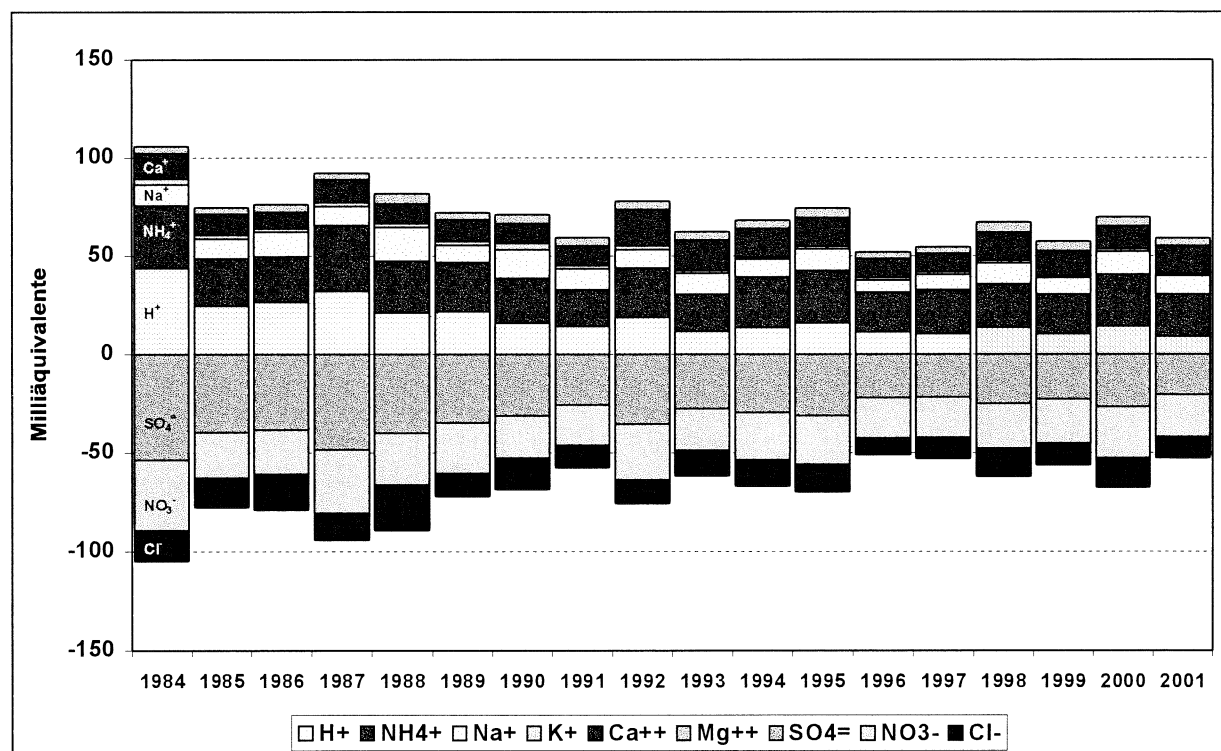


Abbildung 39: Jährliche Ionenverteilung im Niederschlag in Deuselbach für 1984 bis 2001 (daily-bulk-Messungen)

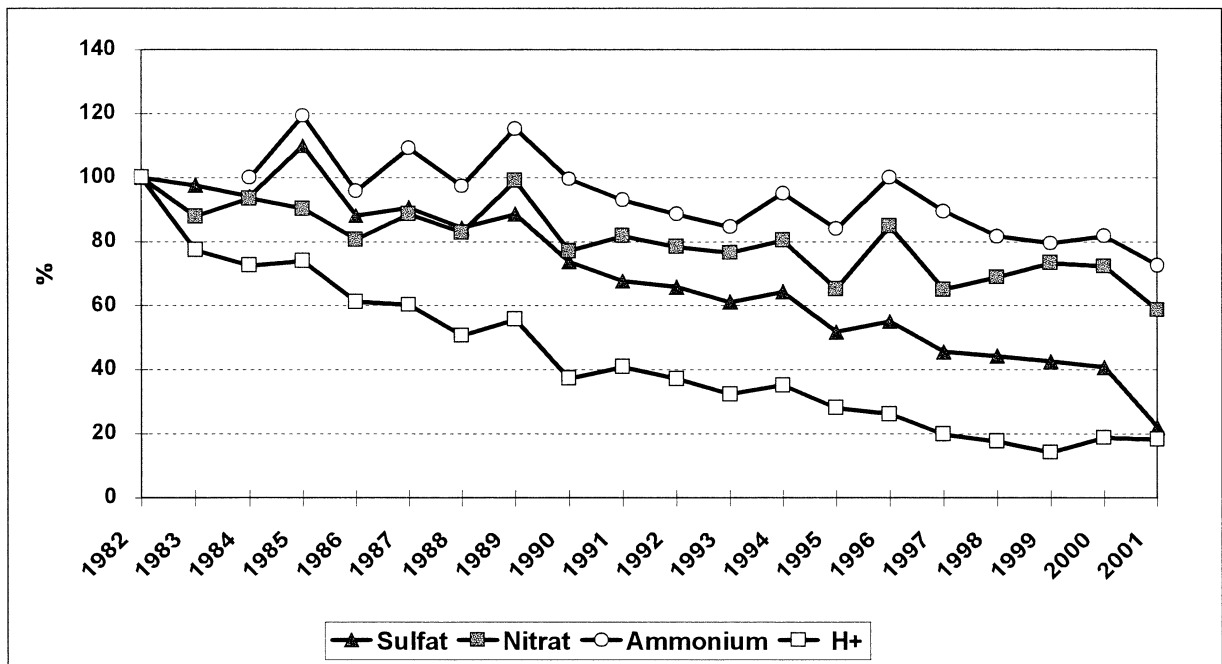


Abbildung 40: Rückgang der Ionenkonzentrationen für  $H^+$ , Sulfat, Nitrat und Ammonium zwischen 1982 und 2001 (daily-bulk) im Mittel über die UBA-Stationen Deuselbach und Waldhof, normiert auf 1982.

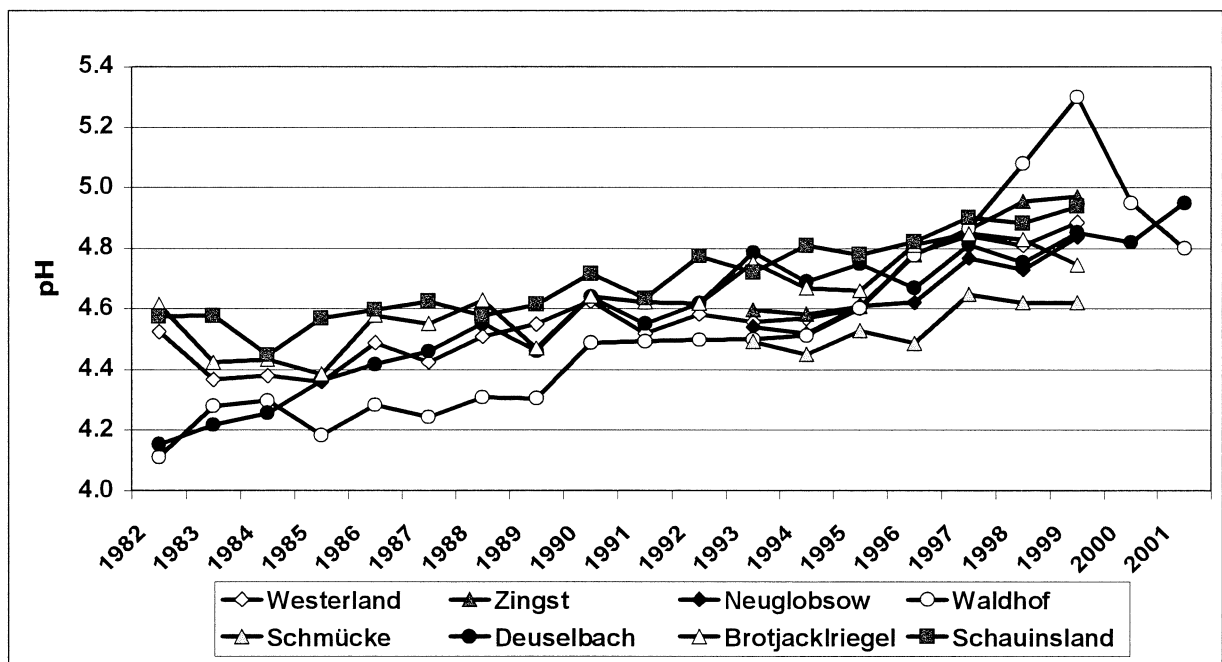


Abbildung 41: Jahresmittel pH-Wert im Niederschlag (daily-bulk) von 1982 bis 2001 für die personell besetzten UBA-Messstellen.

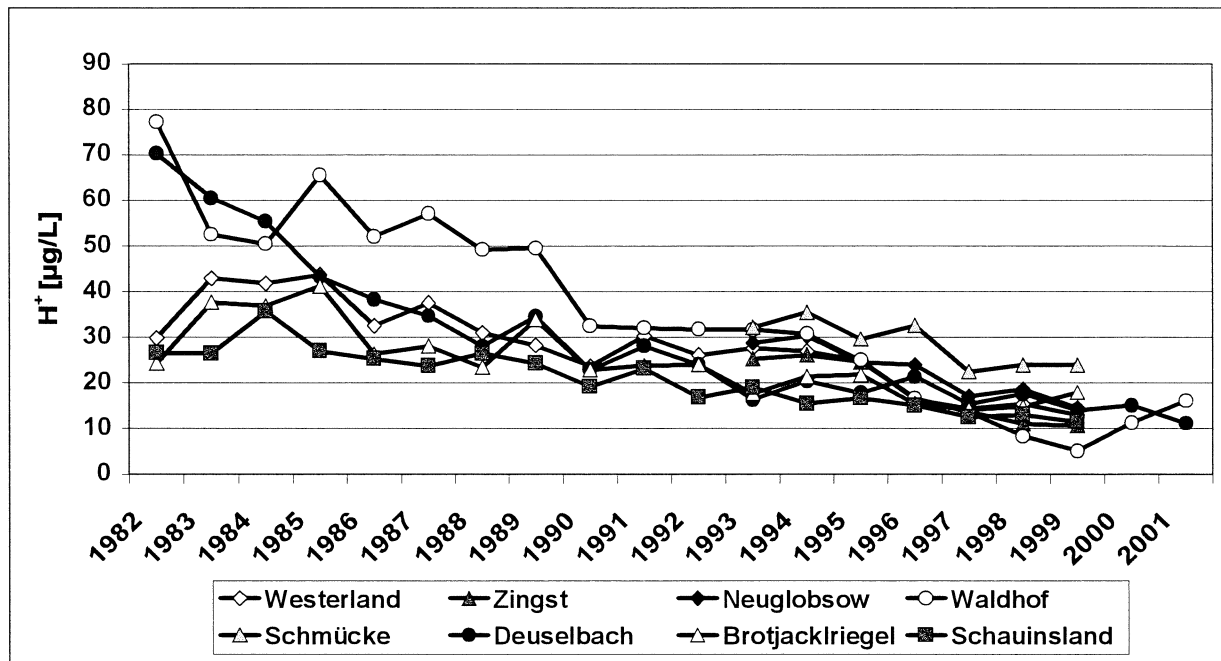


Abbildung 42: Jahresmittel  $H^+$ -Ionen-Konzentration im Niederschlag von 1982 bis 2001 für die personell besetzten UBA-Messstellen (daily-bulk-Messungen).

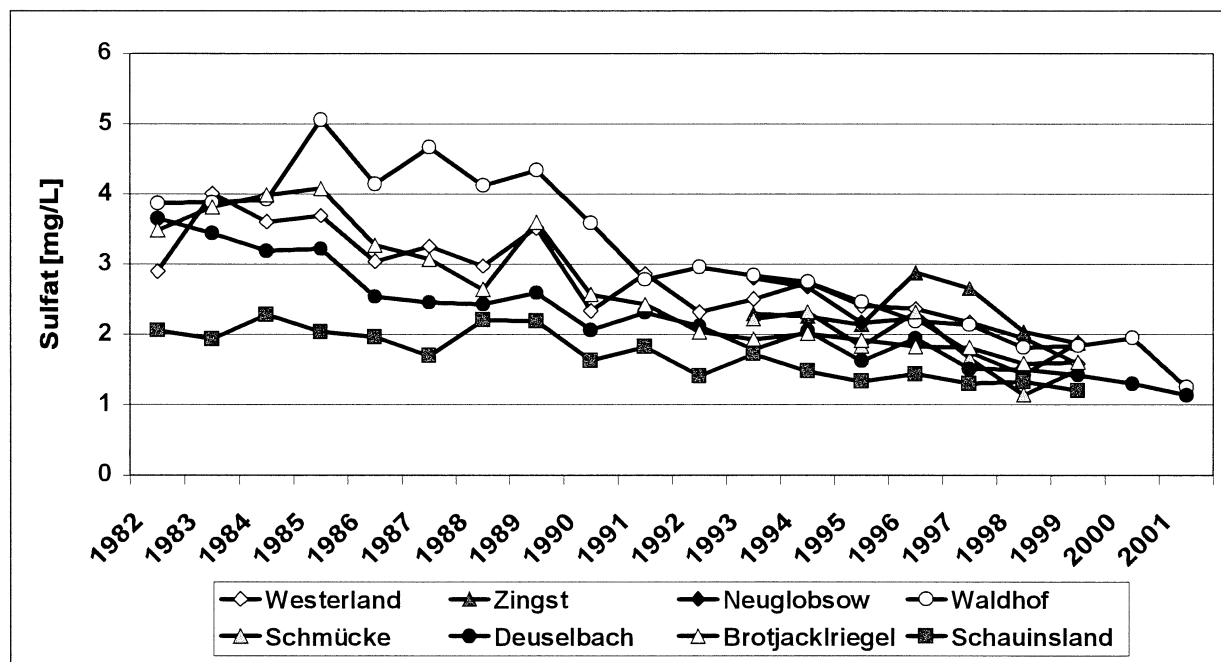


Abbildung 43: Jahresmittel  $SO_4^{=}$ -Ionen-Konzentration (seesalzkorrigiert) im Niederschlag (daily-bulk) von 1982 bis 2001 für die personell besetzten UBA-Messstellen.

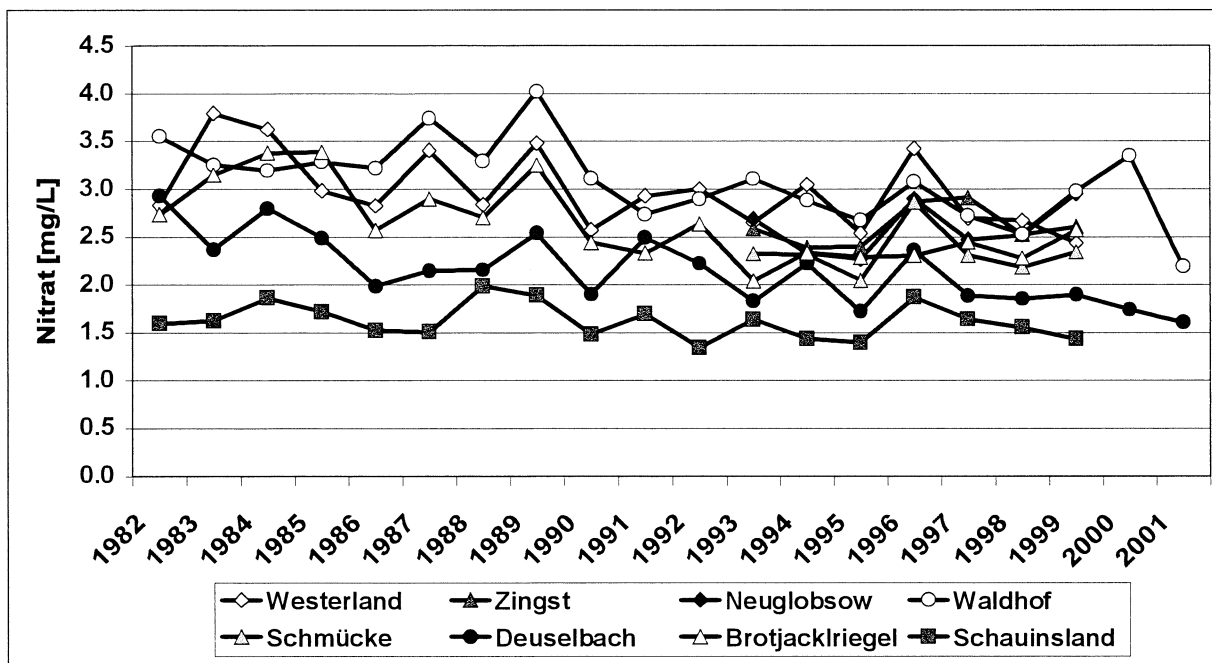


Abbildung 44: Jahresmittel  $\text{NO}_3^-$ -Ionen-Konzentration im Niederschlag (daily-bulk) von 1982 bis 2001 für die personell besetzten UBA-Messstellen.

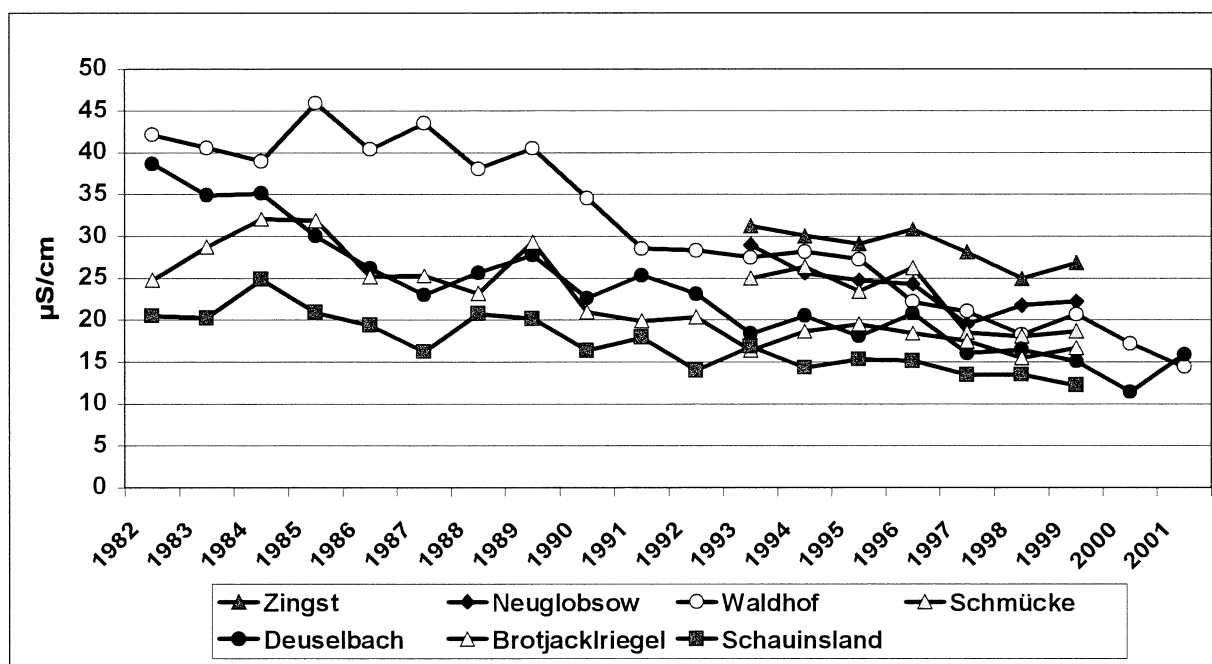


Abbildung 45: Jahresmittel der Leitfähigkeit des Niederschlag von 1982 bis 2001 (daily-bulk) für die personell besetzten UBA-Messstellen.



Tabelle 58: Mittlere monatliche Konzentrationen im Niederschlag für 2001, Waldhof und Deuselbach (daily-bulk)

Zeit- raum	Regen l/m <sup>2</sup>	pH	Leitf. µS/cm	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Ca <sup>++</sup> mg/l	Mg <sup>++</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l
WALDHOF											
Jan.	36.8	5.00	11.4	0.41	0.07	0.03	0.25	0.04	0.76	1.92	0.16
Feb.	43.1	4.80	16.9	0.55	0.34	0.09	0.25	0.06	1.44	2.36	0.58
Mär.	46.1	4.54	23.2	0.89	0.13	0.07	0.21	0.04	1.96	3.43	0.28
Apr.	38.0	5.01	24.7	1.52	0.52	0.11	0.27	0.08	2.14	3.97	0.84
Mai	27.8	5.72	16.3	1.88	0.16	0.29	0.40	0.06	2.06	2.10	0.31
Jun.	82.3	4.86	17.3	1.00	0.28	0.05	0.18	0.05	1.57	2.49	0.47
Jul.	62.9	5.10	11.9	0.56	0.14	0.07	0.35	0.05	1.22	1.66	0.21
Aug.	56.3	5.26	16.8	0.84	0.15	0.09	0.21	0.03	1.24	1.51	0.27
Sep.	146.2	4.69	16.1	0.42	0.45	0.03	0.10	0.06	0.90	1.73	0.80
Okt.	28.8	4.71	23.8	0.64	1.01	0.07	0.20	0.13	1.46	1.97	1.80
Nov.	32.9	4.58	30.0	1.00	1.79	0.11	0.18	0.23	1.91	2.73	3.11
Dez.	69.1	4.62	18.9	0.49	0.42	0.04	0.08	0.05	1.08	1.97	0.71
DEUSELBACH											
Jan.	77.2	4.85	11.6	0.18	0.37	0.05	0.19	0.07	0.89	1.09	0.68
Feb.	48.0	4.76	14.2	0.44	0.21	0.05	0.25	0.05	1.12	2.16	0.38
Mär.	118.0	5.09	10.8	0.42	0.27	0.05	0.20	0.05	0.91	1.40	0.47
Apr.	78.0	5.06	13.9	0.66	0.31	0.09	0.24	0.07	1.41	1.72	0.54
Mai	6.6	5.26	9.5	0.46	0.08	0.08	0.40	0.06	1.27	1.42	0.29
Jun.	112.3	5.03	15.8	0.86	0.17	0.07	0.38	0.06	1.87	2.32	0.29
Jul.	88.1	4.95	16.5	0.49	0.20	0.06	1.09	0.07	1.47	1.49	0.37
Aug.	50.2	5.34	9.8	0.45	0.11	0.04	0.34	0.06	0.98	1.47	0.19
Sep.	96.5	4.90	13.2	0.38	0.33	0.03	0.15	0.05	1.01	1.41	0.58
Okt.	43.5	5.07	12.1	0.33	0.18	0.07	0.49	0.06	1.24	1.30	0.31
Nov.	77.0	4.75	13.9	0.29	0.30	0.04	0.17	0.05	0.96	1.56	0.51
Dez.	28.5	4.86	13.1	0.33	0.37	0.06	0.19	0.07	0.98	1.75	0.64

Tabelle 59: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima, und -minima, Jahresmittel der Konzentrationen im Niederschlag sowie Summen der Niederschlagsmenge in Waldhof für 1982 bis 2001 (daily-bulk).

Zeit- raum	Regen l/m <sup>2</sup>	pH	Leitf. µS/cm	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Ca <sup>++</sup> mg/l	Mg <sup>++</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l
Größte Monatswerte											
82-01	151.4	5.96	99.2	-	-	-	-	-	15.66	11.45	8.90
84-01	151.4	5.96	91.5	4.21	4.06	0.52	2.47	0.48	15.66	11.45	8.90
Kleinste Monatswerte											
82-01	0.8	3.84	10.4	-	-	-	-	-	0.76	1.14	0.13
84-01	0.8	3.92	10.4	0.18	0.05	0.03	0.08	0.03	0.76	1.14	0.13
Mittlerer Jahresgang 1984-2001											
Jan.	47.7	4.55	28.8	0.58	1.11	0.11	0.38	0.17	2.41	2.43	2.18
Feb.	39.8	4.57	30.9	0.72	1.34	0.13	0.44	0.19	2.64	2.55	2.57
Mär.	43.2	4.56	31.0	1.12	0.68	0.13	0.44	0.14	2.96	3.32	1.45
Apr.	34.1	4.56	34.4	1.67	0.43	0.18	0.68	0.12	4.07	4.34	0.90
Mai	45.7	4.33	38.6	1.50	0.23	0.21	0.68	0.11	4.74	4.02	0.54
Jun.	54.7	4.40	30.2	0.96	0.23	0.13	0.48	0.09	3.33	3.10	0.55
Jul.	67.7	4.45	27.9	0.99	0.18	0.12	0.48	0.08	3.20	3.00	0.40
Aug.	56.6	4.48	31.0	1.14	0.31	0.19	0.60	0.10	3.55	3.22	0.66
Sep.	54.7	4.46	31.0	0.93	0.55	0.13	0.50	0.12	3.42	3.08	1.11
Okt.	43.5	4.57	26.3	0.77	0.52	0.13	0.49	0.12	2.73	2.74	1.04
Nov.	46.0	4.58	27.3	0.73	0.77	0.13	0.49	0.17	2.72	2.68	1.55
Dez.	51.7	4.56	25.3	0.58	0.62	0.10	0.37	0.12	2.34	2.31	1.27
Jahreswerte											
1982	494.1	4.11	42.1	-	-	-	-	-	4.05	3.55	1.23
1983	627.5	4.28	40.5	-	-	-	-	-	4.03	3.25	1.10
1984	670.5	4.30	39.0	0.92	0.59	0.12	0.43	0.10	4.08	3.19	1.18
1985	545.1	4.18	45.9	1.21	0.69	0.20	0.47	0.10	5.25	3.28	1.53
1986	629.3	4.28	40.4	0.99	0.54	0.15	0.40	0.10	4.27	3.22	1.13
1987	678.0	4.24	43.5	1.22	0.44	0.14	0.57	0.09	4.77	3.74	0.98
1988	562.3	4.31	38.0	1.01	0.50	0.13	0.57	0.12	4.24	3.29	1.10
1989	443.6	4.31	40.5	1.26	0.54	0.17	0.67	0.14	4.47	4.02	1.19
1990	587.6	4.49	34.5	1.07	0.77	0.20	0.60	0.18	3.78	3.11	1.58
1991	454.5	4.49	28.5	0.87	0.55	0.22	0.57	0.14	2.82	2.74	1.11
1992	546.0	4.50	28.3	0.93	0.54	0.16	0.52	0.14	3.09	2.90	1.13
1993	652.7	4.50	27.5	0.93	0.50	0.15	0.51	0.12	2.97	3.11	1.04
1994	706.9	4.51	28.2	0.86	0.70	0.13	0.52	0.13	2.92	2.88	1.40
1995	531.8	4.60	27.2	0.93	0.73	0.12	0.45	0.15	2.65	2.67	1.51
1996	487.8	4.78	22.2	0.97	0.23	0.10	0.38	0.08	2.25	3.07	0.52
1997	584.7	4.87	21.0	0.87	0.43	0.12	0.44	0.13	2.24	2.72	0.87
1998	772.4	5.08	18.1	0.81	0.43	0.12	0.51	0.13	1.92	2.53	0.83
1999	506.0	5.30	20.7	0.87	0.84	0.11	0.62	0.19	2.05	2.98	1.63
2000	509.1	4.95	17.2	0.96	0.54	0.14	0.65	0.15	2.09	3.35	1.07
2001	670.3	4.79	14.4	0.75	0.40	0.07	0.20	0.06	1.35	2.19	0.70

Tabelle 60: Mittlere Jahressgänge, Monatsmaxima, und -minima, Jahresmittel der Konzentrationen im Niederschlag sowie Summen der Niederschlagsmenge in Deuselbach für 1982 bis 2001 (daily-bulk).

Zeit- raum	Regen l/m <sup>2</sup>	pH	Leitf. µS/cm	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Ca <sup>++</sup> mg/l	Mg <sup>++</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l
<b>Größte Monatswerte</b>											
82-01	197.7	5.76	72.5	-	-	-	-	-	8.75	9.01	6.05
84-01	197.7	5.76	72.5	3.52	3.23	0.56	1.43	0.41	8.75	9.01	6.05
<b>Kleinste Monatswerte</b>											
82-01	3.6	3.90	9.5	-	-	-	-	-	0.75	0.50	0.11
84-01	3.6	3.96	9.5	0.11	0.07	0.02	0.09	0.02	0.75	0.50	0.11
<b>Mittlerer Jahresgang 1984-2001</b>											
Jan.	58.9	4.74	17.2	0.27	0.66	0.08	0.24	0.09	1.43	1.22	1.29
Feb.	49.6	4.64	20.5	0.46	0.60	0.10	0.29	0.09	1.75	1.76	1.14
Mär.	58.8	4.70	22.3	0.89	0.39	0.09	0.34	0.07	2.25	2.34	0.78
Apr.	48.6	4.47	29.5	1.01	0.31	0.10	0.41	0.08	3.01	3.21	0.68
Mai	56.2	4.37	31.5	1.01	0.16	0.13	0.41	0.07	3.27	3.32	0.36
Jun.	67.2	4.46	26.9	0.78	0.16	0.10	0.41	0.06	2.88	2.66	0.35
Jul.	69.0	4.56	22.8	0.67	0.16	0.09	0.45	0.05	2.49	2.20	0.35
Aug.	51.7	4.68	20.2	0.73	0.19	0.11	0.39	0.06	2.19	2.19	0.38
Sep.	74.3	4.61	19.8	0.52	0.24	0.07	0.34	0.05	1.88	1.96	0.49
Okt.	68.8	4.76	14.8	0.31	0.32	0.08	0.29	0.06	1.51	1.38	0.61
Nov.	59.6	4.63	18.4	0.40	0.39	0.06	0.27	0.07	1.59	1.67	0.77
Dez.	62.8	4.74	16.0	0.26	0.50	0.06	0.23	0.08	1.34	1.32	0.99
<b>Jahreswerte</b>											
1982	704.6	4.15	38.7	-	-	-	-	-	3.77	2.93	0.80
1983	657.6	4.22	34.9	-	-	-	-	-	3.54	2.37	0.67
1984	789.0	4.26	35.1	0.73	0.31	0.14	0.33	0.06	3.27	2.80	0.70
1985	572.1	4.36	30.0	0.75	0.41	0.14	0.38	0.07	3.33	2.49	0.94
1986	695.7	4.42	26.2	0.59	0.42	0.09	0.25	0.07	2.65	1.99	0.93
1987	923.4	4.46	23.0	0.65	0.24	0.09	0.25	0.04	2.52	2.15	0.53
1988	752.1	4.55	25.6	0.63	0.52	0.10	0.27	0.08	2.56	2.16	1.09
1989	625.7	4.46	27.7	0.72	0.33	0.12	0.35	0.07	2.68	2.54	0.66
1990	691.3	4.64	22.6	0.59	0.48	0.19	0.29	0.08	2.18	1.90	0.81
1991	506.4	4.55	25.3	0.66	0.49	0.12	0.40	0.10	2.43	2.49	0.81
1992	780.6	4.62	23.1	0.58	0.28	0.08	0.48	0.07	2.19	2.22	0.55
1993	716.0	4.79	18.3	0.47	0.34	0.08	0.43	0.07	1.84	1.83	0.65
1994	668.8	4.69	20.5	0.68	0.32	0.06	0.43	0.08	2.13	2.22	0.70
1995	885.7	4.75	18.1	0.54	0.29	0.05	0.33	0.07	1.70	1.72	0.56
1996	531.7	4.67	20.8	0.68	0.27	0.08	0.37	0.08	2.01	2.36	0.57
1997	670.2	4.81	16.1	0.60	0.27	0.06	0.28	0.06	1.58	1.89	0.56
1998	760.1	4.75	16.5	0.52	0.33	0.07	0.37	0.08	1.58	1.85	0.66
1999	733.9	4.85	15.1	0.49	0.26	0.05	0.35	0.08	1.49	1.90	0.53
2000	933.6	4.82	11.4	0.51	0.29	0.05	0.25	0.06	1.37	1.74	0.56
2001	823.9	4.95	15.9	0.47	0.26	0.06	0.34	0.06	1.20	1.61	0.45

## 2.2.2 Depositionen von Ionen mit dem Niederschlag – Daily-bulk

Die nasse Deposition  $D$  ist das Produkt aus der Niederschlagsmenge  $G$  und der Ionen-Konzentration  $c$ :  $D = c \cdot G$

Heute wird die räumliche Variabilität der Deposition weitgehend durch die Variabilität der Niederschlagsmenge verursacht und weniger durch die Variabilität der Ionen-Konzentrationen. Die Niederschlagsmenge variiert auf Grund orographischer und klimatologischer Gegebenheiten räumlich sehr stark. Hohe Depositionen treten vor allem an den Bergstationen auf, da hier die jährlichen Regenmengen am größten sind. Das bedeutet, dass die räumliche Verteilung der nassen Deposition wesentlich inhomogener ist als die entsprechende Verteilung der Konzentrationen.

In Tabelle 61 sind die monatlichen Depositionen der Ionen im Niederschlag für Waldhof und Deuselbach für das Jahr 2001 zusammengestellt. Tabelle 62 und Tabelle 63 enthalten die mittleren Jahresgänge der Depositionen sowie deren Jahreswerte. In Abbildung 46 ist zusammenfassend die über die 2 Stationen Deuselbach und Waldhof gemittelte, auf 1982 normierte Deposition für die Ionen  $H^+$ , Sulfat, Nitrat und Ammonium zwischen 1982 und 2001 dargestellt.

Aus den Tabellen sowie aus der Abbildung 47 ist ersichtlich, dass die jährlichen Regenmengen zwar von Jahr zu Jahr erheblichen Schwankungen unterliegen, zwischen 1982 und 2001 aber keinen systematischen Trend aufweisen. Das bedeutet, dass die Langzeittrends der Deposition den entsprechenden Trends der Konzentrationen sehr ähnlich sind. Der stärkste Rückgang der nassen Deposition wurde bei den Ionen  $H^+$  und  $SO_4^{=}$  beobachtet.

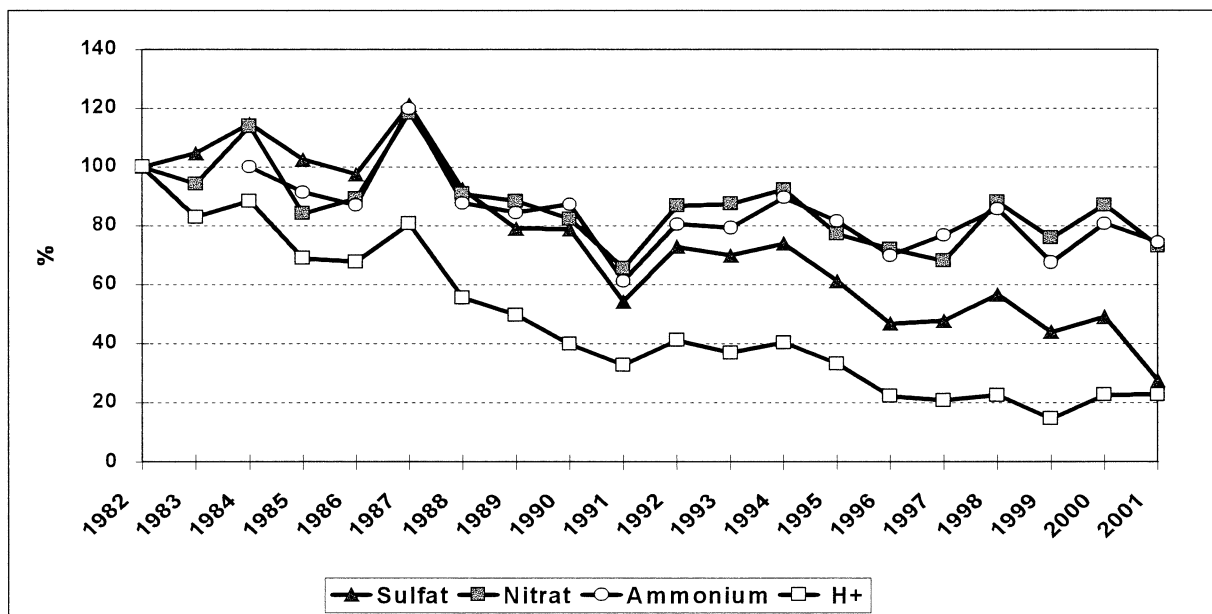


Abbildung 46: Rückgang der Ionendepositionen für  $H^+$ , Sulfat, Nitrat und Ammonium zwischen 1982 und 2001 im Mittel über die UBA-Stationen Deuselbach und Waldhof, normiert auf 1982 (daily-bulk-Messungen).

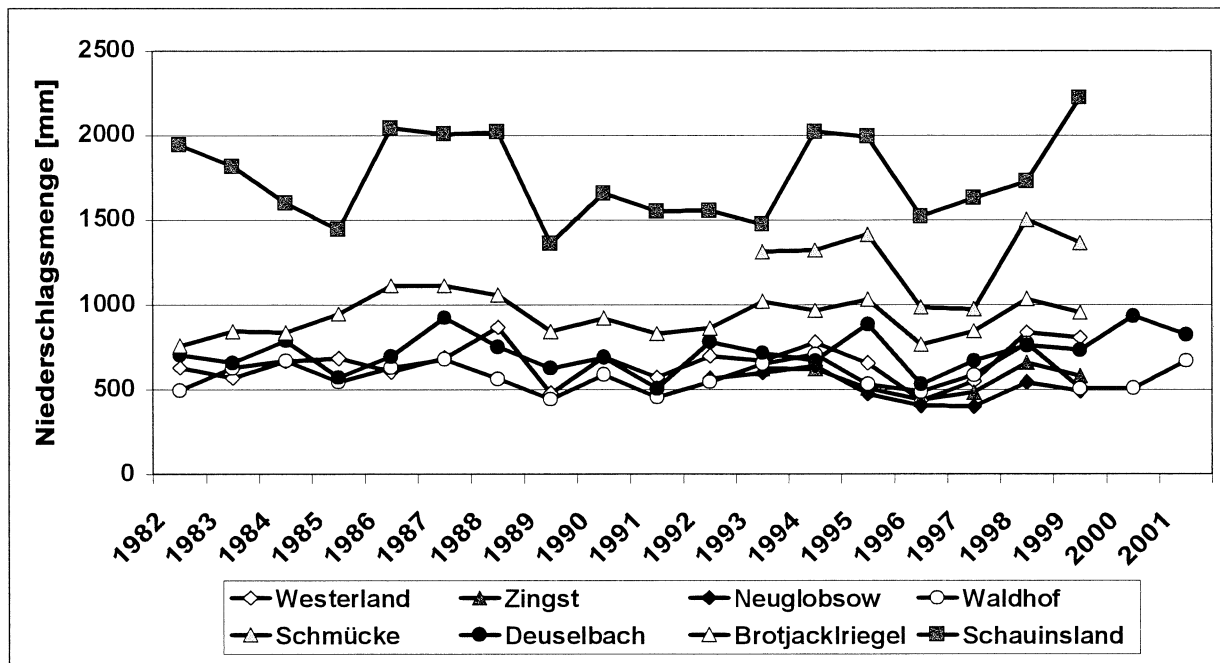


Abbildung 47: Jährliche Niederschlagsmengen an den UBA-Messstellen von 1982 bis 2001 (daily-bulk-Messungen).

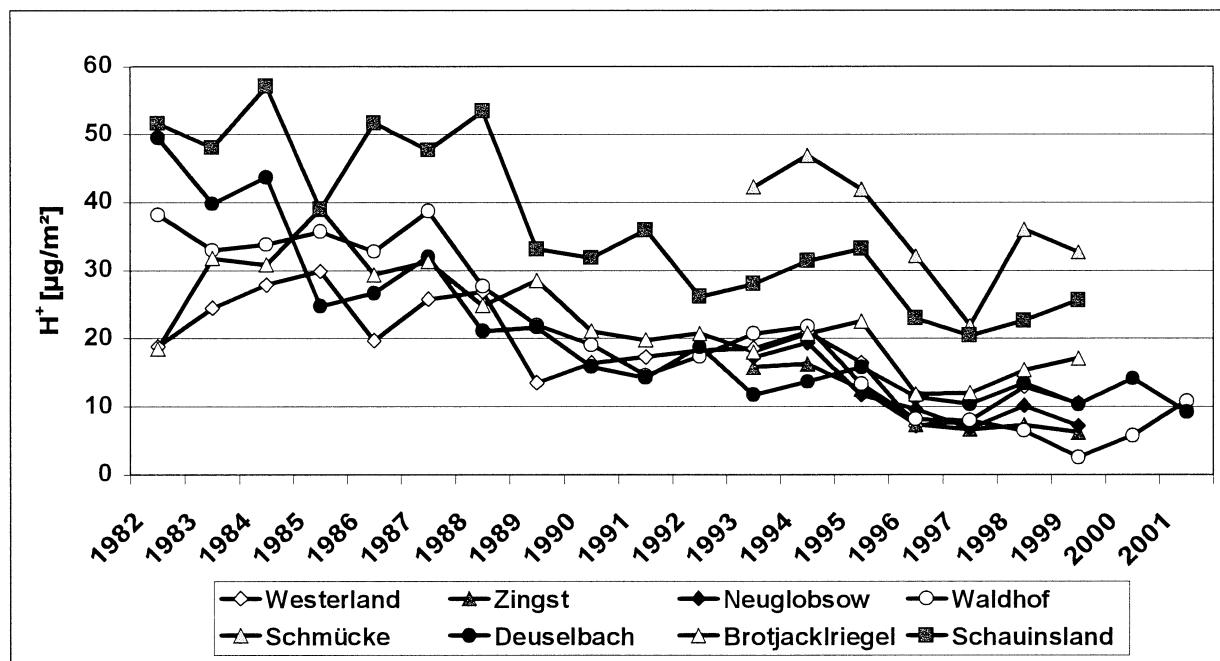


Abbildung 48: Jährliche Depositionen von  $H^+$  an den Messstellen des UBA zwischen 1982 bis 2001 (daily-bulk-Messungen).

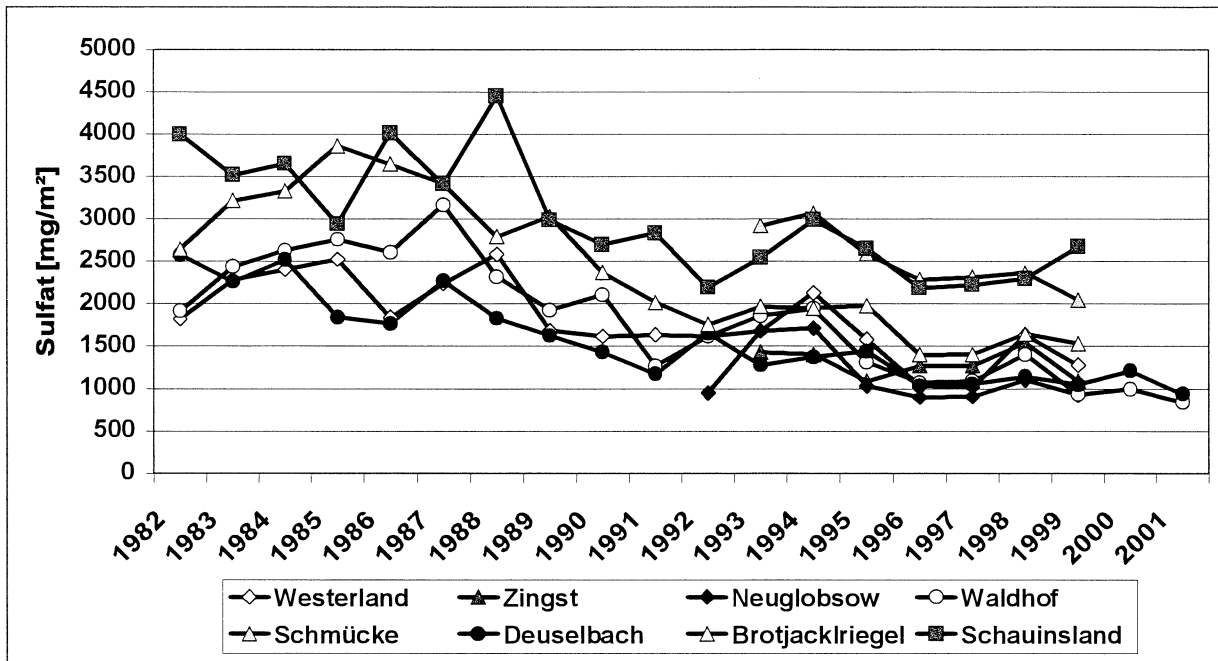


Abbildung 49: Jährliche Depositionen von  $\text{SO}_4^{2-}$  (seesalzkorrigiert) an den Messstellen des UBA zwischen 1982 bis 2001 (daily-bulk-Messungen).

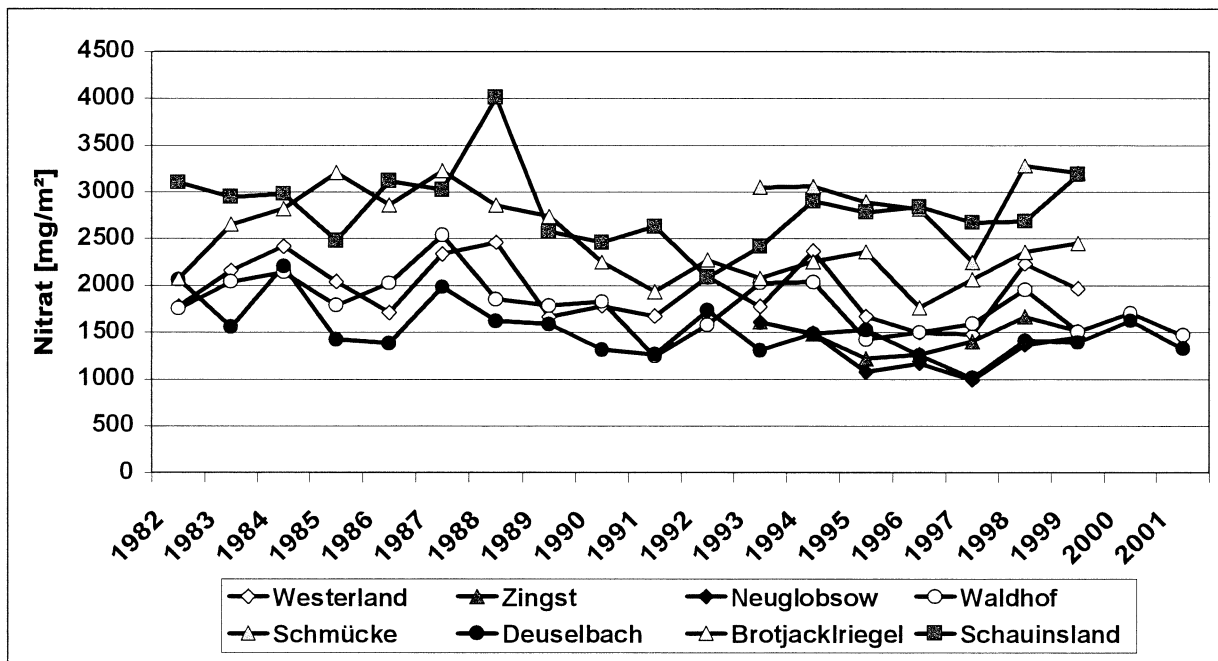


Abbildung 50: Jährliche Depositionen von  $\text{NO}_3^-$  an den Messstellen des UBA zwischen 1982 bis 2001 (daily-bulk-Messungen).

Tabelle 61: Mittlere monatliche Depositionen im Niederschlag für 2001, Waldhof und Deuselbach, (daily-bulk-Messungen).

Zeit- raum	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/m <sup>2</sup>	Na <sup>+</sup> mg/m <sup>2</sup>	K <sup>+</sup> mg/m <sup>2</sup>	Ca <sup>++</sup> mg/m <sup>2</sup>	Mg <sup>++</sup> mg/m <sup>2</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mg/m <sup>2</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/m <sup>2</sup>	Cl <sup>-</sup> mg/m <sup>2</sup>	H <sup>+</sup> mg/m <sup>2</sup>	Regen l/m <sup>2</sup>
<b>WALDHOF</b>										
Jan.	37.2	63.0	5.9	26.7	6.0	80.8	123.1	124.3	0.23	39.5
Feb.	39.8	69.7	6.7	28.2	9.7	93.7	157.2	129.3	0.42	40.3
Mär.	70.7	54.8	9.1	42.7	14.0	164.0	228.1	105.8	0.55	79.5
Apr.	45.5	4.8	5.9	35.7	4.1	97.4	166.3	10.1	0.13	26.6
Mai	31.3	5.6	5.1	15.7	3.2	50.7	100.0	13.2	0.06	17.5
Jun.	29.3	5.8	10.6	24.8	4.2	74.4	97.5	10.6	0.09	32.4
Jul.	87.0	10.4	9.7	47.5	8.5	179.8	291.8	25.9	1.77	99.3
Aug.	55.9	9.4	9.0	25.2	6.2	110.9	203.2	19.7	1.22	63.3
Sep.	35.9	6.5	2.2	22.8	3.7	72.1	128.3	13.1	0.62	33.5
Okt.	24.6	6.5	4.4	18.2	4.8	53.9	78.5	18.3	0.15	25.5
Nov.	10.9	6.1	1.9	21.4	5.0	38.4	55.2	13.4	0.04	21.3
Dez.	19.8	31.1	2.2	19.8	5.7	47.3	74.3	61.1	0.49	30.4
<b>DEUSELBACH</b>										
Jan.	14.0	28.8	3.8	14.6	5.3	68.4	83.9	52.8	1.09	77.2
Feb.	21.1	9.9	2.3	12.0	2.6	53.7	103.8	18.4	0.83	48.0
Mär.	49.6	32.1	5.4	23.4	6.4	107.6	165.2	55.5	0.95	118.0
Apr.	51.6	24.5	7.3	18.8	5.5	109.7	134.5	42.5	0.68	78.0
Mai	3.0	0.6	0.5	2.6	0.4	8.4	9.4	1.9	0.04	6.6
Jun.	96.9	18.6	7.3	42.4	6.3	209.8	261.0	32.2	1.05	112.3
Jul.	42.8	18.1	5.6	95.7	6.5	129.9	131.3	32.7	0.98	88.1
Aug.	22.7	5.7	2.1	16.9	2.8	49.4	73.8	9.5	0.23	50.2
Sep.	36.8	31.4	3.4	14.5	5.0	97.9	136.5	56.2	1.21	96.5
Okt.	14.2	7.7	2.8	21.4	2.5	53.9	56.6	13.6	0.37	43.5
Nov.	22.7	23.0	3.1	13.0	4.1	73.8	120.2	39.0	1.38	77.0
Dez.	9.5	10.5	1.7	5.4	1.9	27.8	49.9	18.2	0.39	28.5

Tabelle 62: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima, und -minima, Jahresmittel der Depositionen im Niederschlag sowie Summen der Niederschlagsmenge in Waldhof für 1982 bis 2001 (daily-bulk).

Zeit- raum	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/m <sup>2</sup>	Na <sup>+</sup> mg/m <sup>2</sup>	K <sup>+</sup> mg/m <sup>2</sup>	Ca <sup>++</sup> mg/m <sup>2</sup>	Mg <sup>++</sup> mg/m <sup>2</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mg/m <sup>2</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/m <sup>2</sup>	Cl <sup>-</sup> mg/m <sup>2</sup>	H <sup>+</sup> mg/m <sup>2</sup>	Regen l/m <sup>2</sup>
Größte Monatswerte										
82-01	-	-	-	-	-	667	549	451.2	11.68	151.4
84-01	151.9	240.8	26.4	72.8	31.9	667	426	451.2	8.87	151.4
Kleinste Monatswerte										
82-01	-	-	-	-	-	22	27	2.7	0.02	0.8
84-01	3.2	0.8	0.6	3.4	0.5	22	31	2.7	0.02	0.8
Mittlerer Jahresgang 1984-2001										
Jan.	35.4	84.7	7.9	23.8	12.3	159	150	163.6	1.34	47.7
Feb.	34.1	72.3	6.1	21.9	9.9	126	120	136.2	1.08	39.8
Mär.	58.2	42.2	7.4	25.3	8.5	164	178	88.4	1.19	43.2
Apr.	69.5	18.8	8.3	25.4	5.1	166	181	38.8	0.95	34.1
Mai	87.5	12.0	12.5	39.0	5.9	280	242	28.4	2.15	45.7
Jun.	62.5	15.2	7.7	30.2	6.0	216	199	34.9	2.16	54.7
Jul.	77.3	13.7	9.0	36.9	5.9	247	238	31.2	2.39	67.7
Aug.	73.6	18.7	12.1	37.5	6.3	222	205	40.3	1.87	56.6
Sep.	57.6	39.3	8.1	28.1	7.6	212	198	78.9	1.89	54.7
Okt.	41.8	30.5	7.3	29.2	7.0	150	156	60.3	1.17	43.5
Nov.	37.5	36.9	6.9	25.0	8.7	139	140	75.3	1.21	46.0
Dez.	34.1	40.2	6.9	22.9	7.4	145	143	81.9	1.43	51.7
Jahreswerte										
1982	-	-	-	-	-	2000	1755	605.3	38.17	494.1
1983	-	-	-	-	-	2526	2042	692.7	32.96	627.5
1984	616.0	395.2	82.8	288.8	69.1	2733	2142	792.7	33.82	670.5
1985	660.5	378.0	110.2	258.8	57.1	2860	1789	833.3	35.71	545.1
1986	623.8	340.0	95.5	252.7	60.9	2689	2026	712.3	32.77	629.3
1987	826.5	296.8	95.9	385.7	59.6	3237	2537	667.0	38.70	678.0
1988	568.6	280.7	75.2	322.9	65.3	2386	1852	618.6	27.66	562.3
1989	558.1	239.5	74.5	298.4	63.0	1984	1785	529.7	21.97	443.6
1990	630.1	450.8	115.5	351.8	103.7	2220	1828	928.8	19.08	587.6
1991	394.5	250.4	101.7	257.2	62.7	1284	1244	506.6	14.58	454.5
1992	508.7	294.6	84.9	283.2	74.8	1688	1581	617.6	17.35	546.0
1993	607.8	328.2	96.1	334.1	77.8	1938	2029	676.6	20.69	652.7
1994	608.7	494.2	94.4	369.3	91.2	2067	2038	988.0	21.75	706.9
1995	492.7	390.3	64.8	238.0	80.1	1408	1422	802.6	13.31	531.8
1996	471.9	114.4	47.4	183.4	41.3	1098	1500	255.2	8.13	487.8
1997	511.3	253.3	71.3	257.9	77.5	1311	1591	509.6	7.95	584.7
1998	623.5	332.9	90.4	390.8	102.1	1483	1955	641.8	6.43	772.4
1999	442.6	426.5	53.1	312.9	96.9	1038	1506	826.2	2.56	506.0
2000	487.9	273.8	72.7	328.9	75.1	1063	1703	544.8	5.75	509.1
2001	500.9	270.1	47.1	131.7	43.4	907	1470	471.1	10.80	670.3



Tabelle 63: Mittlere Jahressgänge, Monatsmaxima, und -minima, Jahresmittel der Depositionen im Niederschlag sowie Summen der Niederschlagsmenge in Deuselbach für 1982 bis 2001 (daily-bulk).

Zeit- raum	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/m <sup>2</sup>	Na <sup>+</sup> mg/m <sup>2</sup>	K <sup>+</sup> mg/m <sup>2</sup>	Ca <sup>++</sup> mg/m <sup>2</sup>	Mg <sup>++</sup> mg/m <sup>2</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mg/m <sup>2</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/m <sup>2</sup>	Cl <sup>-</sup> mg/m <sup>2</sup>	H <sup>+</sup> mg/m <sup>2</sup>	Regen l/m <sup>2</sup>
<b>Größte Monatswerte</b>										
82-01	-	-	-	-	-	721	645	265.7	13.56	197.7
84-01	155.1	155.1	23.5	95.7	16.9	721	645	265.7	13.56	197.7
<b>Kleinste Monatswerte</b>										
82-01	-	-	-	-	-	6	8	1.2	0.03	3.6
84-01	0.1	0.1	0.1	1.8	0.2	6	8	1.2	0.03	3.6
<b>Mittlerer Jahressgang 1984-2001</b>										
Jan.	18.7	57.2	6.4	19.5	8.5	113	88	114.1	1.08	58.9
Feb.	26.7	39.6	6.5	19.2	5.9	106	100	75.2	1.14	49.6
Mär.	53.5	24.4	6.0	23.0	5.2	153	162	56.7	1.19	58.8
Apr.	50.7	14.3	5.6	23.4	4.5	175	186	37.0	1.64	48.6
Mai	73.9	11.8	9.4	27.7	4.6	259	259	26.3	2.37	56.2
Jun.	49.9	10.5	7.0	30.6	4.5	215	202	26.3	2.31	67.2
Jul.	51.5	10.3	6.6	32.8	4.0	199	173	26.5	1.90	69.0
Aug.	41.0	11.1	6.7	21.9	3.2	128	127	22.1	1.09	51.7
Sep.	42.8	17.0	6.3	28.9	4.3	165	177	41.1	1.81	74.3
Okt.	23.8	26.5	6.1	23.0	4.9	120	110	51.3	1.20	68.8
Nov.	24.1	26.5	4.3	18.1	4.9	105	111	54.6	1.39	59.6
Dez.	19.1	42.5	5.2	19.0	6.6	106	105	82.6	1.13	62.8
<b>Jahreswerte</b>										
1982	-	-	-	-	-	2654	2065	565.3	49.54	704.6
1983	-	-	-	-	-	2328	1557	441.2	39.80	657.6
1984	574.2	243.7	111.2	263.9	43.7	2581	2208	551.9	43.72	789.0
1985	427.7	233.7	77.6	214.8	37.9	1907	1424	535.6	24.74	572.1
1986	412.3	292.9	59.7	170.9	47.1	1843	1383	645.6	26.65	695.7
1987	600.8	225.7	80.5	230.7	41.2	2327	1985	493.5	32.01	923.4
1988	475.0	392.0	76.0	202.8	63.2	1925	1622	817.8	21.08	752.1
1989	447.9	207.8	74.5	217.7	42.8	1675	1589	412.8	21.63	625.7
1990	408.9	333.4	131.6	200.6	55.4	1510	1315	560.9	15.84	691.3
1991	334.4	245.8	63.1	203.6	49.0	1232	1263	412.0	14.23	506.4
1992	449.5	218.0	65.5	371.6	51.7	1708	1735	427.7	18.78	780.6
1993	336.4	245.4	58.2	308.2	51.9	1320	1309	464.6	11.70	716.0
1994	457.7	212.0	39.3	289.4	51.6	1425	1486	469.9	13.65	668.8
1995	478.3	260.0	48.2	292.3	57.8	1503	1524	494.6	15.79	885.7
1996	360.5	142.5	43.9	194.9	40.8	1070	1255	302.7	11.40	531.7
1997	404.5	178.1	42.3	188.1	42.3	1056	1012	1264.6	10.33	670.2
1998	397.6	252.0	50.4	283.6	61.8	1204	1410	501.0	13.42	760.1
1999	361.7	193.7	39.7	255.7	59.6	1093	1392	385.9	10.32	733.9
2000	474.2	272.1	51.0	233.6	54.7	1279	1623	526.1	14.11	933.6
2001	384.9	210.9	45.3	280.8	49.2	990	1326	372.4	9.21	823.9

## 2.2.3 Weekly wet-only-Messungen

In Tabelle 64 sind die Jahresmittel der Konzentrationen im Niederschlag für die weekly wet-only-Messstellen für 2001 und in Tabelle 65 sind die jeweiligen Depositionen für den gleichen Zeitraum dargestellt.

Ein Vergleich der daily-bulk-Messungen mit den weeklywet-only-Messungen für die 8 personell besetzten Messstellen des UBA, an denen zwischen 1994/95 bis 1999 Parallelmessungen durchgeführt wurden, zeigte, dass sowohl die Niederschlagsmengen als auch die Hauptionen wie  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{NH}_4^+$  sowie die Leitfähigkeit eine gute Übereinstimmung beim Median und nur eine geringe Streuung zeigen. Für  $\text{H}^+$  sind die Messergebnisse bei weekly-wet-only (vgl. Abbildung 51 mit Abbildung 41 bzw. Tabelle 59 und Tabelle 60 mit Tabelle 64) niedriger – d.h. die pH-Werte höher. Die Werte weisen auch eine größere Streuung auf. Vergleiche bei  $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$  zeigen eine gute Übereinstimmung aber eine große Streuung, bei  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  und  $\text{K}^+$  sind die Abweichungen und die Streuungen z.T. recht erheblich. Insgesamt zeigen die Werte der daily-bulk-Messungen eine Tendenz zu höheren Werten. Für diese vergleichenden Berechnungen wurden aus den daily-bulk-Werten gewichtete Wochenmittel berechnet, so dass sie mit den Ergebnissen der weekly wet-only-Messungen verglichen werden konnten (*Ref. 13, sowie neuere Auswertungen 1999*).

In Abbildung 51 sind die Jahresmittel des pH-Wertes im Niederschlag für die Jahre 1994 bis 2001 an einigen wet-only-Standorten in ihrer räumlichen Verteilung in Deutschland dargestellt. Wie auch bei den daily-bulk-Messungen ist an allen Stationen ein Anstieg des pH-Wertes zu finden. Abbildung 52 zeigt den an allen Stationen abfallenden Trend der Jahresmittel der Sulfatkonzentrationen im Niederschlag zwischen 1994 und 2001. Abbildung 53 zeigt die räumliche und zeitliche Verteilung der Ammoniumkonzentrationen im Niederschlag. In Abbildung 54 ist die nasse Gesamt-Stickstoffdeposition für 1994 bis 2001 an diesen Standorten dargestellt. Weder bei den Ammoniumkonzentrationen noch bei der Stickstoffdeposition lässt sich ein klarer Trend erkennen.

Das wet-only-Messnetz hat einige Probenahmestellen, die nicht zu den Standorten des UBA-Messnetz gehören. Die geographischen Koordinaten, Stationskennung und Messbeginn lauten wie folgt:

Stationsname	Stations-Kennung	geographische Koordinaten		Höhe ü NN in m	Messbeginn
		Nord	Ost		
<b>Dunum</b>	DU	53°28'28"	07°35'15"	3	Apr 98
<b>Solling</b>	SG	51°45'39"	09°34'46"	500	Jan 94
<b>Hilchenbach</b>	HI	50°55'54"	08°11'36"	635	Jan 95
<b>Kehl</b>	KL	48°34'31"	07°49'15"	135	Jan 98

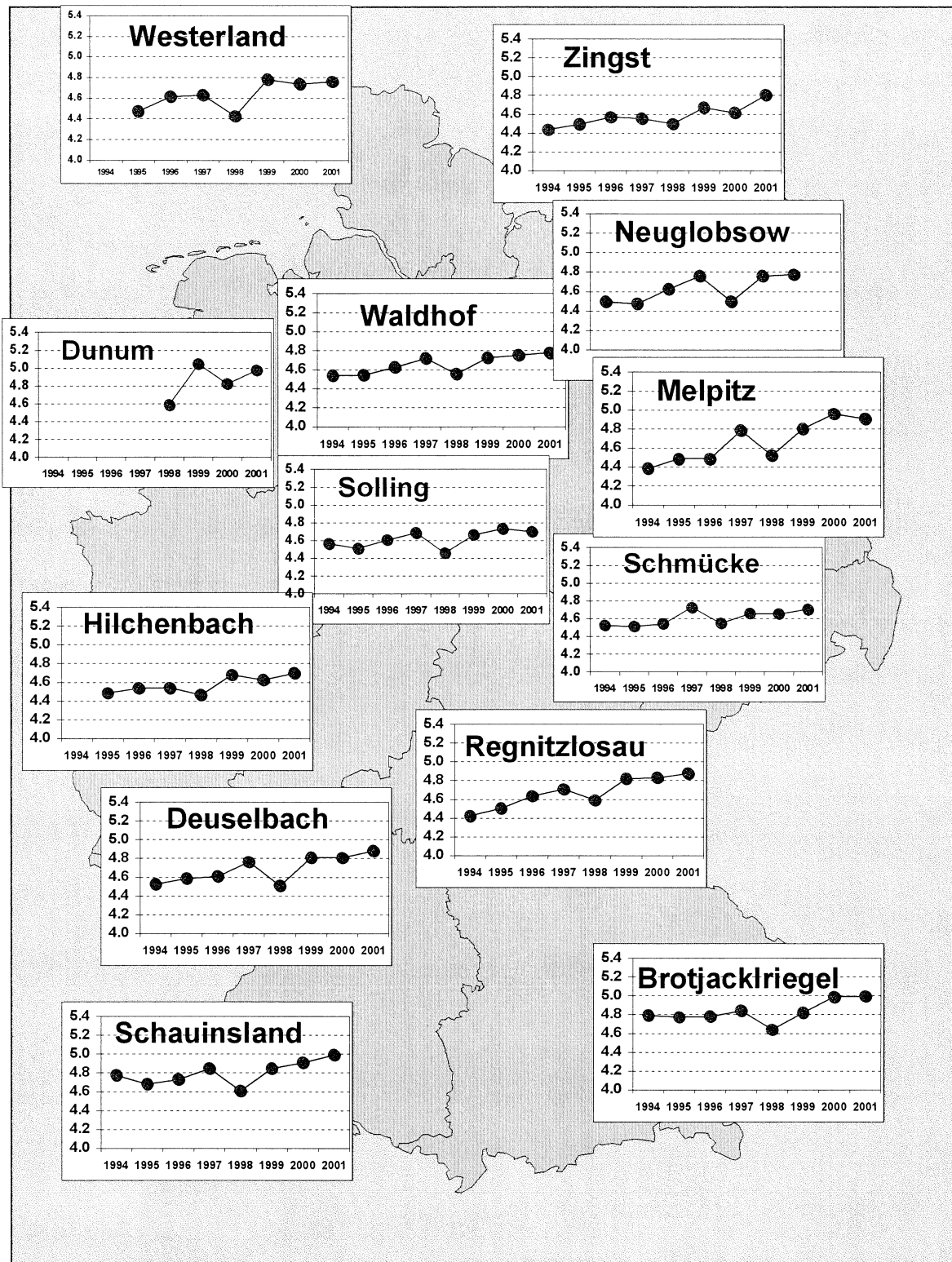


Abbildung 51: Jahresmittel pH-Wert im Niederschlag 1994 bis 2001, wet-only-Messungen

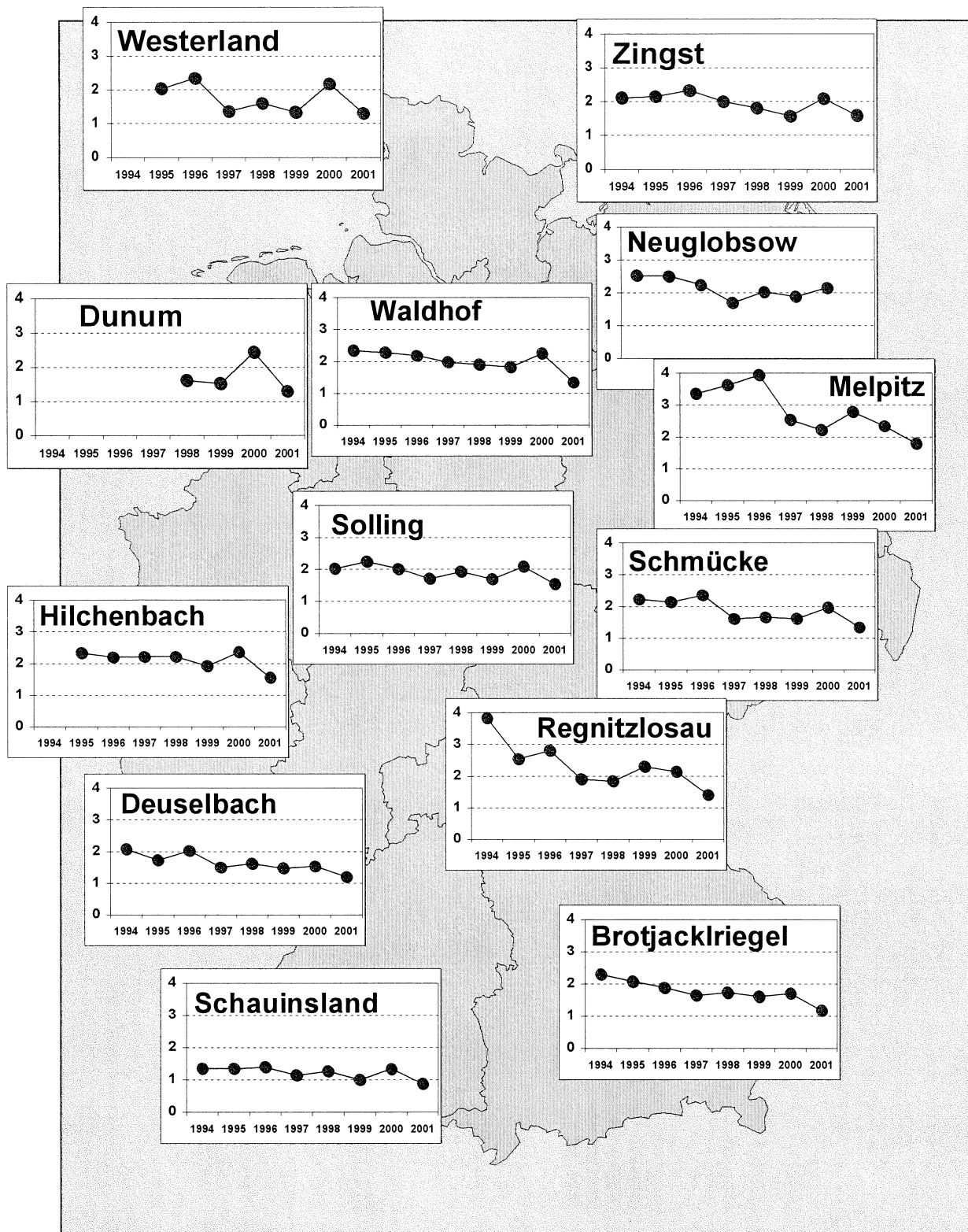


Abbildung 52: Jahresmittel Sulfat im Niederschlag 1994 bis 2001 in mg/l, wet-only-Messungen, seesalzkorrigiert

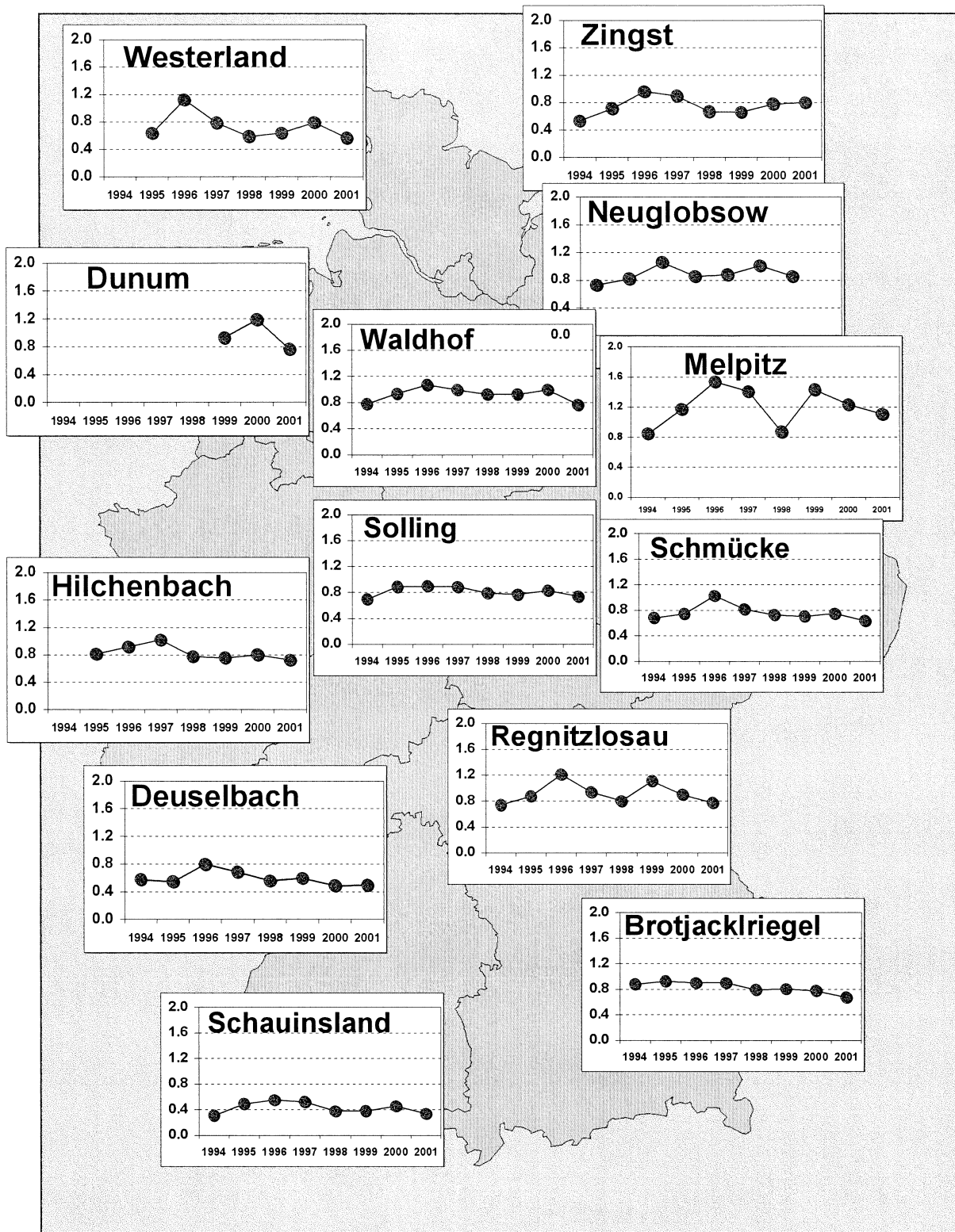


Abbildung 53: Jahresmittel Ammonium im Niederschlag 1994 bis 2001 in mg/l, wet-only-Messungen

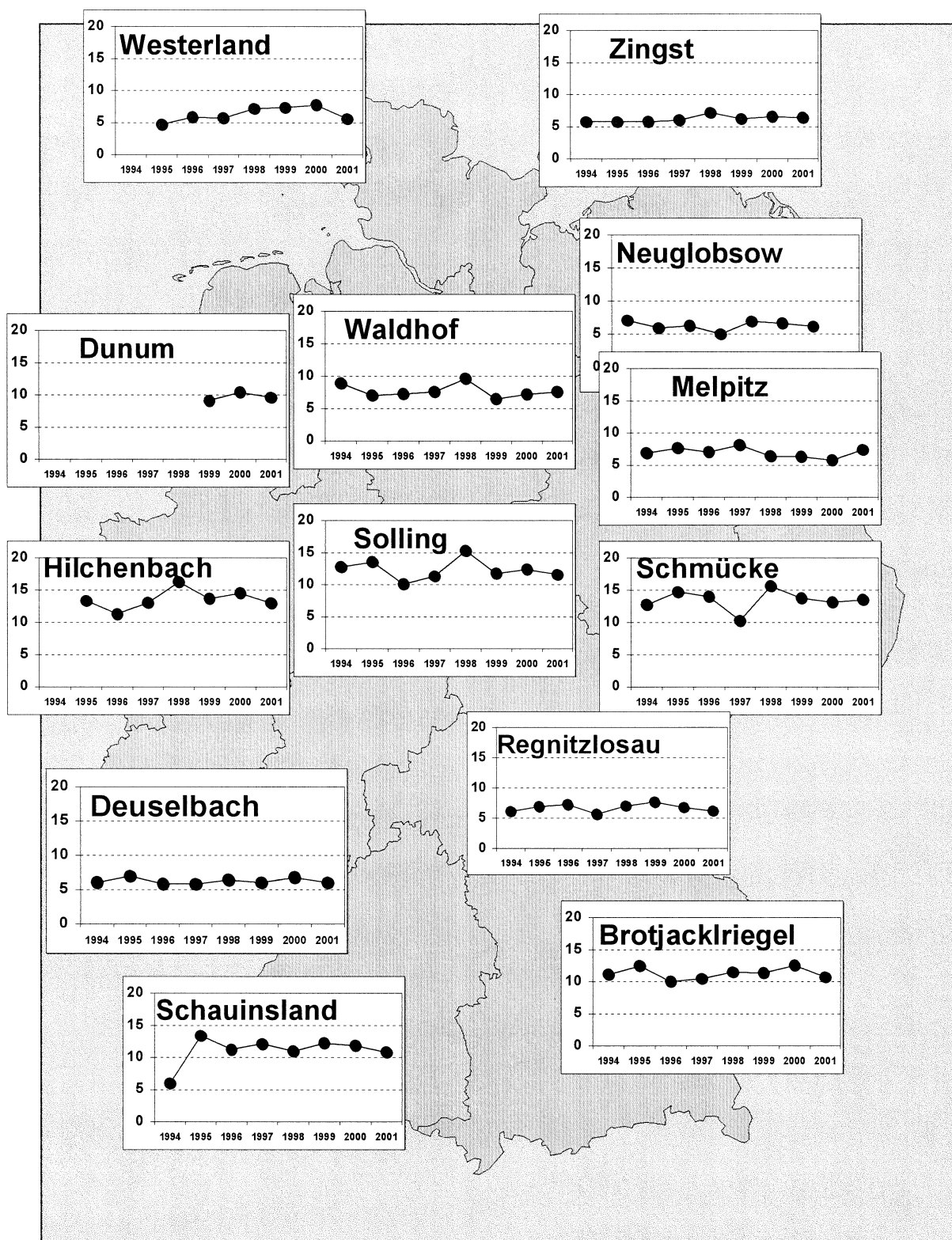


Abbildung 54: Jahresmittel der Stickstoff-Deposition aus dem Niederschlag, 1994 bis 2001 in kg/ha, wet-only-Messungen



Tabelle 64: Jahresmittel der Konzentrationen im Niederschlag für 2001, weekly wet-only-Messnetz.  $\text{XSO}_4^-$  = seesalzkorrigiertes Sulfat

Stat.	Regen [mm]	pH-Wert	Leitf. [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	$\text{NH}_4^+$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]	$\text{Na}^+$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]	$\text{K}^+$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]	$\text{Ca}^{++}$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]	$\text{Mg}^{++}$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]	$\text{SO}_4^-$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]	$\text{XSO}_4^-$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]	$\text{NO}_3^-$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]	$\text{Cl}^-$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]
BR	1115.8	5.00	11.01	0.67	0.13	0.05	0.27	0.04	1.20	1.17	1.93	0.19
DE	837.8	4.88	11.93	0.49	0.26	0.05	0.19	0.05	1.26	1.20	1.47	0.45
DU	913.7	4.98	28.98	0.76	2.90	0.16	0.28	0.38	2.02	1.30	2.02	5.13
FA	416.9	4.77	20.70	1.61	0.25	0.21	0.26	0.08	2.09	2.03	2.93	0.44
HI	1262.9	4.70	16.33	0.72	0.45	0.06	0.16	0.07	1.66	1.55	2.08	0.74
KL	892.6	4.91	11.35	0.50	0.21	0.07	0.38	0.04	1.35	1.30	1.47	0.36
LM	900.7	4.80	15.92	1.06	0.24	0.12	0.24	0.05	1.76	1.70	2.37	0.39
MP	517.3	4.91	17.23	1.11	0.38	0.22	0.38	0.06	1.89	1.79	2.51	0.54
NG	520.2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
RE	563.3	4.88	13.46	0.77	0.18	0.05	0.28	0.04	1.45	1.40	2.23	0.31
SC	2213.9	4.99	8.15	0.34	0.17	0.04	0.13	0.03	0.92	0.87	1.00	0.22
SG	1097.9	4.70	16.40	0.74	0.44	0.09	0.16	0.07	1.65	1.54	2.13	0.75
SM	1409.0	4.70	14.26	0.63	0.22	0.05	0.18	0.03	1.39	1.34	2.07	0.34
WA	714.6	4.78	15.44	0.77	0.43	0.05	0.17	0.07	1.44	1.34	2.08	0.76
WE	636.7	4.76	38.50	0.57	4.52	0.18	0.30	0.57	2.43	1.30	1.93	7.82
ZG	543.7	4.81	18.52	0.80	0.88	0.08	0.34	0.14	1.83	1.61	2.46	1.50

\* kein Wert wegen lokaler Beeinflussung

Tabelle 65: Jahresmittel der Depositionen im Niederschlag für 2001, weekly wet-only-Messnetz.  $\text{XSO}_4^-$  = seesalzkorrigiertes Sulfat

Stat.	Regen [mm]	$\text{H}^+$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]	$\text{NH}_4^+$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]	$\text{Na}^+$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]	$\text{K}^+$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]	$\text{Ca}^{++}$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]	$\text{Mg}^{++}$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]	$\text{SO}_4^-$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]	$\text{XSO}_4^-$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]	$\text{NO}_3^-$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]	$\text{Cl}^-$ [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]
BR	1115.8	11.28	749.0	146.1	60.6	304.9	42.0	1340.4	1303.5	2153.6	208.1
DE	837.8	11.05	413.5	214.8	39.6	157.8	45.6	1058.8	1004.9	1231.6	373.1
DU	913.7	9.62	697.6	2650.6	145.2	252.9	342.7	1848.5	1183.3	1848.5	4689.7
FA	416.9	7.13	671.37	102.5	89.39	109.7	32.66	869.0	844.5	1220.6	185.0
HI	1262.9	25.26	911.5	565.3	79.7	195.5	90.7	2099.8	1956.1	2626.3	928.6
KL	892.6	11.06	445.0	184.1	63.3	340.0	34.5	1208.1	1161.0	1308.4	318.7
LM	900.7	14.34	957.5	214.8	109.3	215.9	47.3	1584.7	1529.3	2132.8	347.9
MP	517.3	6.39	572.3	194.0	111.87	195.9	31.4	975.2	927.0	1300.7	278.2
NG	520.2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
RE	563.3	7.51	433.6	99.2	28.2	158.4	20.6	815.2	791.0	1255.7	174.1
SC	2213.9	22.63	745.8	368.4	85.3	291.6	63.2	2025.5	1929.4	2218.1	482.8
SG	1097.9	21.98	810.5	485.3	94.2	175.9	77.2	1812.4	1690.9	2335.9	821.2
SM	1409.0	27.92	894.0	308.8	67.5	254.0	46.6	1964.0	1885.7	2916.6	476.3
WA	714.6	11.94	547.0	305.1	32.0	123.6	49.7	1032.1	955.9	1483.2	545.1
WE	636.7	11.08	360.2	2876.6	111.4	191.4	364.7	1549.1	826.7	1226.5	4981.5
ZG	543.7	8.53	437.4	475.9	44.0	186.9	74.1	993.5	874.8	1336.5	816.4

\* kein Wert wegen lokaler Beeinflussung

## 2.3 Meteorologischer Überblick 2001

Im Jahre 2001 entsprachen die Jahresmittel der Lufttemperaturen jenen Werten, die in dem Zeitraum seit 1982 (siehe Tabelle 69) am häufigsten vorkamen. So wurden z.B. in Westerland, Waldhof und Deuselbach Jahreswerte von 9 °C, auf den Bergstationen Brotjacklriegel und Schauinsland von 6 °C gemessen. Während die Monatsmittel der Lufttemperatur nur unbedeutend von den langjährigen Mitteln abwichen, traten deutlich niedrigere Temperaturen im September witterungsbedingt auf – besonders im süddeutschen Raum. Frostperioden in Verbindung mit niedrigen Mischungsschichthöhen, die zu erhöhter Schadstoffbelastung führten, traten zeitweise in den Monaten Januar bis einschließlich April sowie im November und Dezember auf, wobei im Dezember der strengste Frost zu beobachten war (siehe Tabelle 68). Frostverschärfend wirkte sich dabei einerseits das Vorhandensein von Schneedecken aus, die sich in den Wintermonaten mehrmals auch im Flachland gebildet hatten. Andererseits sanken die Temperaturen gerade in den klaren Nächten sehr stark, was wiederum die Bildung kräftiger Bodeninversionen zur Folge hatte. In diesen Fällen kam der Vertikalaustausch völlig zum Erliegen. Unter dem Einfluss von Hochdruckwetterlagen über Mitteleuropa, Südwest- und Südostlagen waren vor allem im Januar die höchsten Monatsmittel registriert worden, und zwar in erster Linie bei Schwefeldioxid und Staub. Wegen den vorherrschenden Nordwestlagen im November kamen dagegen aufgrund guten horizontalen und vertikalen Luftaustausches im Vergleich zu den anderen Wintermonaten keine hohen Monatsmittel bei SO<sub>2</sub> bzw. Staub zustande. Bei Stickstoffdioxid wirkte sich der Witterungseffekt nicht so deutlich aus, so dass an einigen Stationen ähnlich hohe Monatsmittel wie in den übrigen Wintermonaten auftraten. Wegen der besseren Durchmischungsverhältnisse im Sommerhalbjahr blieben die Konzentrationen der drei erwähnten Luftschadstoffe naturgemäß darunter.

Sonnige Tage mit sommerlichen Temperaturen, die eine deutliche Zunahme der Ozonkonzentrationen zur Folge hatten, gab es im April und Mai. Die wärmsten Perioden (hochsommerlich) traten im Juni örtlich, im Juli und August weiträumig auf (siehe Tabelle 67). In allen drei Monaten stiegen dabei die Ozonkonzentrationen teilweise weit über den Konzentrationswert (180 µg/m<sup>3</sup>), ab dem die Öffentlichkeit informiert wird, an (siehe Kap. 3.2). Die Sommermonate waren charakterisiert durch ein häufiges Wechseln der Wetterlagen, so dass keine Smogepisoden von längerer Dauer entstehen konnten. Während im Juni deutlich mehr trübe Tage (Tagesmittel der Bewölkung >80%) als heitere Tage (<20%) auftraten, fiel in den anderen Sommermonaten das Verhältnis ausgeglichener aus.

Die Abbildung 55 spiegelt den mittleren Jahresgang der Temperatur an einer Küstenstation (Westerland), an einer im norddeutschen Binnentiefland gelegenen Station (Waldhof), an einer im Mittelgebirgsraum befindlichen Station (Deuselbach) und an zwei im höheren Bergland gelegenen Bergstationen (Brotjacklriegel und Schauinsland) wider. An allen Stationen ist der Januar der kälteste Monat, der August der wärmste (Ausnahme Waldhof im Juli). Zu Jahresbeginn (Januar und Februar) ist es zunächst an der Küste am wärmsten. Im Frühjahr schreitet dann die Erwärmung im Binnenland am raschesten fort, so dass ab März bis Juli die Kurve der Binnenlandstationen über der der Küstenstation verläuft. Im Herbst kühlt das Binnenland schneller ab als das Küstengebiet und so kehren sich die Verhältnisse wieder um. Anhand des Kurvenverlaufes der beiden Bergstationen sind die Auswirkungen ihrer unterschiedlichen geographischen Lage zu erkennen. In den Wintermonaten (November bis Februar) ist es an der stärker vom Ozean beeinflussten Station Schauinsland wärmer und im Sommer kühler als an der stärker kontinental beeinflussten Station Brotjacklriegel. Der Höhenunterschied zwischen beiden Stationen von etwa 200 m spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle.



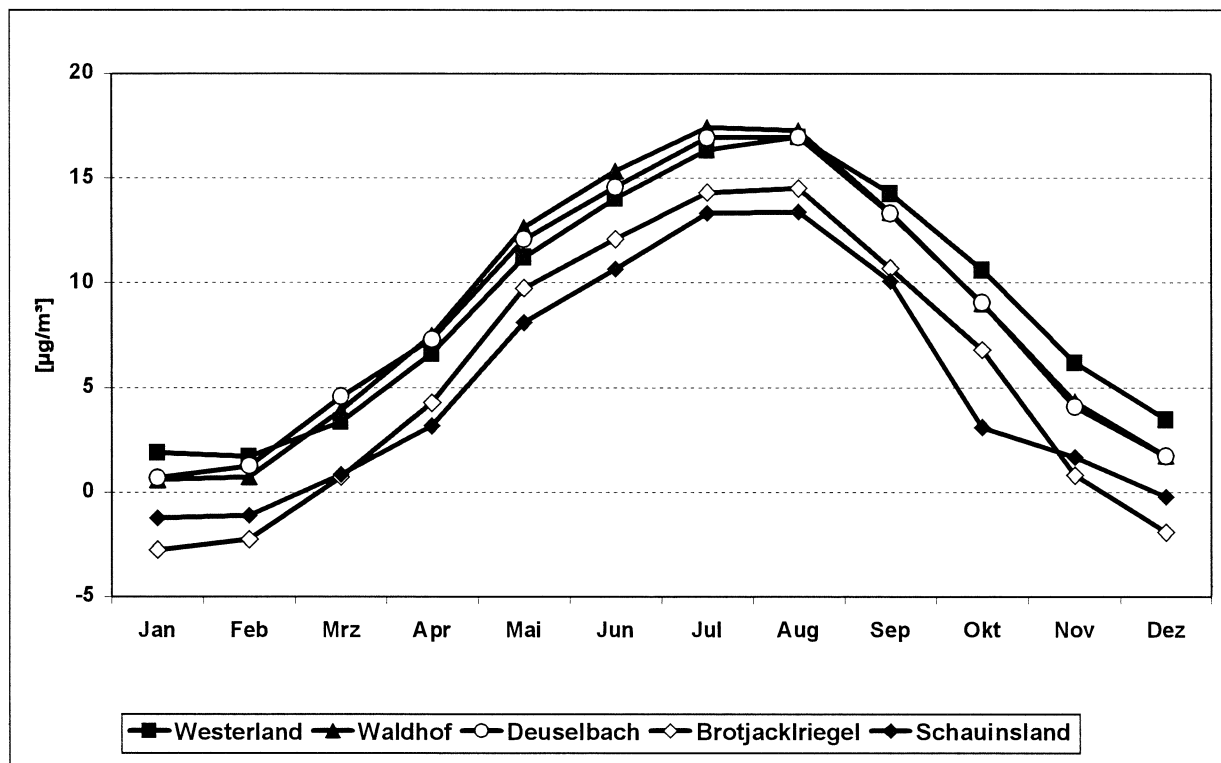


Abbildung 55: Mittlerer Jahresgang der Temperatur von 1974 bis 2001

Tabelle 66: Monats- und Jahresmittel der Temperatur für 2001 in °C

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	2	1	2	6	11	13	18	18	-	13	8	3	9
ZG	2	2	3	7	13	15	19	18	13	13	6	1	9
HG	3	2	2	6	10	13	17	18	14	14	9	4	9
AU	2	2	3	7	13	14	18	18	13	13	6	1	9
UE	1	2	3	8	14	15	20	19	13	12	5	0	9
NG	0	1	2	7	14	15	19	18	13	12	4	0	9
SH	0	1	2	7	14	14	19	19	13	12	4	0	9
BA	1	3	3	7	13	14	19	18	12	13	5	1	9
WA	0	2	3	8	14	14	19	19	12	12	5	0	9
GI	3	5	5	9	15	16	20	20	13	14	7	3	11
FA	1	2	3	8	15	15	20	20	13	13	4	0	10
MP	2	2	4	8	15	15	19	20	13	13	5	0	10
LF	0	2	3	7	14	14	18	19	11	12	5	-1	9
LM	-1	0	2	5	12	12	16	17	10	11	2	-3	7
LU	-2	-1	1	6	13	13	17	17	10	11	1	-4	7
SM	-3	-2	0	3	11	10	15	15	7	10	0	-4	5
RE	-2	1	3	-	-	13	17	18	10	12	2	-3	7
DE	2	3	5	6	14	14	18	18	11	13	4	0	9
AS	0	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	8	16	15	19	20	12	13	3	0	12
FB	-1	0	3	4	14	12	16	17	9	11	0	-4	7
BR	-2	0	2	4	13	11	16	16	8	11	-1	-4	6
RS	-	-	-	-	-	-	18	18	11	12	2	-1	-
SC	-1	-1	3	2	11	11	14	15	7	11	0	-4	6

Tabelle 67: Monatliche maximale Halbstundenwerte der Temperatur für 2001 in °C

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	8	7	9	17	21	25	29	30	-	20	13	9
ZG	7	13	13	17	23	25	30	33	21	21	13	8
HG	8	8	10	17	17	22	26	27	18	19	13	10
AU	9	12	12	20	25	27	30	33	20	22	13	8
UE	9	13	14	26	26	27	31	35	21	21	12	8
NG	8	12	13	26	28	28	33	34	24	21	12	7
SH	9	14	15	21	27	27	31	34	22	21	12	8
BA	10	13	13	21	26	29	30	34	20	23	13	11
WA	10	15	15	25	28	31	32	35	21	24	12	8
GI	13	15	15	23	26	29	33	35	23	24	14	13
FA	11	12	15	25	28	29	32	34	21	22	11	8
MP	12	14	16	24	28	29	32	34	21	24	11	8
LF	10	14	13	22	25	27	30	33	19	23	10	7
LM	9	13	14	22	25	26	27	31	20	24	10	5
LU	6	9	13	23	25	27	28	29	19	22	8	2
SM	5	10	11	18	22	26	26	29	16	20	8	6
RE	9	13	12	-	-	31	30	32	18	22	10	7
DE	9	12	14	20	24	28	30	32	20	25	15	10
AS	8	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	22	26	29	31	34	22	26	14	11
FB	11	13	15	21	22	27	28	28	18	22	10	7
BR	7	13	12	20	23	26	28	27	17	22	9	5
RS	-	-	-	-	-	-	33	31	22	26	14	10
SC	9	11	13	15	20	23	23	26	16	23	10	6

Tabelle 68: Monatliche minimale Halbstundenwerte der Temperatur für 2001 in °C

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	-4	-6	-5	0	6	8	12	13	-	8	1	-7
ZG	-4	-7	-7	-2	5	6	11	10	4	6	-3	-6
HG	-2	-5	-3	1	6	8	11	13	10	9	4	-3
AU	-7	-12	-12	-3	2	4	8	8	7	5	-5	-9
UE	-5	-12	-6	-2	4	5	11	9	7	1	-3	-10
NG	-8	-13	-8	-3	4	3	9	9	6	2	-5	-11
SH	-10	-14	-10	-3	2	1	6	6	6	4	-7	-13
BA	-8	-9	-5	-4	2	4	10	9	4	7	-4	-14
WA	-9	-14	-6	-3	1	0	7	5	1	3	-6	-12
GI	-8	-4	-2	-3	5	5	9	9	5	6	-4	-9
FA	-8	-12	-7	-1	4	5	9	9	6	5	-4	-12
MP	-9	-13	-7	-2	3	4	7	6	5	4	-4	-12
LF	-10	-9	-5	-3	3	5	9	8	2	5	-2	-12
LM	-9	-19	-10	-4	2	3	5	4	2	4	-5	-16
LU	-8	-13	-7	-4	4	5	8	7	5	4	-6	-16
SM	-10	-12	-9	-6	2	1	6	5	3	2	-7	-16
RE	-10	-13	-6	-	-	4	9	7	5	5	-5	-15
DE	-8	-9	-4	-5	4	5	9	8	5	5	-6	-12
AS	-9	-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	-	-	-	-3	5	6	10	7	3	5	-5	-17
FB	-9	-11	-5	-5	3	2	7	6	3	2	-7	-18
BR	-10	-10	-6	-7	3	1	8	7	3	3	-6	-19
RS	-	-	-	-	-	-	7	6	0	1	-5	-18
SC	-11	-11	-6	-7	2	0	6	7	1	3	-7	-18

Tabelle 69: Jahresmittel der Temperatur für 1982 bis 2001 in °C

Stat.	WE	ZG	HG	AU	HW	TE	UE	SW	NG	AN	SH	KY	BA	WA	WI	GI	LI	FA	DL
1982	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-
1984	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-
1985	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-
1986	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-
1987	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-
1988	10	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	9	9	-	10	-	-	-
1989	11	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	10	10	-	11	-	-	-
1990	10	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	10	10	-	11	-	-	-
1991	9	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	9	9	-	9	-	-	-
1992	10	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	9	10	-	11	-	-	-
1993	9	8	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	7	9	-	10	-	-	-
1994	10	9	8	-	9	-	-	-	12	-	-	-	8	10	9	10	-	-	-
1995	9	9	9	-	9	-	-	-	9	-	-	-	8	9	9	10	-	-	-
1996	7	7	7	-	7	7	8	7	7	7	-	-	7	7	7	6	7	-	7
1997	9	9	9	-	9	9	9	9	9	9	-	-	9	9	10	10	9	-	9
1998	9	9	9	-	-	11	9	-	9	10	-	-	9	9	10	10	12	-	12
1999	10	10	9	10	-	-	10	-	9	-	12	-	10	10	-	11	-	10	-
2000	10	10	-	10	-	-	10	-	10	-	10	-	10	10	-	12	-	10	-
2001	9	9	9	9	-	-	9	-	9	-	9	-	9	9	-	11	-	10	-
Stat.	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	AS	OE	BR	FB	RT	SC	MU	RS	ZU
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	7	-	-	6	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	6	-	-	6	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	5	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	5	-	-	5	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	6	-	-	5	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	5	-	-	5	-	-	-
1988	-	-	8	-	-	-	-	-	7	10	9	-	6	-	10	6	-	-	-
1989	-	-	9	11	-	-	-	-	8	10	9	-	6	-	10	7	-	-	-
1990	-	-	9	9	-	-	-	-	8	10	9	-	6	-	10	6	-	-	-
1991	-	-	9	6	-	-	8	-	5	9	8	-	5	-	9	6	-	-	-
1992	-	-	10	7	-	-	-	-	8	9	9	-	6	-	10	6	-	-	-
1993	11	-	9	6	-	-	-	-	7	8	8	-	5	-	10	6	-	-	-
1994	-	-	10	7	-	-	9	-	7	10	10	-	6	-	11	6	-	-	-
1995	-	-	7	6	-	-	5	-	7	9	9	-	5	-	10	6	6	-	-
1996	7	7	-	4	-	-	3	6	6	7	5	-	4	-	8	5	5	-	-5
1997	10	9	10	6	-	-	5	8	8	9	8	-	5	-	10	6	8	-	-4
1998	10	-	-	6	-	-	5	9	8	9	9	-	6	-	10	6	8	-	-4
1999	10	9	-	-	8	8	5	-	10	9	9	-	7	-	-	6	-	-	-3
2000	11	9	-	-	7	8	6	-	9	10	10	-	7	8	-	7	-	-	-
2001	10	9	-	-	7	7	5	-	7	9	-	12	6	7	-	6	-	-	-

## 2.4 Literatur zu Kapitel 2

- (1) UBA (1998)  
*Emissionen nach Emittentengruppen in der ehemaligen DDR/den neuen Ländern 1970 bis 1995, Strogies, Umweltbundesamt II 6.4, Februar 1998*
- (2) UBA (2000)  
*Emissionsdaten für Deutschland 1990 bis 1999, Strogies, Umweltbundesamt II 6.4, Dez. 2000*
- (3) Abraham, J. et al, (2000)  
*Common Report on Air Quality in the Black Triangle Region 2000, Jelenia Gora, Polen, 2001, pp 41-44*
- (4) Beilke S. und M. Wallasch (2000)  
*Die Ozonbelastung in Deutschland nach 1990 und Prognose der zukünftigen Entwicklung. Immissionsschutz 4, 5. Jahrgang. Dezember 2000, S. 149-155.*
- (5) UBA Jahresbericht 1999, Berlin 2000
- (6) Lutz, M. (2000)  
*Europäische Minderungsstrategie und Ozon-Tochterrichtlinie. Tagungsband: Symposium Troposphärisches Ozon, Braunschweig, 8.-10. Februar 2000, Schriftenreihe des KRdL im VDI und DIN, Band 32, S. 281-298*
- (7) EU (2000), EU-ENV/00/86, Brüssel
- (8) UBA (1999)  
*Staub- und Feinstaubemissionen in Deutschland, Strogies, Umweltbundeamt II 6.4*
- (9) Fricke, W. and S. Beilke (1993)  
*Changing concentrations and deposition of sulfur and nitrogen compounds in Central Europe between 1980 and 1992. In: Proceedings Joint Workshop CEC/BIATEX of EUROTRAC, Aveiro, Portugal, May 4-7 1993, pp. 9-30. CEC Air Pollution Research Report 47, Editors: J. Slanina, G. Angeletti and S. Beilke*
- (10) Müller, J. (1986)  
*Invariant properties of atmospheric aerosol. J. Aerosol Science, Vol. 17, No. 3, pp. 277-282*
- (11) Jahresbericht 1998 aus dem Messnetz des UBA, UBA Texte 66/99, Langen, Okt. 1999
- (12) Fricke et al. (1997)  
*Ergebnisse täglicher Niederschlagsanalysen in Deutschland von 1982 bis 1995, UBA-Texte, Berlin, 1997*
- (13) Wallasch, M., K. Uhse, E. Bieber and D. Kallweit (1997)  
*Precipitation analysis at German EMEP stations: Comparison between bulk and wet-only sampling. In: Proceddings EMEP-WMO Workshop on data analysis, validation and reporting, Usti nad Labem, Czech Republic, April 27-30, 1997, pp. 89-93. EMEP/CCC-Report 6/97, Editor: J. Schaug*
- (14) Uhse, K. (1997)  
*Influence of Periods without Rainfall on the Concentration Levels of Ions in Precipitation. In: Proceddings EMEP-WMO Workshop on data analysis, validation and reporting, Usti nad Labem, Czech Republic, April 27-30, 1997, pp. 89-93. EMEP/CCC-Report 6/97, Editor: J. Schaug*
- (15) Jahresbericht 1999 aus dem Messnetz des UBA, UBA Texte 58/00, S. 117-132, Langen, 12/2000

### 3. SPEZIELLE UMWELTPROBLEME

#### 3.1 Messungen von Feinstaub im Messnetz des Umweltbundesamtes

*S. Beilke, R. Berg, E. Bieber, K. Uhse und M. Wallasch*

##### 3.1.1 Einleitung

Atmosphärische Aerosolteilchen umfassen einen Partikelgrößenbereich zwischen einigen Nanometern ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) bis hin zu einigen hundert Mikrometern ( $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ). Dieser Gesamtstaub kann in Feinstaub und Grobstaub unterteilt werden. Ausgehend von der Erkenntnis, dass vor allem kleine Staubteilchen (Feinstaub) ein hohes Schädigungspotential im Hinblick auf die menschliche Gesundheit aufweisen (Ref.1), steht die Belastung durch Feinstaub mit der Partikelgröße  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2.5}$  (PM = Particulate Matter) in der Luft im Vordergrund nationaler und internationaler Luftreinhaltepolitik. Unter  $\text{PM}_{10}$  bzw.  $\text{PM}_{2.5}$  versteht man die Gesamtmasse aller Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als  $10 \mu\text{m}$  bzw.  $2.5 \mu\text{m}$  ist.

Neuere Erkenntnisse über die Feinstaub-Wirkungen deuten darauf hin, dass ultrafeine Partikel (Durchmesser  $< 100 \text{ nm} = 0.1 \mu\text{m}$ ), sog. Nanopartikel, als Schadstoffe aufzufassen sind, die weitgehend unabhängig vom sonstigen Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ) wirken (Ref. 1). Ein Teil der in Deutschland gemessenen Feinstaubmasse wird durch anthropogene und natürliche Quellen an der Erdoberfläche direkt in die Atmosphäre emittiert (sog. Primärpartikel, Radius  $> 0.1 \mu\text{m}$ ), ein anderer Teil wird im luftgetragenen Zustand aus Spurengasen wie z.B.  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ , VOC und  $\text{SO}_2$  gebildet (sog. Sekundärpartikel, Radius  $< 1 \mu\text{m}$ , Ref. 2).

Die wichtigsten direkten anthropogenen Feinstaubemissionen werden bei Verbrennungsprozessen aus stationären und mobilen Quellen (Industrie, Haushalte, Verkehr) erzeugt. Die wichtigsten direkten natürlichen Quellen sind die Ozeane (ein Teil des Seesalzaerosols ist Feinstaub), biogene Quellen (Sporen, Pollen, Bakterien, Viren), Emissionen aus Böden sowie Vulkane (von geringerer Bedeutung in Deutschland). Entgegen früheren Annahmen wird neben dem Grobstaub auch ein erheblicher Teil von Feinstaub mit Teilchenradien größer als  $0.1 \mu\text{m}$  hauptsächlich in Form löslicher mineralischer Substanzen aus Böden emittiert (Ref. 3).

Im luftgetragenen Zustand können Feinstaubpartikel (Sekundärpartikel) durch Reaktionen von Gasen in wolkenfreier Luft (sog. gas to particle conversion, (GPC)) sowie durch chemische Reaktionen in Wolken und anschließende Verdampfung der Wolkentröpfchen gebildet werden. Die GPC führt zur Neubildung von Partikeln (Cluster bestehend aus wenigen Molekülen) und/oder zur Anlagerung dieser Cluster bzw. der gasförmigen Reaktionsprodukte von  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ , VOC und  $\text{SO}_2$  an das schon existierende Aerosol hauptsächlich im Größenbereich zwischen  $0.1 - 1 \mu\text{m}$  Radius (größte Aerosoloberfläche). In der bodennahen Atmosphäre Mitteleuropas mit ihrem vergleichsweise hohen

Aerosolkonzentrationen lagern sich die Reaktionsprodukte dieser Spurengase in sehr kurzer Zeit überwiegend an das schon existierende Aerosol an, weshalb diese Reaktionsprodukte nur in unmittelbarer Nähe ihrer Quellen beobachtet werden können (siehe auch Kapitel 3.1.5 Herkunft des Feinstaubes). In der Regel ist die durch GPC-Prozesse neu gebildete Teilchenmasse gering, die Anzahl neu gebildeter Aerosolteilchen im Nanobereich aber erheblich (Abbildung 63 und Abbildung 64), wodurch die Anzahlverteilung der Aerosolteilchen in erheblichem Maße verändert werden kann (Ref. 4).

Das Verdampfen nichtregnender Wolken ist global der wichtigste Prozess für die Bildung von sekundärem Feinstaub und die Hauptquelle des natürlichen Aerosols mit Radien größer  $0.1 \mu\text{m}$ . In Deutschland ist der Beitrag dieses Prozesses sowie generell der Beitrag globaler außereuropäischer Aerosolquellen zum Feinstaubgehalt in Bodennähe wahrscheinlich vernachlässigbar gering, d.h. die Feinstaubbelastung an den UBA-Messstellen wird im Wesentlichen durch Emissionsquellen in Deutschland sowie in anderen europäischen Staaten verursacht.

Feinstaubteilchen werden durch trockene und nasse Deposition wieder aus der Atmosphäre entfernt. Die Wirksamkeit der verschiedenen Depositionsprozesse und damit auch die atmosphärische Aufenthaltsdauer dieser Partikel hängt stark von der Teilchengröße ab, wie dies beispielhaft in Abbildung 1 für ein Aerosol für zwei unterschiedliche Höhen (untere und obere Troposphäre) dargestellt ist (Ref. 5). Die Teilchengröße wird als sog. aerodynamischer Durchmesser angegeben. Der aerodynamische Durchmesser entspricht dem Durchmesser, den ein kugelförmiges Partikel mit der Dichte  $1 \text{ g/cm}^3$  haben müsste, damit es die gleiche Sinkgeschwindigkeit aufweisen würde wie ein Teilchen anderer Form und Dichte.

### Lebensdauer von Partikeln in der Troposphäre

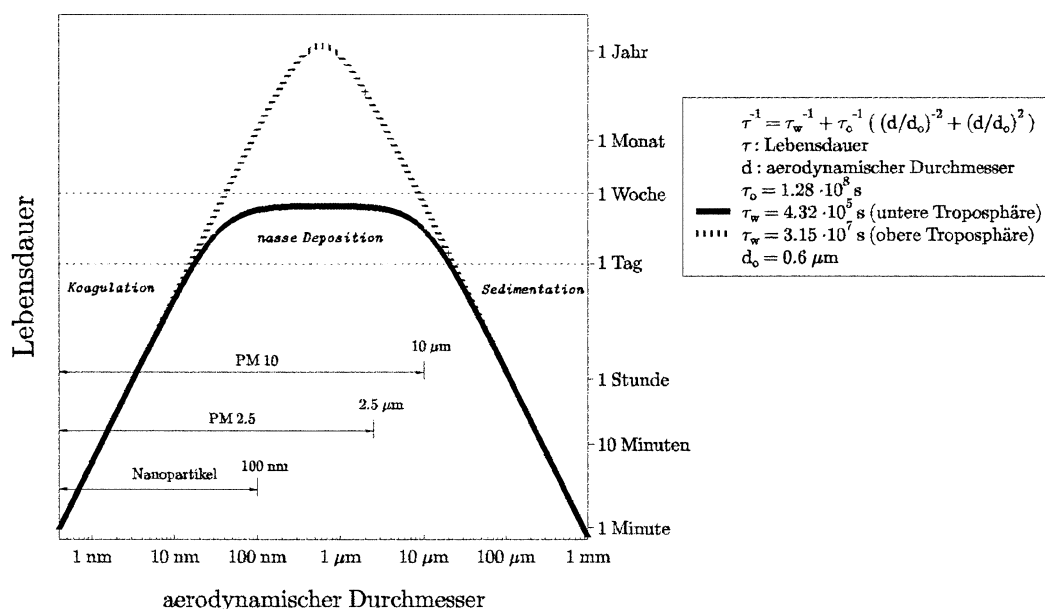


Abbildung 56: Lebensdauer von Partikeln in der Troposphäre in Abhängigkeit von der Partikelgröße (nach Jaenicke, Ref. 5)

Wie die Abbildung 56 zeigt, ist die atmosphärische Lebensdauer im Bereich sehr kleiner und sehr großer Teilchen kurz. Die sehr kleinen Teilchen können aufgrund ihrer hohen diffusiven

Eigenbeweglichkeit miteinander koagulieren, die sehr großen Partikel sedimentieren sehr rasch aufgrund der Erdanziehung. Beide Prozesse sind dagegen im dazwischen liegenden Größenbereich zwischen  $0.1 - 5 \mu\text{m}$  Partikeldurchmesser wenig wirkungsvoll. Die Beseitigung durch die Sedimentation spielt also für den Feinstaub nur eine untergeordnete Rolle.

Im Bereich der Partikelgrößen zwischen etwa  $0.1 - 5 \mu\text{m}$  Durchmesser liegt die Hauptmasse des Feinstaubes. In diesem Bereich, vor allem zwischen  $0.1$  und  $1 \mu\text{m}$ , ist die Deposition durch Niederschläge die wirkungsvollste Senke. Die Lebensdauer der Teilchen in diesem Größenbereich beträgt in der bodennahen Atmosphäre bis zu 10 Tagen. Das bedeutet, dass diese Partikel und damit auch die Hauptmasse des Feinstaubes für  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2.5}$  eine sehr stabile Komponente des atmosphärischen Aerosols darstellen. Der Feinstaub unterliegt damit in hohem Maße dem Ferntransport wie beispielsweise Episoden mit hohen Saharastaubkonzentration auf den Kanarischen Inseln und abgeschwächt auch in Deutschland und sogar auf karibischen Inseln eindrucksvoll gezeigt haben.

Die Abbildung zeigt weiter die ständige Anwesenheit sehr kleiner Teilchen (sog. Nanopartikel) mit Partikeldurchmessern kleiner als  $0.1 \mu\text{m}$  (entspricht  $100 \text{ nm}$ ) bis hin zu winzigen Teilchen mit Durchmessern von wenigen Nanometern. Die Existenz dieser sehr kurzlebigen winzigen Teilchen fernab von Städten und Ballungsgebieten (in Städten werden Nanopartikel durch Verbrennungsprozesse z.T. direkt in die Atmosphäre emittiert) ist nur möglich bei ständiger Produktion dieser Partikel aus Gasen wie beispielsweise  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  und VOC innerhalb der Atmosphäre.

Messungen von luftgetragenen Aerosolteilchen waren im Rahmen der Luftreinhaltung bis 1999 auf den Gesamtschwebstaub (TSP = total suspended particulate matter) bezogen. Aufgrund neuer epidemiologischer Untersuchungen (Ref. 6), die zeigen, dass insbesondere feinere Stäube mit gesundheitlichen Effekten korrelieren, wurden neue Definitionen und Grenzwerte für Schwebstaub eingeführt. Die in Europa am 22. April 1999 erlassene Richtlinie des europäischen Rates über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft (1999/30/EG) setzt neue Standards in Bezug auf luftgetragene  $\text{PM}_{10}$ -Partikel (Tabelle 70). Diese Tochterrichtlinie zur Luftqualitätsrahmenrichtlinie der EU (1999/30/EG) trat im Juli 1999 in Kraft. Sie wurde von den Mitgliedsstaaten im Juli 2001 in nationales Recht umgesetzt.

Tabelle 70: Anforderungen der 1.Tochterrichtlinie 1999/30/EG für Partikel ( $\text{PM}_{10}$ ) in der Luft (Ref. 1).

	Mittelungs- zeitraum	Grenzwert	Zeitpunkt, bis zu dem der Grenzwert zu erreichen ist
<b>Stufe 1</b> <b>24-Stundengrenzwert</b> für den Schutz der menschliche Gesundheit <b>Jahresgrenzwert</b> für den Schutz der menschliche Gesundheit	24 Stunden  Kalenderjahr	<b><math>50 \mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> $\text{PM}_{10}$ dürfen nicht öfter als 35 mal/Jahr überschritten werden <b><math>40 \mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> $\text{PM}_{10}$	  1. Januar 2005
<b>Stufe 2</b> <b>24-Stundengrenzwert</b> für den Schutz der menschliche Gesundheit <b>Jahresgrenzwert</b> für den Schutz der menschliche Gesundheit	24 Stunden  Kalenderjahr	<b><math>50 \mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> $\text{PM}_{10}$ dürfen nicht öfter als 7 mal/Jahr überschritten werden <b><math>20 \mu\text{g}/\text{m}^3</math></b> $\text{PM}_{10}$	  1 Januar 2010

### 3.1.2 Messungen von Feinstaub im Messnetz des UBA

#### 3.1.2.1 Grundlagen

Im UBA-Messnetz sowie in der UBA-Pilotstation werden folgende Staubmessungen durchgeführt (Tabelle 71):

Tabelle 71: Staubmessungen im Messnetz des UBA

Komponente	Sammel-Methode	Mess-Methode	Anzahl Stat.	Mess-intervall
Gesamtstaub/PM <sub>10</sub>	Kontinuierl. Ansaugung	Beta-Absorption	21	Halbstunde
Gesamtstaub/PM <sub>10</sub>	High-Volume Sampler	Gravimetrisch	8	Tag
PM <sub>2,5</sub>	High-Volume Sampler	Gravimetrisch	3	Tag
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> im Staub	Filterpack/Imprägnierte Fil.	Ionenchromatographie	5	Tag
HNO <sub>3</sub> +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> in Gas/Staub	Filterpack/Imprägnierte Fil.	Ionenchromatographie	5	Tag
NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> in Gas/Staub	Filterpack/Imprägnierte Fil.	Fließinjektionsanalyse	5	Tag
Schwermetalle im Staub	High-Volume Sampler	ICP/MS	8	Monat
Partikelgrößenverteilung von Nanopartikeln (8-250 nm Durchmesser)	Online-Sampler	SMPS	1	> 3 Minuten

Die Messung der Partikel erfolgt entweder durch Angabe der Masse oder durch die Bestimmung der Anzahl. Während die Partikelanzahl hauptsächlich von den ultrafeinen Nanopartikeln (< 100 nm Durchmesser) dominiert wird, wird die Partikelmasse durch die Teilchen oberhalb von 100 nm bestimmt. Im Messnetz des Umweltbundesamtes wurde bisher fast ausschließlich die Masse von Grob- und Feinstaub zusammen als TSP gemessen, seit 1999 auch die des Feinstaubes. Seit 2000 wird vom UBA auch die Anzahl der Partikel im Größenbereich zwischen 8 und 250 nm Teilchendurchmesser (im Wesentlichen Nanopartikel) gemessen, wenn auch bisher mehr orientierend.

Im Messnetz des Umweltbundesamtes wird der Gesamtschwebstaub (Tagesproben) teilweise schon seit Ende der 1960er Jahre an den Stationen, Neuglobsow, Waldhof, Deuselbach, Brotjackriegel und Schauinsland gemessen, seit Anfang der 80er Jahre auch in Westerland und Schmücke und seit 1992 in Zingst. Ab Beginn der 90er Jahre werden neben den Tagesproben auch kontinuierliche Messungen des Schwebstaubes durchgeführt. An den oben genannten personell besetzten Messstellen wurde ab 1999 von der täglichen Gesamtstaubmessung auf die Bestimmung der Partikelmasse für Teilchen unterhalb von 10 µm Durchmesser (PM<sub>10</sub>) umgestellt. Nur in Waldhof wird die Gesamtstaubmessung parallel seit 1999 weitergeführt und seit 1999 neben PM<sub>10</sub> auch die Partikelmasse für Teilchen unterhalb von 2,5 µm Durchmesser (PM<sub>2,5</sub>) bestimmt. In Deuselbach und Schauinsland werden PM<sub>2,5</sub>-Messungen seit 2000 durchgeführt.



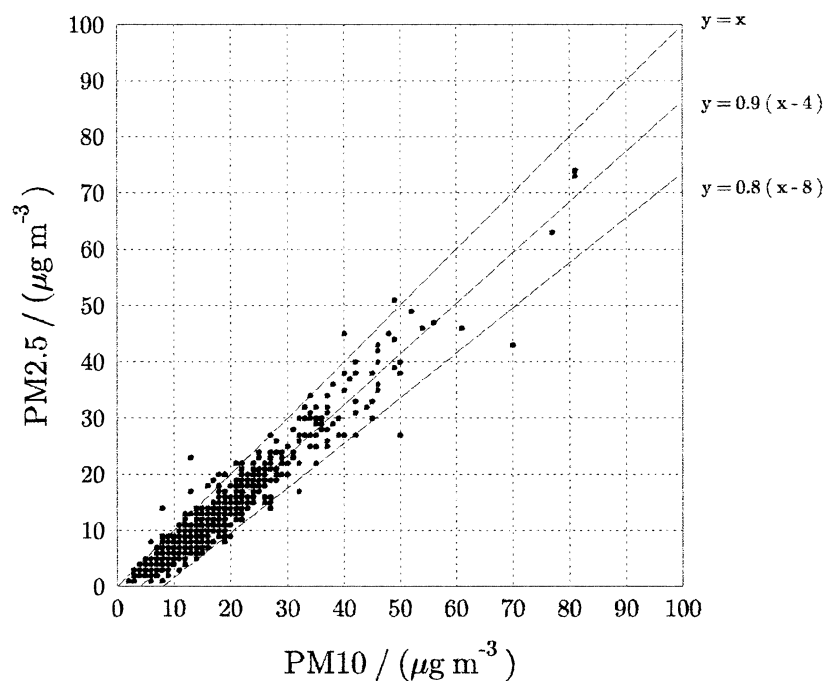


Abbildung 57: Korrelation der Tagesmittel von  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2.5}$  in Waldhof für März 1999 bis Dezember 2001

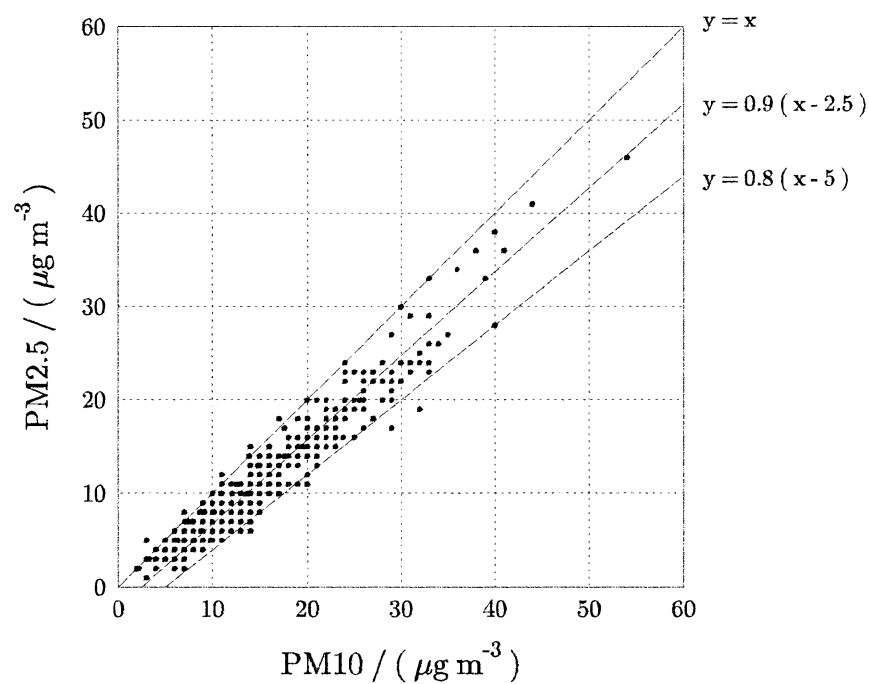


Abbildung 58: Korrelation der Tagesmittel von  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2.5}$  in Deuselbach für Juli 2000 bis Dezember 2001

Abbildung 57 und Abbildung 58 zeigen beispielhaft die Ergebnisse des  $PM_{2.5}$ -  $PM_{10}$ -Staubvergleichs für Waldhof (1999-2001) und Deuselbach (2000-2001). Die über alle Messpunkte gemittelten Regressionsgeraden können durch folgende Gleichungen beschrieben werden (Konzentrationen in  $\mu g/m^3$ ) :

Waldhof	$PM_{2.5} = 0.9 (PM_{10} - 4)$
Deuselbach:	$PM_{2.5} = 0.9 (PM_{10} - 2.5)$
Schauinsland:	$PM_{2.5} = 0.9 (PM_{10} - 2)$

Wegen des Offsets von  $2 \mu g/m^3$  bis  $4 \mu g/m^3$  macht die Angabe eines mittleren Verhältnisses  $PM_{2.5}/PM_{10}$  für die UBA-Stationen streng genommen keinen Sinn . Auf die Berechnung mittlerer Faktoren für die Umrechnung von  $PM_{10}$  in  $PM_{2.5}$  sollte deshalb verzichtet werden. Der Massenanteil von  $PM_{2.5}$  an  $PM_{10}$  hängt außerdem von der Lage der Stationen ab. So weisen die höher gelegenen Stationen in der Regel höhere  $PM_{2.5}$ -Anteile auf als die tiefer gelegenen Stationen.

Seit 2000 wird mit einem hochauflösenden Teilchenzahlmessgerät (SMPS: Scanning Mobility Particle Sizer) auch die Partikelgrößenverteilung von Teilchen mit Durchmessern zwischen 8 und 250 nm gemessen. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um ultrafeine Nanopartikel ( $d < 100$  nm), die in Stadtluft hauptsächlich durch Verbrennungsprozesse (Verkehr und Feuerungen) erzeugt werden. An den in ländlichen Gebieten gelegenen UBA-Stationen werden Nanopartikel dagegen hauptsächlich durch die Kondensation der gasförmigen Reaktionsprodukte von  $NO_x$ ,  $NH_3$ ,  $SO_2$  und VOC gebildet.

### 3.1.2.2 Messergebnisse

#### 3.1.2.2.1 Massenkonzentrationen und Teilchenanzahlen

Abbildung 59 zeigt die Jahresmittel des Gesamtschwebstaubes an 7 von 8 personell besetzten UBA-Messstellen (Westerland wurde wegen des hohen Seesalzanteils herausgenommen) zwischen 1974 und 2001 (Digital Tagesproben, ab 1999  $PM_{10}$ ). Die gestrichelten Kurven grenzen den Bereich zwischen den höchsten (Waldhof) und niedrigsten Konzentrationen (Schauinsland) ein. Die Gesamtstaubkonzentrationen in ländlichen Gebieten Deutschlands abseits von städtischen Ballungsgebieten sollten innerhalb des durch beide Kurven definierten Bereichs liegen.

Die niedrigsten Staubkonzentrationen treten erwartungsgemäß an den Bergstationen Schauinsland (1205 m), Brotjacklriegel (1016 m) und Schmücke (937 m) auf. Man erkennt einen deutlichen Rückgang der Jahresmittel nach 1985 an den Stationen in den alten Ländern und seit 1990 an allen Stationen hervorgerufen vor allem durch die drastische Senkung der Staubemissionen in Deutschland.

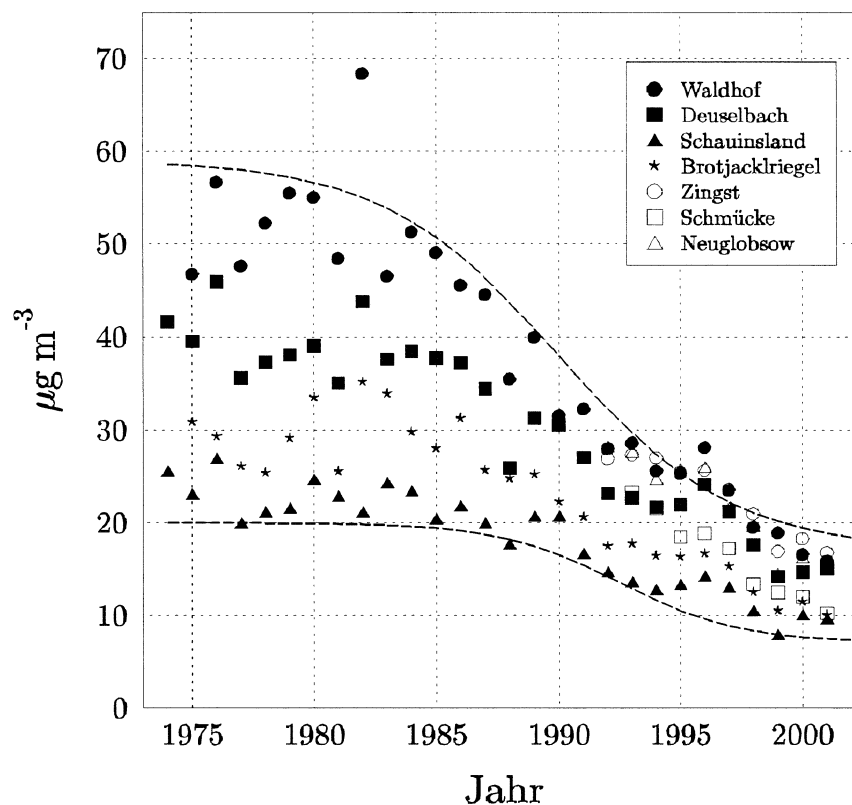


Abbildung 59: Jahresmittel des Gesamtschwebstaubs zwischen 1974 und 2001 an 7 UBA-Stationen

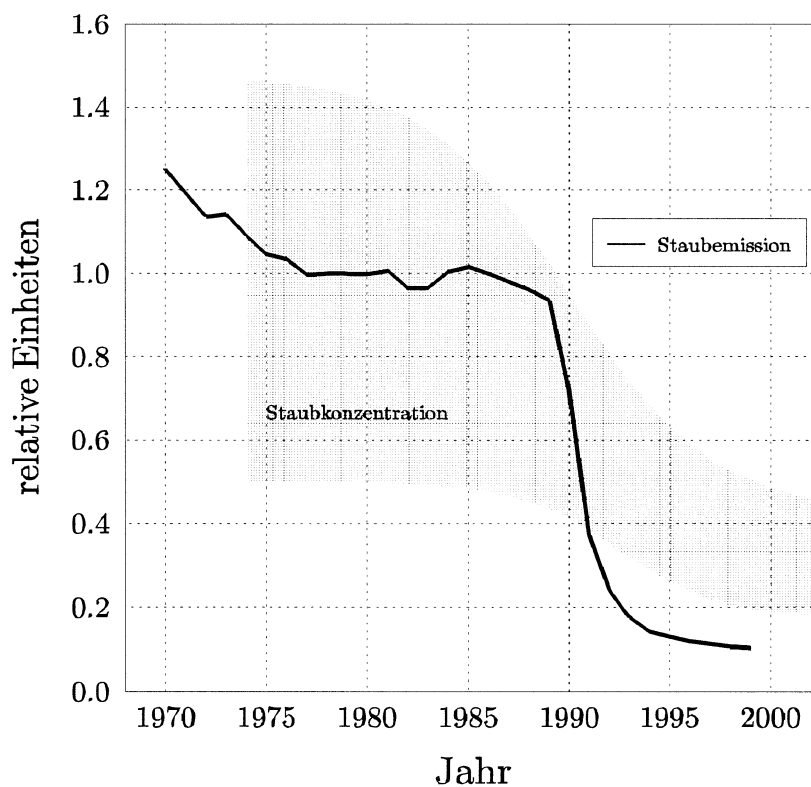


Abbildung 60: Bereich der Staubkonzentrationen von 1974 bis 2001 im Messnetz des UBA, normiert auf das Jahr 1977 (schraffiert), Kurve: normierter Verlauf der Staubemissionen in Deutschland

Abbildung 60 zeigt den in Abbildung 59 dargestellten Bereich der Staubkonzentrationen von 1974 bis 2001 (schraffierte Fläche) normiert auf das Jahr 1977. Mit eingezeichnet ist der ebenfalls auf das Jahr 1977 normierte Verlauf der Staubemissionen in Deutschland (Ost und West) bis einschließlich 1999 (vorläufige Werte für 1998 und 1999). Man erkennt, dass der Abfall der Staubkonzentrationen nach 1988 wesentlich langsamer erfolgt ist als der starke Rückgang der Emissionen in Deutschland.

Als Folge der drastischen Reduzierung der Staub (Feinstaub)-Emissionen in Deutschland werden die Feinstaub-Massenkonzentrationen in den kommenden Jahren nur noch sehr langsam abnehmen, da sie in zunehmenden Maße durch die Beiträge des Ferntransportes (vor allem von sekundären Aerosolen) und der natürlichen Emissionen bestimmt werden.

In Abbildung 61 sind mittlere Jahressgänge für die Stationen Neuglobsow, Waldhof, Schmücke, Deuselbach, Brotjacklriegel und Schauinsland für den Zeitraum zwischen 1995 und 2001 dargestellt. Die höchsten Schwebstaubkonzentrationen traten an den Flachlandstationen Neuglobsow und Waldhof im Winter auf, auf dem Schauinsland dagegen im Sommer. Das winterliche Maximum an den Flachlandstationen dürfte im Wesentlichen auf die niedrigen winterlichen Mischungsschichthöhen zurückzuführen sein. Der Grund für das Sommermaximum am Schauinsland und den anderen Bergstationen liegt darin, dass diese Stationen im Sommer sehr häufig innerhalb der mit Partikeln angereicherten Mischungsschicht, im Winter dagegen oft oberhalb der Mischungsschicht in der freien Troposphäre liegen (siehe auch *Messnetz-Jahresbericht 1998*, S.73).

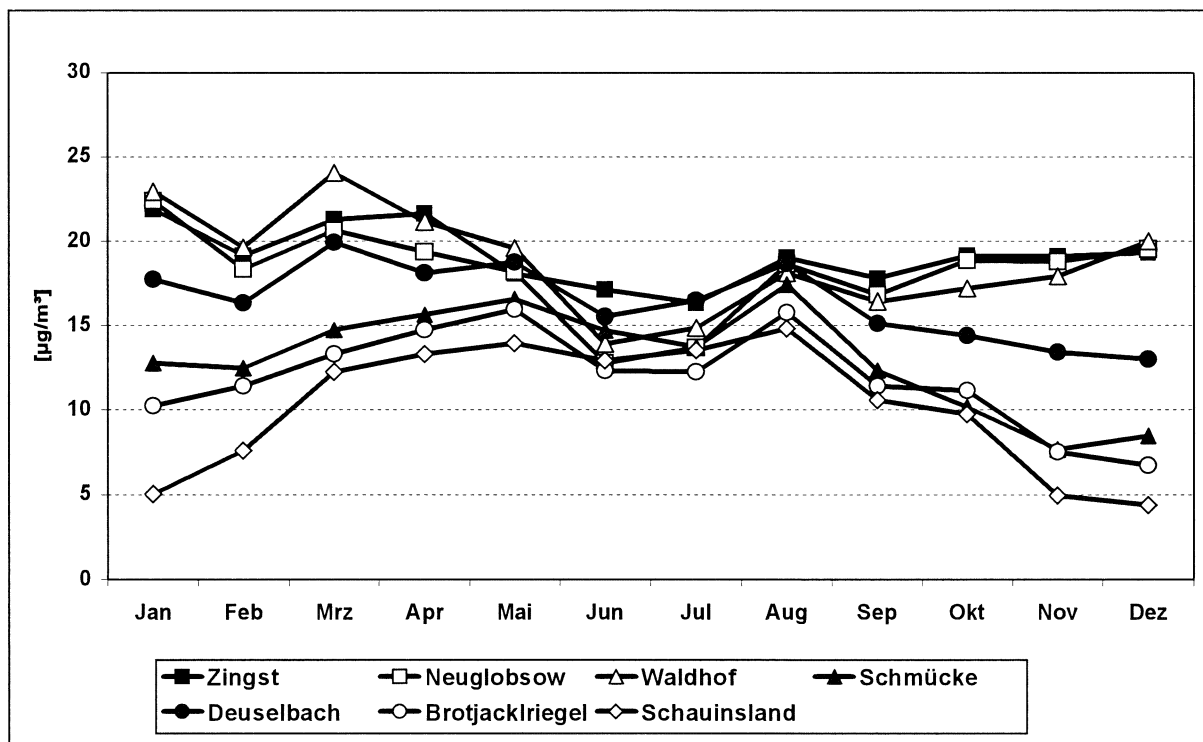


Abbildung 61: Mittlere Jahressgänge für  $PM_{10}$  berechnet für 1995 bis 2001. Die Werte von 1995 bis 1998 wurden von Gesamtschwebstaub umgerechnet

Erste, mehr orientierende Messungen der Korngrößenverteilung von ultrafeinen Partikeln mit Teilchendurchmessern zwischen 8 und 250 nm wurden in unterschiedlich mit Luftverunreinigungen belasteten Gebieten durchgeführt. Aufgrund dieser orientierenden Messungen sowie Literaturveröffentlichungen (*Ref. 7*) können folgende Anzahlkonzentrationen für Gebiete mit unterschiedlicher Luftqualität angegeben werden (Tabelle 72):

Tabelle 72: Anzahlkonzentrationen ultrafeiner Partikel (8 – 250 nm) in Gebieten mit unterschiedlicher Luftqualität (*Quelle: UBA sowie Ref. 7*).

Standort	Partikelzahl pro cm <sup>3</sup> Luft
Großstadt Frankfurt/Main-City	100 000 – 200 000
Kleinstadt Langen	50 000 – 100 000
Mittelgebirge Kl. Feldberg (Taunus, 820 m ü.N.)	10 000 – 50 000
Schauinsland (Schwarzwald, 1205 m ü. N.)	5 000 – 10 000
Maritime Reinluft (Nordatlantik)	100 – 1 000

Die Abbildung 62 und Abbildung 63 zeigen den mittleren Tagesgang verschiedener Größenklassen in Außenluft am UBA-Dienstgebäude Langen sowie die Anzahlgrößenverteilungen der ultrafeinen Partikel (8-250 nm) (Mittelwert über einen Messzeitraum von 49 Tagen zwischen August 2000 und Januar 2001). Abbildung 64 zeigt zum Vergleich die Anzahlgrößenverteilung der Nanopartikel gemessen auf dem Kleinen Feldberg/Taunus (820 m. ü. N.).

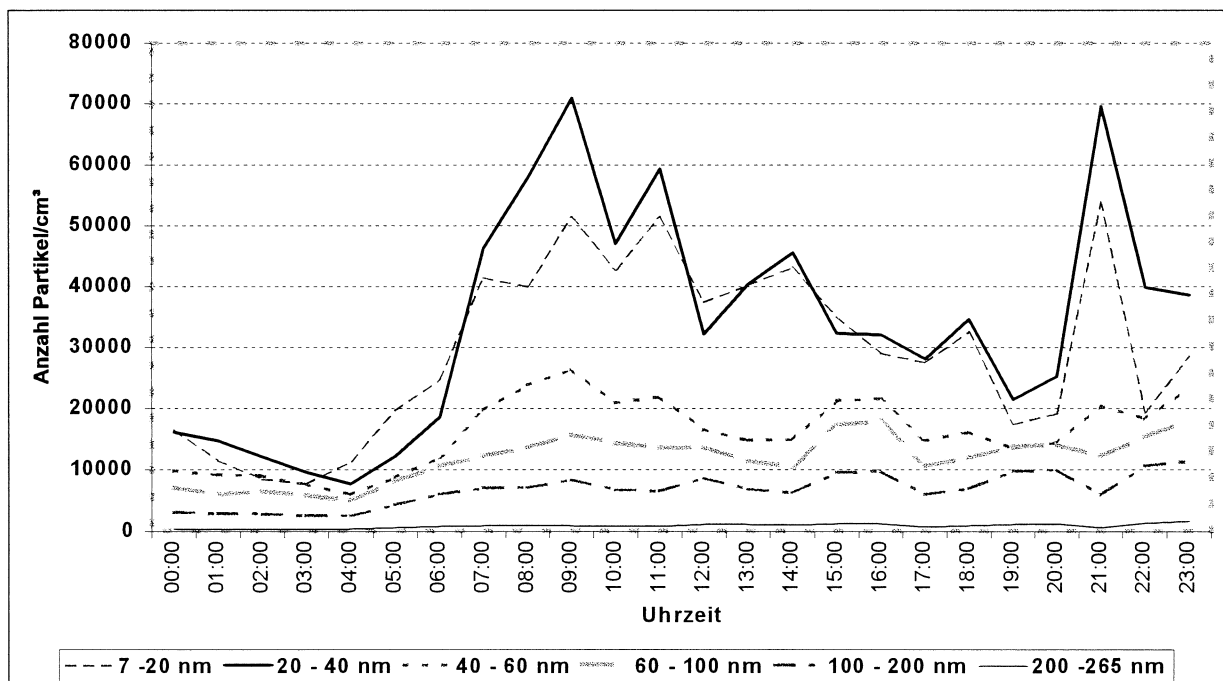


Abbildung 62: Mittlerer Tagesgang verschiedener Größenklassen von ultrafeinen Partikeln (8-250 nm) in der Außenluft am UBA-Dienstgebäude in Langen

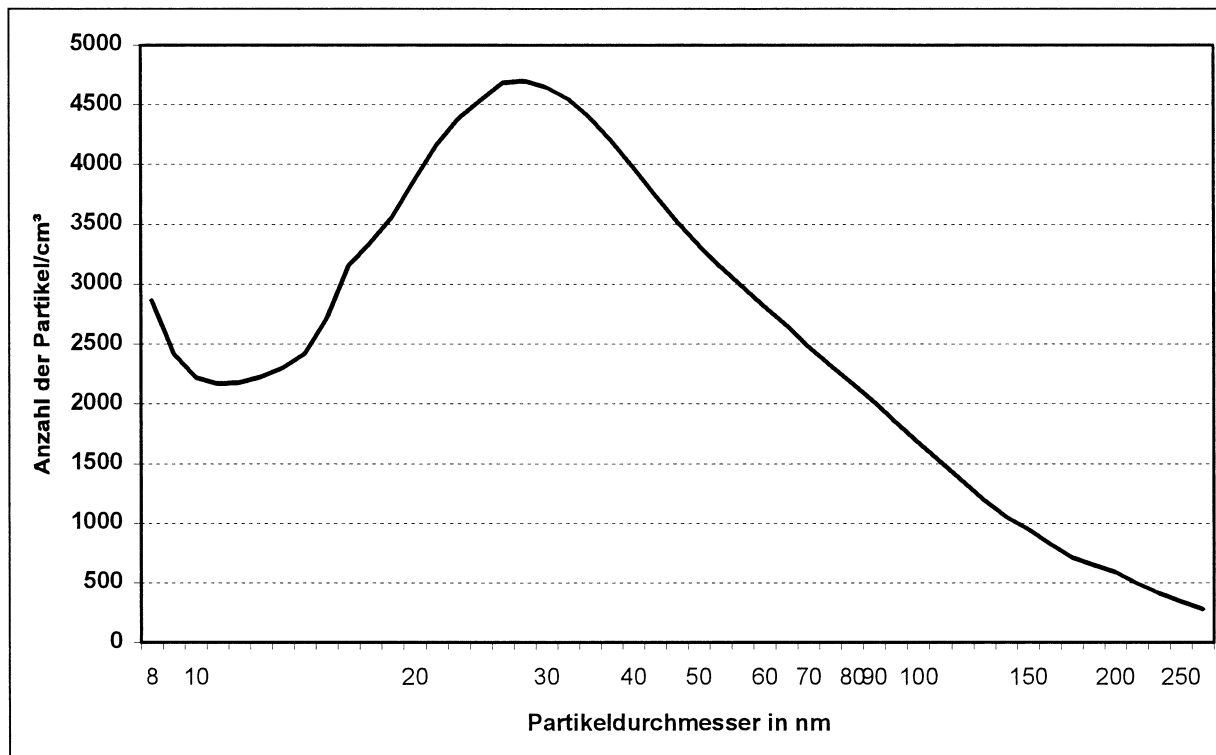


Abbildung 63: Anzahl-Größen-Verteilungen der ultrafeinen Partikel (8-250 nm) in der Außenluft am UBA-Dienstgebäude in Langen (Mittelwert über einen Messzeitraum von 49 Tagen zwischen August 2000 und Januar 2001).

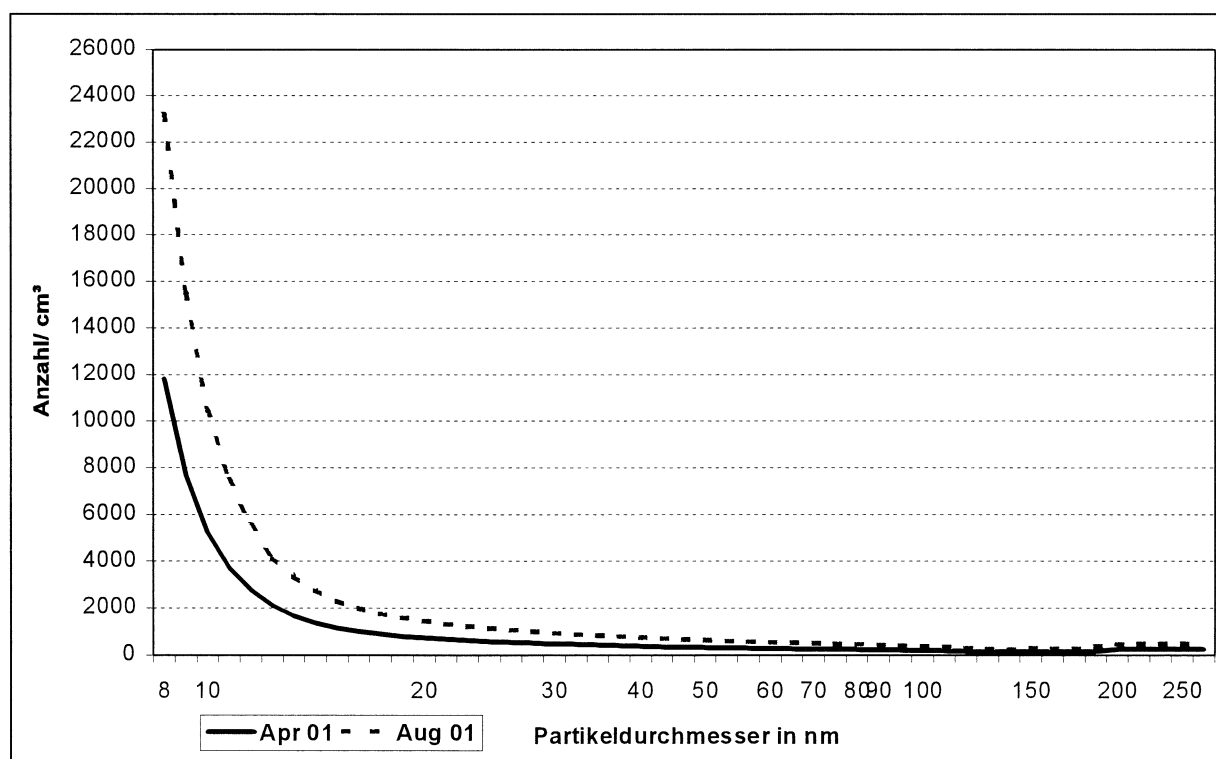


Abbildung 64: Anzahl-Größen-Verteilung der Nanopartikel auf dem Kleinen Feldberg/Taunus (820 m ü. NN)

Während auf dem Kleinen Feldberg die maximale Anzahl der Nanopartikel bei sehr kleinen Teilchendurchmessern ( $< 10$  nm) auftritt (Abbildung 64), werden in Langen Maxima der Anzahldichte sowohl bei den sehr kleinen Teilchen ( $< 10$  nm) als auch bei Teilchengrößen zwischen 20 und 40 nm beobachtet (Abbildung 62 und Abbildung 63). Das sekundäre Maximum bei ca. 30 nm in Langen ist sehr wahrscheinlich auf die Emissionen von Rußpartikeln aus Verbrennungsprozessen (Autoverkehr) zurückzuführen, während das Maximum unterhalb von 10 nm sehr wahrscheinlich aus Partikelneubildung aus Gasen resultiert (GPC). Eine solche Verteilung wurde auch in Städten beobachtet. Entsprechend den Verkehrsspitzen traten die Maxima in Langen morgens zwischen 8:00 und 9:00 Uhr sowie abends zwischen 21:00 und 22:00 Uhr auf (Schichtwechsel bei der Flugsicherung?)

Die Anzahl der Nanopartikel auf dem Kleinen Feldberg ist deutlich geringer als in Langen und Frankfurt/Main, da am Messort kaum Verbrennungsquellen vorhanden sind, die in beiden Städten für das sekundäre Maximum im Größenbereich zwischen 20 und 40 nm verantwortlich sind. Hinzu kommt, dass die Konzentrationen der Vorläufergase auf dem Kleinen Feldberg geringer sind als in Langen und Frankfurt.

Die auf dem Kleinen Feldberg vor allem bei den sehr kleinen Nanopartikeln beobachteten höheren Teilchenzahlen im August gegenüber April 2001 (Abbildung 64) sind wahrscheinlich auf eine erhöhte photochemischer Aktivität und damit eine stärkere Teilchenbildung aus Gasen (GPC) im August gegenüber April zurückzuführen. Hinzu kommt, dass der Kleine Feldberg im August öfter als im April innerhalb der mit Luftschadstoffen angereicherten Mischungsschicht liegt. Demgegenüber dürfte der direkte Transport von Nanopartikeln aus dem Frankfurter Ballungsraum wegen der extrem kurzen Lebensdauer dieser winzigen Teilchen kaum eine Rolle für die im August beobachteten höheren Konzentrationen spielen.

Wegen der wenigen, bisher mehr episodenhaft durchgeführten Messungen von Nanopartikeln können - im Gegensatz zu dem abnehmenden Trend der Feinstaub-Massenkonzentrationen - noch keine generellen Aussagen über einen Trend der Anzahlkonzentrationen in Deutschland gemacht werden. Erste Messungen in den Wintermonaten zwischen 1991 und 1999 in Erfurt haben ergeben, dass die von den Nanopartikeln dominierten Partikelzahlen praktisch gleichgeblieben bzw. sogar angestiegen sind, während die Partikelmasse (als  $PM_{10}$  oder  $PM_{2,5}$  gemessen) deutlich abgenommen hat (Ref. 8)

#### **3.1.2.2.2 Messung von Staubinhaltsstoffen im Messnetz des Umweltbundesamtes:**

Im Messnetz des Umweltbundesamtes werden die anorganischen Feinstaubinhaltsstoffe Sulfat-S, Nitrat-N, Ammonium-N sowie eine Reihe von Metallen bestimmt.

Wie Abbildung 65 zeigt, hat der Massenanteil der im UBA-Messnetz analysierten anorganischen Staubinhaltsstoffe (Sulfat, Nitrat, Chlorid, Ammonium, Kalzium, Natrium, Kalium) zwischen 1990 und 1999 von etwa 50% auf etwa 35% abgenommen, der nicht analysierte organische Anteil sollte entsprechend zugenommen haben (von 50% auf ca. 65%). Neben der erheblichen Streuung der monatlichen anorganischen Massenanteile erkennt man auch einen Jahresgang mit maximalen anorganischen Anteilen im Winter und einem Minimum im Sommer.

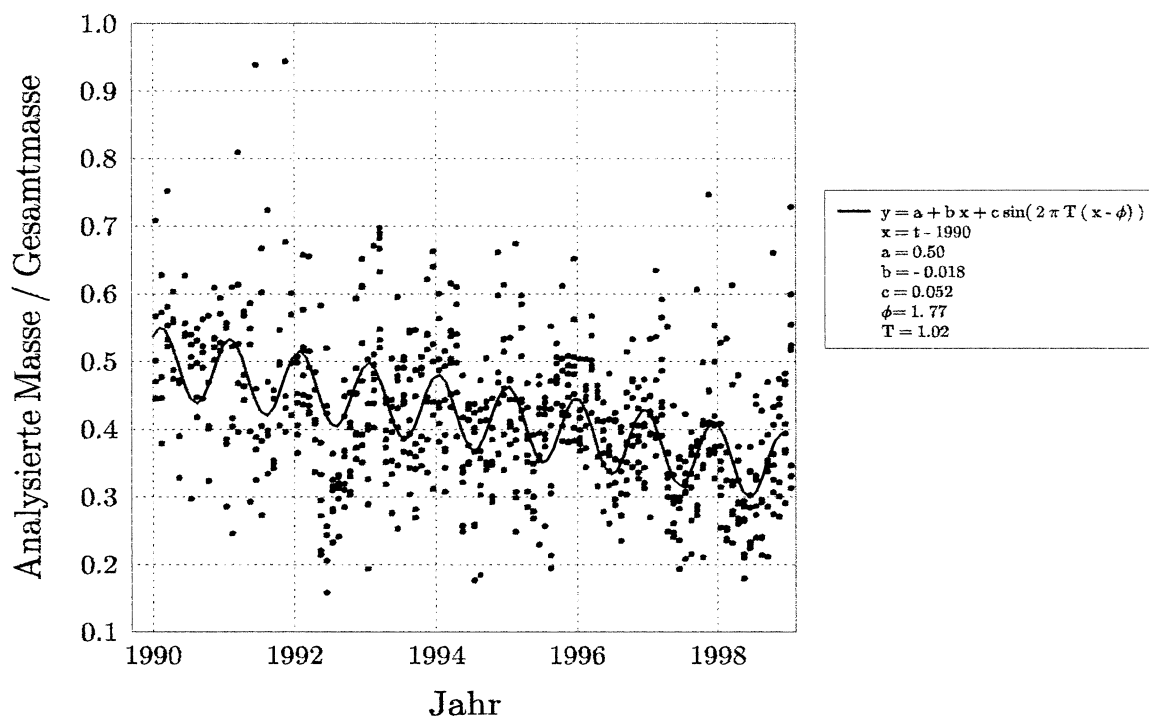


Abbildung 65: Massenanteil der im UBA-Messnetz an 8 Stationen analysierten anorganischen Staubinhaltsstoffe

### Schwefel im Schwebstaub:

Abbildung 66 zeigt den mit RFA gemessenen Verlauf der Jahresmittel von Schwefel im Staub (Feinstaub) von 1974 bis 1999 an den 5 Stationen Westerland, Waldhof, Deuselbach, Brotjackriegel und Schauinsland sowie für die Stationen Zingst, Neuglobsow und Schmücke zwischen 1992 und 1999. Die mittels RFA gewonnenen Werte wurden mit einem Faktor von 1.5 nach oben korrigiert. Die höchsten absoluten Schwefelkonzentrationen wurden an den Stationen Waldhof und Deuselbach, die niedrigsten an den Bergstationen Schauinsland, Brotjackriegel und Schmücke beobachtet. Ähnlich wie die Konzentrationen des Gesamtstaubes haben in den letzten Jahrzehnten auch die Konzentrationen des Schwefels abgenommen.

Zwischen 1974 und 1999 wurde der Schwefelgehalt im Schwebstaub mittels Röntgenfluoreszenz (RFA) bestimmt. Von 1990 erfolgte parallel dazu die Bestimmung von Monatswerten mittels Ionenchromatographie. Beide Verfahren wurden 2000 durch die Filterpack-Messungen abgelöst (siehe Kap. 3.3).



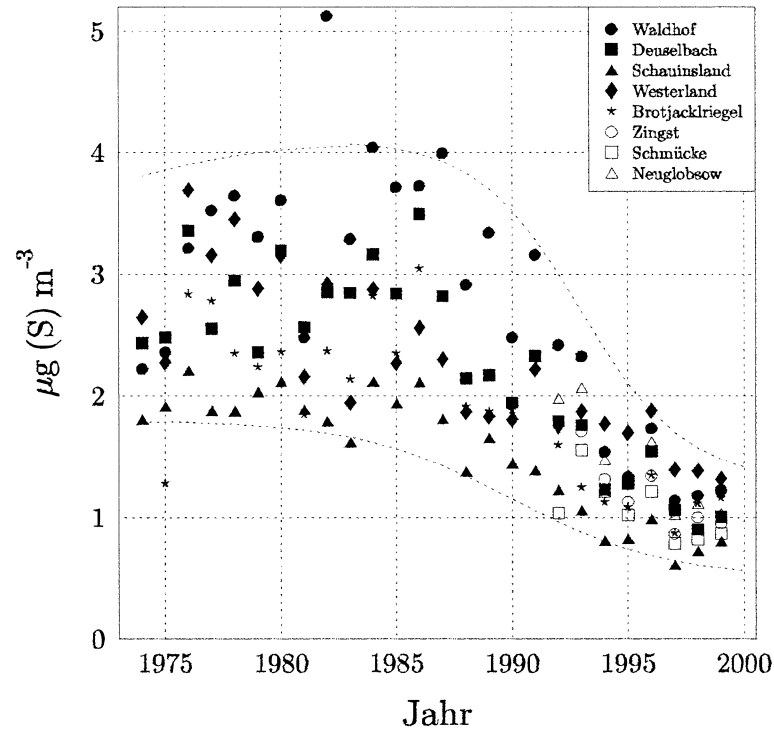


Abbildung 66: Verlauf der Jahresmittel von Schwefel im Staub (Feinstaub) von 1974 bis 1999 an den 5 Stationen Westerland, Waldhof, Deuselbach, Brotjacklriegel und Schauinsland sowie für die Stationen Zingst, Neuglobsow und Schmücke zwischen 1992 und 1999

In Tabelle 73 sind die mittleren Massenanteile für Sulfat, Nitrat und Ammonium für die UBA-Stationen zusammengestellt. Diese Massenanteile sind mittlere Werte zwischen 1995 und 1999.

Tabelle 73: Mittlere Massenanteile von Sulfat, Nitrat und Ammonium im Messnetz des UBA

	Massenanteile in %			
Station	Sulfat	Nitrat	Ammonium	Bemerkungen
Westerland	14.9	11.7	3.7	mittlere Werte zwischen 1995 und 1999
Waldhof	21.2	11.6	5.2	
Deuselbach	21.3	11.8	5.2	
Brotjacklriegel	23.0	12.5	5.5	
Schauinsland	23.8	14.5	3.6	
Zingst	17.3	11.3	5.1	
Neuglobsow	19.5	6.7	4.9	
Schmücke	20.0	7.9	5.0	

## N-Verbindungen im Schwebstaub

Ammonium-Stickstoff und Nitrat-Stickstoff werden ab dem Jahr 1990 im UBA-Messnetz mittels Ionenchromatographie bestimmt: seit 1990 in Westerland, Waldhof, Deuselbach, Brotjacklriegel und Schauinsland sowie seit 1992 auch an den Stationen Zingst, Neuglobsow und Schmücke.

Die Abbildung 67 und Abbildung 68 zeigen den Verlauf der mittleren Jahreskonzentrationen für Nitrat-N und Ammonium-N zwischen 1990 und 1999 an den personell besetzten UBA-Stationen. Wie zu erwarten wurden die niedrigsten Konzentrationen an den Bergstationen Schauinsland, Brotjacklriegel und Schmücke beobachtet. Die Konzentrationen schwanken von Jahr zu Jahr erheblich, vor allem für Ammonium-N, ein abnehmender Trend ist aber nur sehr schwach ausgeprägt. Der größte Teil des im Aerosol enthaltenen Nitrat- bzw. Ammonium-Stickstoffs scheint sekundäres Aerosol zu sein, das aus den Gasen  $\text{NO}_x$  bzw.  $\text{NH}_3$  gebildet worden ist. Die Emissionen dieser Gase sind zwischen 1990 und 1999 in Deutschland um ca. 40% ( $\text{NO}_x$ ) bzw. ca. 20% ( $\text{NH}_3$ ) zurückgegangen, während die Emissionen des Gesamtstaubes um etwa 85% zurückgegangen sind.

Die vergleichsweise sehr niedrigen Jahreskonzentrationen in den Jahren 1998 und 1999 sind möglicherweise auf die Verwendung eines anderen Filtermaterials zurückzuführen. Dies wird z.Z. untersucht.

Die mittleren Nitrat- und Ammoniumanteile an der Gesamtmasse des Schwebstaubs sind zusammen mit dem Sulfatanteil in Tabelle 73 zusammengestellt.

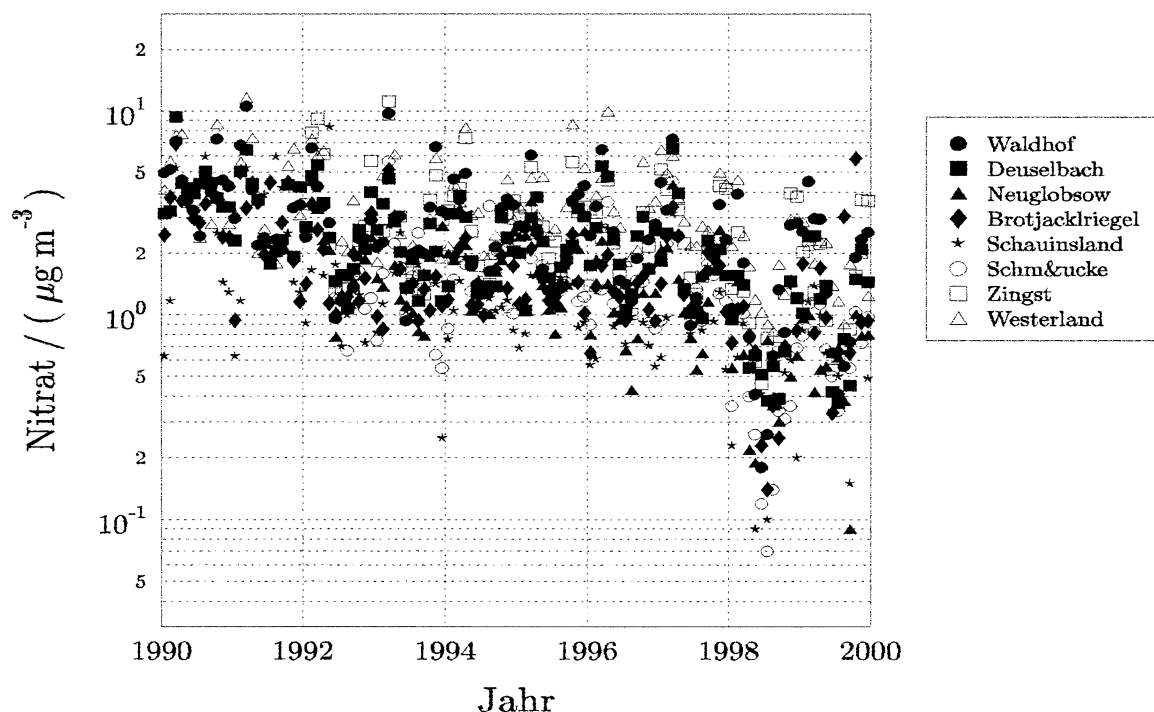


Abbildung 67: Verlauf der mittleren Jahreskonzentrationen für Nitrat-N zwischen 1990 und 1999 an den personell besetzten UBA-Stationen

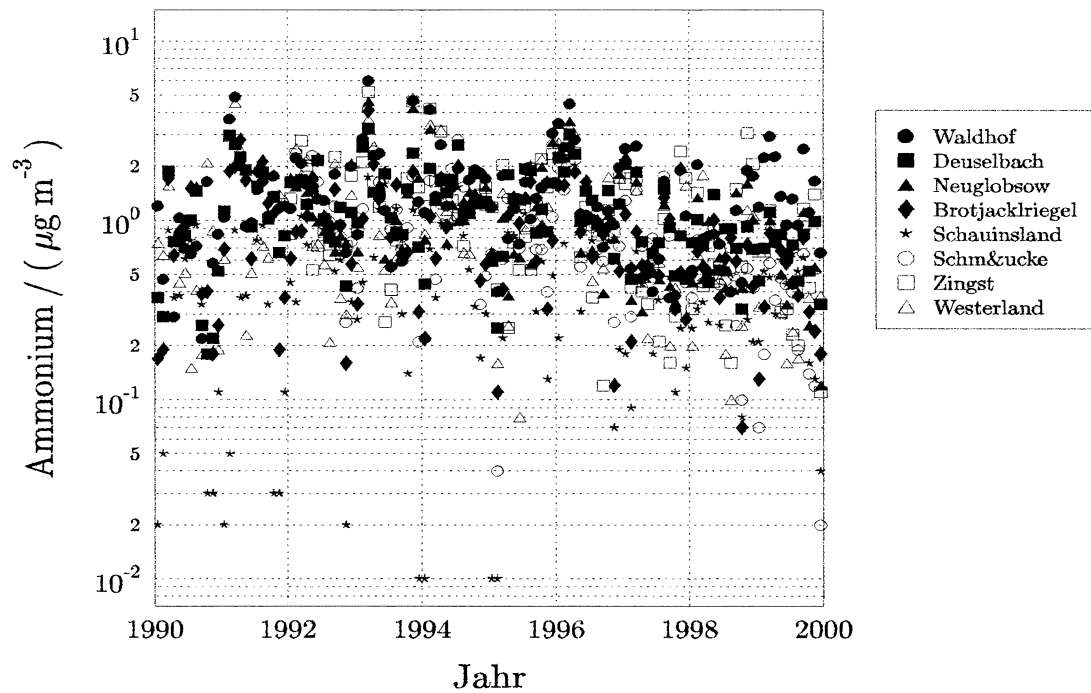


Abbildung 68: Verlauf der mittleren Jahreskonzentrationen für Ammonium-N zwischen 1990 und 1999 an den personell besetzten UBA-Stationen

### Schwermetalle im Schwebstaub

Schwermetalle werden in Deutschland hauptsächlich durch anthropogene Quellen (Feuerungsanlagen, Eisen- und Stahlindustrie, Nichteisen-Metallindustrie, Müllverbrennungsanlagen, Zementindustrie, Kraftfahrzeugverkehr) in die Atmosphäre emittiert. Natürliche Emissionen (z.B. aus Bodenmaterial oder Vulkanen) spielen in Deutschland eine untergeordnete Rolle. Durch Kondensationsprozesse und chemische Reaktionen werden die meisten Schwermetalle in Partikelform überführt bzw. an Staubpartikel angelagert.

In Tabelle 74 sind typische Konzentrationsbereiche von Schwermetallen für ländliche und städtische Gebiete Deutschlands dargestellt (Ref. 10, 11).

Tabelle 74: Heutige typische Konzentrationen von Schwermetallen in ländlichen und städtischen Gebieten Deutschlands (Ref. 10, 11).

Element		Massenkonzentrationen in ng/m <sup>3</sup>	
		ländliches Gebiet	städtisches Gebiet
Blei	Pb	20 bis 100	50 bis 800
Cadmium	Cd	0.2 bis 2	2 bis 20
Kupfer	Cu	1 bis 10	10 bis 100
Mangan	Mn	10 bis 50	20 bis 100
Nickel	Ni	1 bis 5	1 bis 20

Aerosolgebundene Schwermetalle (Blei, Cadmium, Kupfer, Mangan, Nickel) werden an den 8 personell besetzten Messstellen (Westerland, Zingst, Waldhof, Neuglobsow, Deuselbach, Schmücke, Brotjackriegel und Schauinsland) teilweise schon ab 1970 gemessen.

Die Messergebnisse sind in Abbildung 69 bis Abbildung 72 zusammengefasst. Dargestellt sind jeweils die mittleren Jahreskonzentrationen der Schwermetalle Blei, Cadmium, Kupfer, Mangan und Nickel, die deutschen Emissionen (Balken) und die mittlere Trendlinie für die 5 UBA-Messstellen Westerland, Waldhof, Deuselbach, Brotjackriegel und Schauinsland. Für Nickel sind wegen des kurzen Messzeitraums (1995 – 2000) nur die mittleren Jahreskonzentrationen dargestellt. Die Schwermetallemissionen der Jahre 1985, 1990 und 1995 sind offizielle Daten des Umweltbundesamtes (*Ref. 12*), die entsprechenden Daten für die Jahre 1970, 1975 und 1982 sind Schätzwerte aus der Literatur (*Ref. 13, 14*).

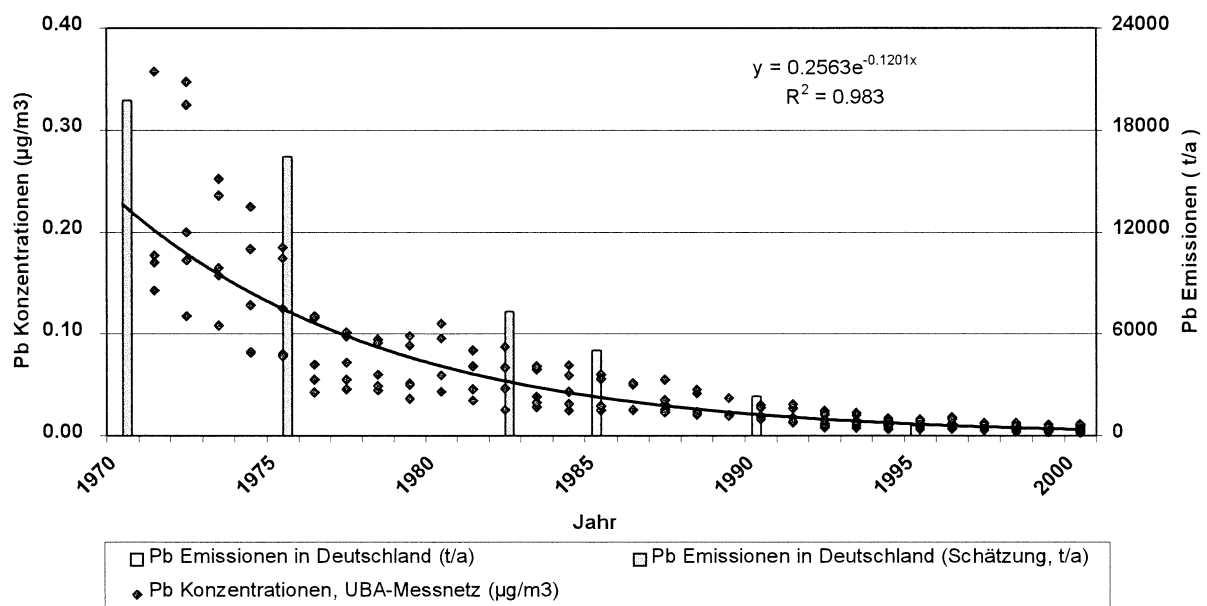


Abbildung 69: Abfall der Konzentrationen für partikelgebundenes Blei (1970 – 2000), mittlere Jahreskonzentrationen an den UBA-Stationen und Jahresemissionen in Deutschland

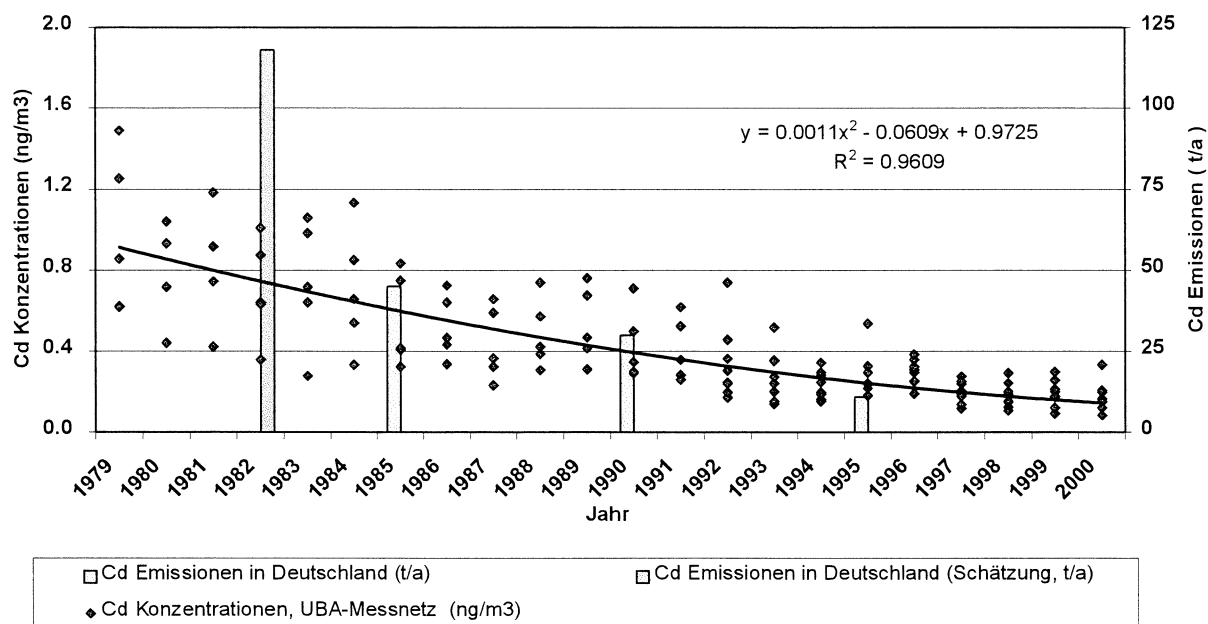


Abbildung 70: Abfall der Konzentrationen für partikelgebundenes Cadmium (1979 – 2000), mittlere Jahreskonzentrationen an den UBA-Stationen und Jahresemissionen in Deutschland

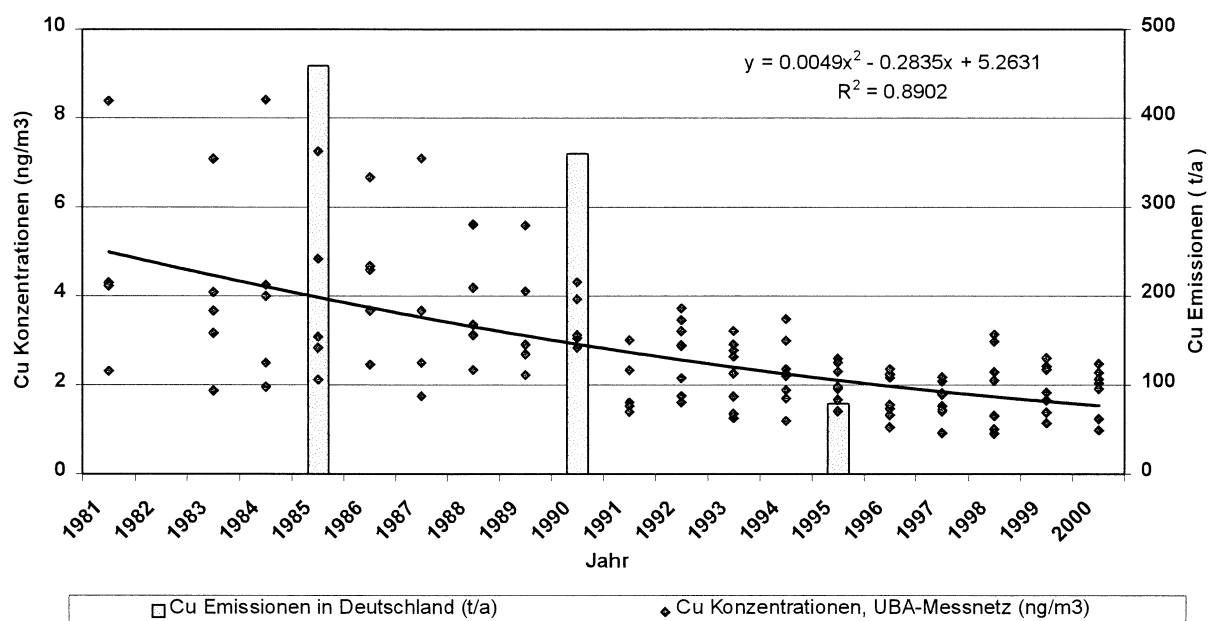


Abbildung 71: Abfall der Konzentrationen für partikelgebundenes Kupfer (1981 – 2000), mittlere Jahreskonzentrationen an den UBA-Stationen und Jahresemissionen in Deutschland

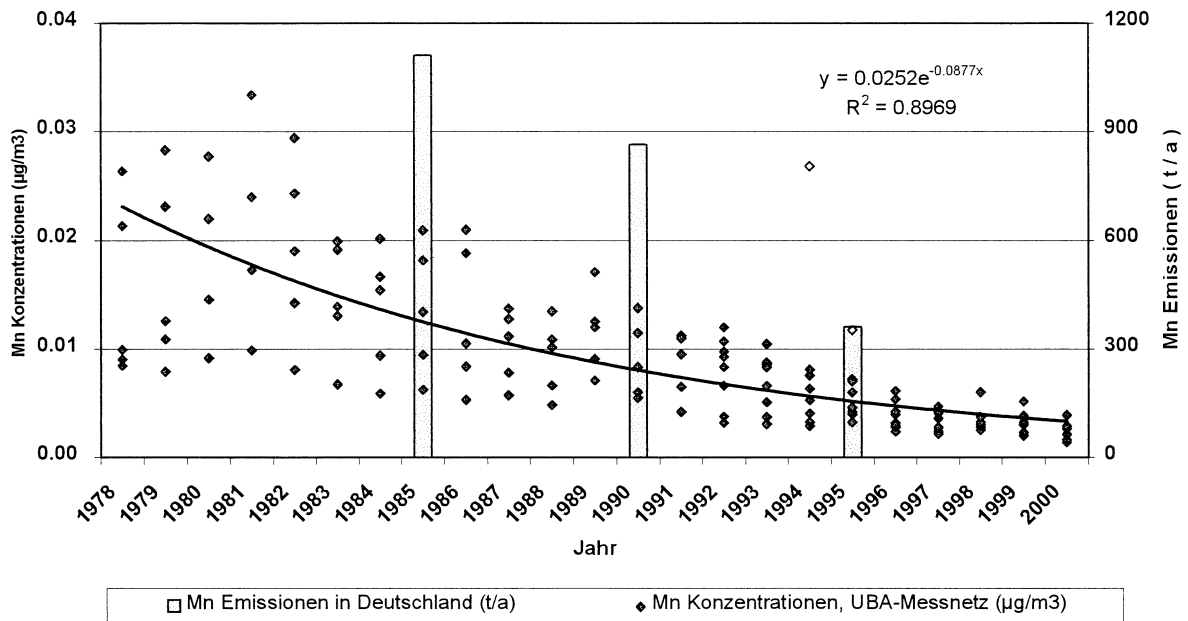


Abbildung 72: Abfall der Konzentrationen für partikelgebundenes Mangan (1978 – 2000), mittlere Jahreskonzentrationen an den UBA-Stationen und Jahresemissionen in Deutschland

Die Abbildung 69 und Abbildung 72 zeigen den Abfall der Konzentrationen für partikelgebundenes Blei (1970 – 2000), Cadmium (1979 – 2000), Kupfer (1981 – 2000) und Mangan (1978 – 2000).

Die Messwerte zeigen z.T. deutliche regionale Unterschiede, z.B. wurden an den Messstellen Deuselbach und Waldhof sowie auch in Neuglobsow deutlich höhere Konzentrationen von Blei, Cadmium und Kupfer gemessen als an den anderen UBA-Messstellen. Diese Unterschiede sind einerseits auf meteorologisch-klimatologische und orographische Faktoren (z.B. weisen die Bergstationen Brotjacklriegel und Schauinsland generell niedrigere Konzentrationen auf als Flachlandstationen), andererseits spielt auch die unterschiedliche Beeinflussung der Stationen durch Emissionsquellen aus Industrie- und Ballungsräumen eine Rolle.

Bei den aerosolgebundenen Schwermetallen (Blei, Cadmium, Kupfer, Mangan) ist ein deutlicher Rückgang der Konzentrationen während der letzten 20 bis 30 Jahre zu beobachten.

### 3.1.2.3 Überschreitung von $\text{PM}_{10}$ -Grenzwerten im Messnetz des Umweltbundesamtes

In Tabelle 75 und Tabelle 76 sind die Anzahl der Überschreitungen der Grenzwerte im Hinblick auf die Anforderungen der 1. EG-Tochterrichtlinie 1999/30/EG für Partikel ( $\text{PM}_{10}$ ) für die 8 personell besetzten UBA-Messstellen von 1970 bis 2001 zusammengestellt. Da von 1970 bis 1998 im Messnetz des UBA Gesamtstaub und erst ab 1999  $\text{PM}_{10}$  gemessen wurden, wurde die Werte vor 1999 mit dem Faktor 0.83 von Gesamtstaub auf  $\text{PM}_{10}$  umgerechnet. In den meisten Ländern wird zur Umrechnung ein Faktor zwischen 0.8 und 0.83 verwendet. Der Faktor wird teils durch Parallelmessungen selbst bestimmt, teils werden Literaturdaten verwendet. Der von uns verwendete Faktor von 0.83 beruht auf Parallelmessungen im UBA-Messnetz.

In Tabelle 75 ist die Zahl der Überschreitungen der Tagesmittel vom  $\text{PM}_{10} > 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für Stufe 1 (bis 35 Überschreitungen pro Jahr und Station (dunkelgrau hinterlegt) ab 2005 zulässig) sowie für Stufe 2 bis 7 Überschreitungen pro Jahr und Station (grau hinterlegt) ab 2010 zulässig) aufgelistet. Die entsprechenden Überschreitungen der Jahresmittel für Stufe 1 ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ab 2005, dunkelgrau hinterlegt) sowie für Stufe 2 ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ab 2010, hellgrau hinterlegt) sind in Tabelle 76 zusammengestellt.

Mit Ausnahme der Station Westerland, wo das Seesalz erheblich zu den  $\text{PM}_{10}$ -Werten beitragen kann, wurden die Tagesmittel von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für Stufe 1 seit 1992 an keiner UBA-Station mehr als 35 mal pro Jahr überschritten. In 2001 lagen an 3 von 8 UBA-Stationen die Tagesmittel von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  noch über Stufe 2 (bis 7 Überschreitungen pro Jahr) (Tabelle 75).

Besser als bei den Tagesmitteln sieht die Situation bei den Jahresmitteln aus (Tabelle 76). Der Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Stufe 1) wurde seit 1986 an keiner der 8 UBA-Stationen mehr erreicht, der verschärfte Grenzwert von  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Stufe 2) mit Ausnahme von Westerland ab 1997 auch nicht mehr. Während zukünftige  $\text{PM}_{10}$ -Jahresmittel die Grenzwerte wahrscheinlich nur noch selten überschreiten werden, wird der 24-Stunden-Grenzwert auch im Jahr 2005 an einzelnen Emissionsschwerpunkten noch deutlich überschritten werden.

Tabelle 75: Anzahl der Tagesmittel von  $\text{PM}_{10} > 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pro Jahr für die 8 personell besetzten Messstellen des UBA. Die Werte vor 1999 wurden von Gesamtstaub in  $\text{PM}_{10}$  umgerechnet. Die fetten kursiven Zahlen (dunkelgrau hinterlegt) überschreiten Stufe 1, die kursiven Zahlen (hellgrau hinterlegt) Stufe 2 der Tochterrichtlinie

	WE	ZG	NG	WA	SM	DE	BR	SC
1970			<b>59</b>	<b>80</b>		<b>48</b>		<b>11</b>
1971			<b>37</b>	<b>130</b>		<b>115</b>		7
1972			<b>67</b>	<b>140</b>		<b>62</b>	<b>36</b>	16
1973			<b>43</b>	<b>106</b>		<b>86</b>	<b>46</b>	30
1974			<b>53</b>	<b>79</b>		<b>68</b>	17	27
1975			<b>50</b>	<b>89</b>		<b>57</b>	27	16
1976			<b>54</b>	<b>117</b>		<b>95</b>	21	25
1977			<b>46</b>	<b>94</b>		<b>43</b>	13	9
1978			<b>75</b>	<b>119</b>		<b>42</b>	8	7
1979	<b>58</b>		<b>40</b>	<b>123</b>	<b>36</b>	<b>49</b>	22	6
1980	<b>44</b>		<b>56</b>	<b>95</b>	<b>53</b>	<b>63</b>	29	19
1981	<b>37</b>		<b>46</b>	<b>107</b>	<b>49</b>	<b>43</b>	21	21
1982	<b>106</b>		<b>84</b>	<b>123</b>	<b>62</b>	<b>86</b>	<b>48</b>	10
1983	<b>78</b>		<b>49</b>	<b>84</b>	<b>40</b>	<b>54</b>	<b>48</b>	26
1984	<b>115</b>		<b>70</b>	<b>118</b>	31	<b>51</b>	22	18
1985	<b>72</b>		<b>63</b>	<b>89</b>	31	<b>51</b>	19	6
1986	<b>86</b>		<b>68</b>	<b>81</b>	<b>52</b>	<b>63</b>	34	14
1987	<b>76</b>		<b>78</b>	<b>79</b>	28	<b>42</b>	13	16
1988	30		<b>71</b>	<b>56</b>	<b>48</b>	12	18	2
1989	<b>41</b>		<b>68</b>	<b>70</b>	14	23	9	5
1990	<b>42</b>		29	<b>45</b>	17	21	6	8
1991	<b>47</b>		19	<b>41</b>		13	2	0
1992	<b>47</b>	24	26	23	4	4	0	1
1993	<b>37</b>	30	31	35	9	3	0	1
1994	<b>73</b>	18	15	15	8	2	0	0
1995	<b>48</b>	16	13	15	2	5	1	1
1996	26	22	21	24	1	12	2	4
1997	8	10	12	11	4	8	1	1
1998	14	21	18	9	0	5	1	0
1999	9	7	2	3	1	0	0	0
2000	2	7	3	2	0	0	1	0
2001	12	10	9	5	1	1	1	0



Tabelle 76: Jahresmittel von PM<sub>10</sub> in µg/m<sup>3</sup> für die 8 personell besetzten Messstellen des UBA. Die Werte vor 1999 wurden von Gesamtstaub in PM<sub>10</sub> umgerechnet. Die fetten kursiven Zahlen (dunkelgrau hinterlegt) überschreiten Stufe 1, die kursiven Zahlen (hellgrau hinterlegt) Stufe 2 der Tochterrichtlinie

	WE	ZG	NG	WA	SM	DE	BR	SC
1970			30.9	<b>47.5</b>		34.8		18.9
1971			26.9	<b>47.4</b>		<b>44.1</b>		16.9
1972			33.2	<b>49.2</b>		37.4	29.2	19.7
1973			25.2	<b>43.5</b>		39.5	30.2	25.3
1974			28.1	37.2		35.1	24.0	22.5
1975			29.1	39.0		34.1	26.3	21.3
1976			28.3	<b>47.4</b>		38.2	24.5	22.7
1977			27.0	39.9		29.6	21.7	16.7
1978			32.3	<b>43.6</b>		31.1	21.2	17.6
1979	38.8		26.5	<b>46.4</b>	25.1	31.7	24.4	18.1
1980	<b>46.7</b>		26.5	<b>46.0</b>	26.4	32.4	27.8	20.6
1981	39.0		26.6	<b>43.2</b>	26.3	29.3	26.7	19.2
1982	<b>45.6</b>		36.7	<b>60.6</b>	28.9	36.4	29.7	17.7
1983	36.5		26.9	39.3	23.7	31.2	28.4	20.4
1984	<b>45.4</b>		32.6	<b>44.9</b>	21.8	32.5	24.8	19.6
1985	36.5		30.6	<b>41.5</b>	23.0	31.4	23.3	17.1
1986	39.8		31.6	39.6	24.9	31.0	26.0	18.4
1987	36.6		35.4	38.0	23.3	28.8	21.5	16.7
1988	28.6		33.0	30.5	27.3	21.9	21.1	15.0
1989	30.3		33.9	34.4	18.9	26.1	21.2	17.8
1990	28.7		23.1	28.3	20.2	25.8	19.1	18.0
1991	28.0		27.4	28.4		23.8	17.3	14.0
1992	27.6	23.5	24.6	24.0	18.1	19.3	15.0	12.4
1993	27.2	23.0	23.5	23.9	19.6	19.0	14.8	11.4
1994	32.0	22.5	21.6	21.4	17.9	18.1	13.7	10.7
1995	29.7	21.5	21.9	21.1	15.4	18.3	13.7	11.3
1996	25.1	21.6	22.2	24.0	15.7	20.2	14.3	12.1
1997	21.7	19.7	19.2	20.2	14.4	17.7	12.8	11.0
1998	22.8	21.2	19.8	16.3	13.5	17.7	12.7	10.7
1999	19.7	17.0	14.6	16.5	12.5	14.4	10.5	8.1
2000	20.5	19.6	17.4	17.3	12.1	14.8	11.5	10.5
2001	20.1	16.9	15.6	16.3	10.3	15.2	10.1	9.8

### 3.1.3 Herkunft des Feinstaubes

Wie in Kapitel 3.1.2.3 beschrieben, wurden die heutigen EU-Grenzwerte (siehe Tabelle 75 und Tabelle 76) früher z.T. großflächig überschritten, insbesondere die Tagesmittelwerte (Tabelle 75). Im Falle von Grenzwertüberschreitungen besteht die Auflage, Aktionspläne zu erstellen, die sicherstellen müssen, dass weitere Überschreitungen in Zukunft vermieden werden. Zur Erstellung der Aktionspläne ist es notwendig, die Ursachen, d.h. die Quellen und Transportwege zu identifizieren und zu quantifizieren.

Eine Zuordnung der Partikelimmissionen zu bestimmten Quellen wurde in Deutschland in den letzten Jahren für einige städtische Gebiete wie beispielsweise für Berlin versucht (*Ref. 15*).

Ausgehend von Luftmassen-Trajektorienanalysen sowie von gemessenen mittleren Konzentrationsdifferenzen zwischen Hintergrundstationen im Umfeld von Berlin (z.B. auch die UBA-Messstelle Neuglobsow, ca. 100 km nordöstlich von Berlin), einem innerstädtischen Wohngebiet (innerstädtischer Hintergrund) sowie innerstädtischen Verkehrsmessstellen (Nahquellen) wurden die Beiträge der 3 Quellgruppen großräumige Quellen, Quellen im Ballungsgebiet sowie Nahquellen zu den an einer verkehrsreichen Straße gemessenen  $PM_{10}$ -Konzentrationen abgeschätzt.

Tabelle 77: Beiträge verschiedener Quellgruppen zum  $PM_{10}$ -Wert an einer verkehrsreichen Straße von  $50.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (*Ref. 16, 17*)

Großräumige Quelle außerhalb von Berlin:	$18.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$	ca. 37 %
Quellen im Ballungsgebiet Berlin	$17.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$	ca. 34 %
Quellen im Nahbereich (verkehrsreiche Straße)	$14.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	ca. 29 %

Ein Vergleich der Anteile in Tabelle 77 zeigt, dass für Berlin etwa 50% der städtischen Hintergrund- $PM_{10}$ -Konzentrationen und mehr als ein Drittel der an der verkehrsreichen Straße gemessenen  $PM_{10}$ -Konzentration durch großräumige Quellen verursacht werden, die außerhalb von Berlin liegen. Eine genauere Quellenzuordnung (z.B. Anteil der deutschen, europäischen und außereuropäischen Quellen) ist aber derzeit noch nicht möglich. Ein nicht unerheblicher Anteil des durch Ferntransport nach Berlin verfrachteten Aerosols scheint sekundäres Aerosol zu sein, das aus  $NH_3$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$  und VOC gebildet worden ist. Allerdings ist der Anteil des sekundären Aerosols am Gesamt- $PM_{10}$ -Aerosol ebenfalls noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

Der Anteil des natürlichen (sekundär und primär) Aerosols an der  $PM_{10}$ -Masse der städtischen Hintergrundkonzentrationen liegt nach (*Ref. 16*) zwischen 10 und 15%, der Anteil steigt auf ca. 20% beim außerhalb von Berlin gemessenen regionalen Hintergrund.

Eine Bestimmung der verschiedenen Anteile des Staubgehaltes an den UBA-Messstellen aus primären und sekundären natürlichen und anthropogenen Aerosolquellen sowie aus lokalen gegenüber regionalen und überregionalen Quellen aus dem Ferntransport ist ungleich schwieriger als für Städte wie z.B. Berlin, da neben den weitgehend fehlenden Konzentrationsunterschieden gegenüber dem Umland der Messstellen auch wesentliche Parameter, die zu einer solchen Abschätzung erforderlich sind, im Messnetz des UBA nicht gemessen

werden. So kann beispielsweise der Anteil der sekundären Aerosolbildung nur dann mit hinreichender Genauigkeit abgeschätzt werden, wenn die Partikelkonzentrationen und die größenabhängige chemische Zusammensetzung in hoher zeitlicher Auflösung (Minuten bis maximal Stunden) verfolgt werden kann (Ref. 17). Hinzu kommt, dass die Messung einiger dominierender sekundärer Aerosolkomponenten (z.B. Ammoniumnitrat, organische Kohlenstoffverbindungen) wegen der semi-flüchtigen Eigenschaften dieser Stoffe erheblich erschwert ist. (Ref. 17). Eine detaillierte Abschätzung der Beiträge verschiedener Quellen und Quellgruppen für die Stationen im UBA-Messnetz wird deshalb an dieser Stelle nicht versucht.

### 3.1.4 Literatur

(1) UBA (2000)

*Wirkungen und Bewertung von Feinstaub. Proceedings: Feinstaub – Die Situation in Deutschland nach der EU-Richtlinie, Bericht über Symposium am 26. und 27. Juni 2000, Berlin, WaBoLu - Hefte 2/00, S. 15 – 96, Redaktion: N. Englert und H.-G. Mücke.*

(2) Remus, R. (2000)

*Entstehung und Quellen der Feinstaub-Emissionen. Proceedings: Feinstaub – Die Situation in Deutschland nach der EU-Richtlinie, Symposium am 26. und 27. Juni 2000, Berlin, WaBoLu-Hefte 2/00, S.99 – 108.*

(3) Schütz, L. and Seibert, M. (1987)

*Mineral aerosols and source identification. Journal Aerosol Science, 18, 1, pp. 1-10*

(4) EMEP (1999)

*Long-range transport of Aerosol Particles: A Literature Review by M. Lazaridis, A. Semb and O. Hov, EMEP/CCC-Report 8/99.*

(5) Jaenicke, R. (1978)

*Über die Dynamik atmosphärischer Aitkenteilchen. Ber. Bunsengesellschaft. Phys. Chem. 82 (1978), S.1198 – 1202.*

(6) Kuhlbusch, T. (2001)

*PMX-Massenkonzentrationen, chemische Zusammensetzung und Quellenzuordnung. In: Proceedings Workshop Herausforderung Aerosole vor dem Hintergrund der europäischen Umweltgesetzgebung, S. 85-96 (Literatur zu epidemiologischen Untersuchungen in dieser Arbeit). DECHEMA, Frankfurt/M., 30./31. Mai 2001.*

(7) Harrison, R. et al. (1999)

*Atm.Env. 33, pp.303 – 321*

(8) Wichmann, H.E. (2000)

*S.43 – 75 in Ref.1*

- (9) BUWAL (2001)  
*PM<sub>10</sub>: Fragen und Antworten zu Eigenschaften, Emissionen, Immissionen, Auswirkungen und Maßnahmen, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 29. März 2001, 39 Seiten*
  
- (10) KRdL im VDI und DIN (1999)  
*VDI Richtlinie 2267, Blatt 1, VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4, Beuth-Verlag, Berlin.*
  
- (11) UBA (2000)  
*Jahresbericht 1999 aus dem Messnetz des UBA, Texte 58/00, S.137 – 152.*
  
- (12) UBA (1997)  
*Daten zur Umwelt, 1997, Erich – Schmidt Verlag, Berlin.*
  
- (13) Mylona, S. (1999)  
*EMEP Emission Data Status Report 1999, EMEP/MSC-W Report 1/99.*
  
- (14) Olendrzynski et al. (1996)  
*Atmospheric emissions and depositions of cadmium, lead and zinc in Europe during the period 1955 – 1987, Env. Reviews, Vol.4, pp.300 – 320, 1996.*
  
- (15) Lenschow, P. und Pesch, M. (2000)  
*Zuordnung von Immissionen zu Quellen, WaBoLu-Hefte 2/00: Feinstaub – Die Situation in Deutschland nach der EU-Tochterrichtlinie. Bericht über ein Symposium am 26./27. Juni 2000, S. 135 – 150.*
  
- (16) Abraham, H.J. et al. (2000)  
*Some ideas about sources of PM<sub>10</sub>, WaBoLu-Hefte 2/2000, Bericht Symposium 26./27. Juni 2000, S. 195 – 203.*
  
- (17) EUROTRAC 2, Annual Report (2000)  
*Aerosol, Composition and Size Evaluation of the Secondary Aerosol. The complete report can be found at the following website: <http://aerosol.web.psi.ch>*

## 3.2 Die Ozon-Episoden in Deutschland im Juli und August 2001

*Siegfried Beilke, Manfred Jäschke, Karin Uhse und Markus Wallasch, Umweltbundesamt, FG II 6.6, Außenstelle Langen*

*Ute Dauert, Susanne Grittner, Wolfgang Bräuniger und Angela Weikinn, Umweltbundesamt, FG II 6.2, Berlin*

*Andreas Klein, Barbara Fay, Ingo Jacobsen und Volker Vent-Schmidt, Deutscher Wetterdienst, Offenbach*

### 3.2.1 Einleitung

In Deutschland haben die Ozon-Spitzenkonzentrationen zwischen 1990 und 2001 deutlich abgenommen (siehe Abbildung 73 bis Abbildung 77), während die Mittelwerte angestiegen sind (*Ref. 1, 2*). Die Abnahme der Spitzenwerte ist im Wesentlichen auf die erhebliche Reduzierung der Emissionen der Ozonvorläufer (NO<sub>x</sub> und VOC) in Deutschland als auch in den europäischen Nachbarstaaten und nicht auf meteorologische Einflüsse zurückzuführen (*Ref. 1, 3*). Die scheinbar paradoxe, gleichzeitige Zunahme der mittleren Ozon-Konzentrationen, wie zum Beispiel der Jahresmittelwerte, ist neben dem zunehmenden Beitrag aus dem nordhemisphärischen Ozon-Hintergrund zu einem nicht unerheblichen Teil auf die Reduzierung der Emission von Stickoxiden zurückzuführen, die Ozon sowohl bilden als auch abbauen können. Eine Abnahme der Stickoxid-Konzentrationen (werden als NO hauptsächlich durch den Straßenverkehr emittiert) führt in Emittentennähe zu einer Verminderung des sog. Titrationseffektes“ (Verbrauch von Ozon durch NO unter Bildung von NO<sub>2</sub>), der zum Anstieg der mittleren Ozonkonzentrationen führen kann.

Eine ähnliche Entwicklung, nämlich ein Rückgang der Ozon-Spitzenwerte und eine Zunahme der Mittelwerte, wurde beispielsweise auch in Österreich, der Schweiz (*Ref. 4, 5*) sowie in Großbritannien (*Ref. 6*) beobachtet.

Abbildung 73 bis Abbildung 77 zeigen den generellen Rückgang der Ozon-Spitzenwerte in Deutschland zwischen 1990 und 2001, gemessen an allen deutschen Ozonstationen von Bund und Ländern (ca. 200 in 1990 und ca. 370 in 2001).

Abbildung 73 zeigt als Beispiel den Verlauf der maximalen Ozon-Stundenwerte in Deutschland zwischen 1990 und 2001. Ozonkonzentrationen über 300 µg/m<sup>3</sup> wurden seit 1994 in Deutschland nicht mehr beobachtet. Die maximalen Ozonwerte (1-h-Mittel) lagen nach 1994 zwischen 200 µg/m<sup>3</sup> und 300 µg/m<sup>3</sup>.

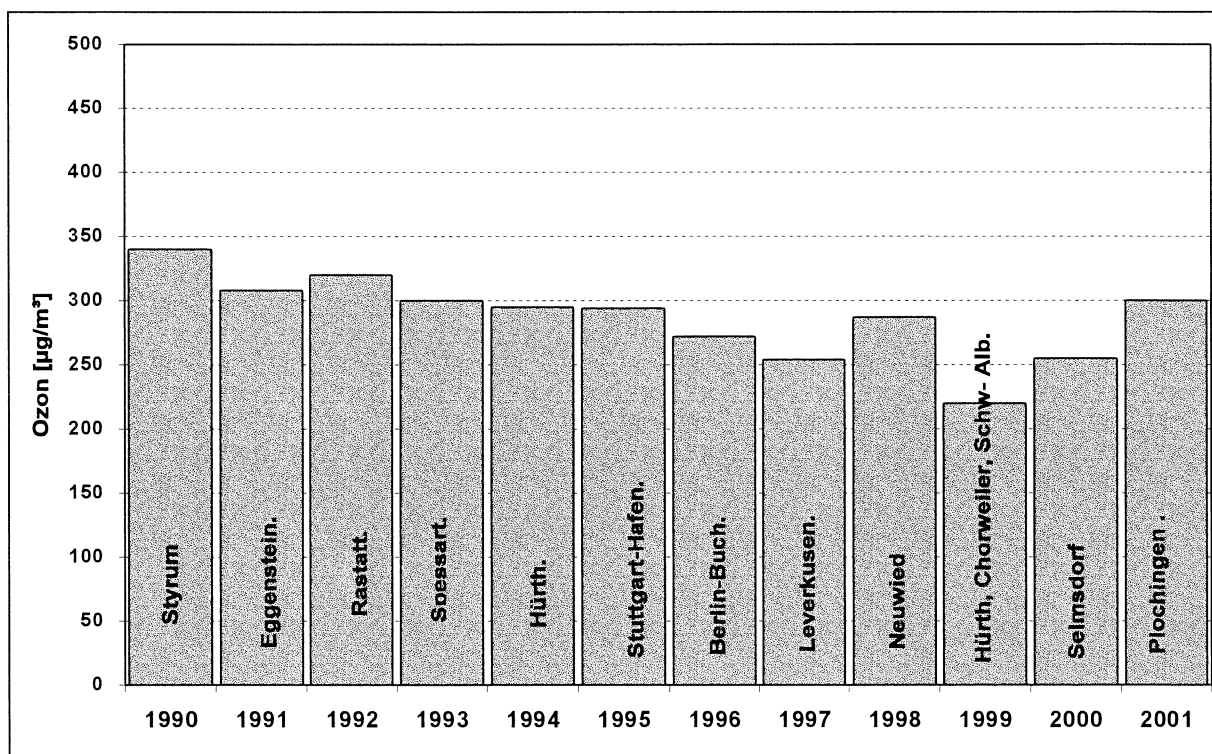


Abbildung 73: Jährliche maximale Ozonkonzentrationen in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mit Angabe der registrierenden Messstelle

Wesentlich deutlicher sichtbar ist die Abnahme des Auftretens von Ozonspitzenwerten in Abbildung 74 bis Abbildung 77.

Abbildung 74 zeigt die Zahl der Stunden mit Ozonwerten  $>240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1-h-Mittel) im Mittel über die jeweils in Deutschland betriebenen Messstellen, die in der Untersuchungsperiode zwischen 194 und 392 schwankte. In Abbildung 75 ist die Zahl der Tage angegeben, an denen an mindestens einer der deutschen Ozonmessstellen die Ozon-Schwellenwerte für den Schutz der menschlichen Gesundheit (*Ref. 7*) von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  überschritten worden sind. Man erkennt eine deutliche Abnahme der Überschreitungen von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  insbesondere bei den über alle Messstellen gemittelten Stundenzahlen (Abbildung 74).

Abbildung 76 und Abbildung 77 zeigen den entsprechenden Rückgang der Überschreitungen von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Man erkennt ebenfalls einen Abfall der Überschreitungen, der allerdings schwächer ausgeprägt ist als bei den Überschreitungen von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

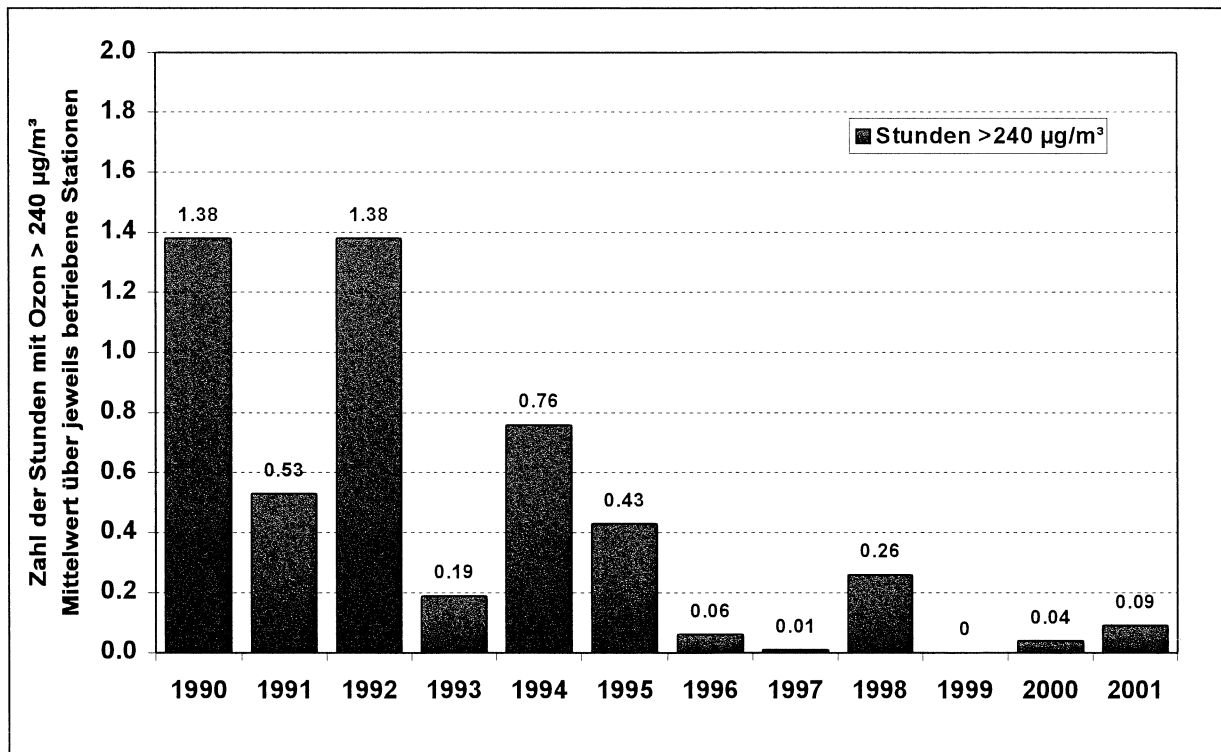


Abbildung 74: Zahl der Stunden mit Ozonwerten  $> 240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , im Mittel über die jeweils betriebenen Messstellen

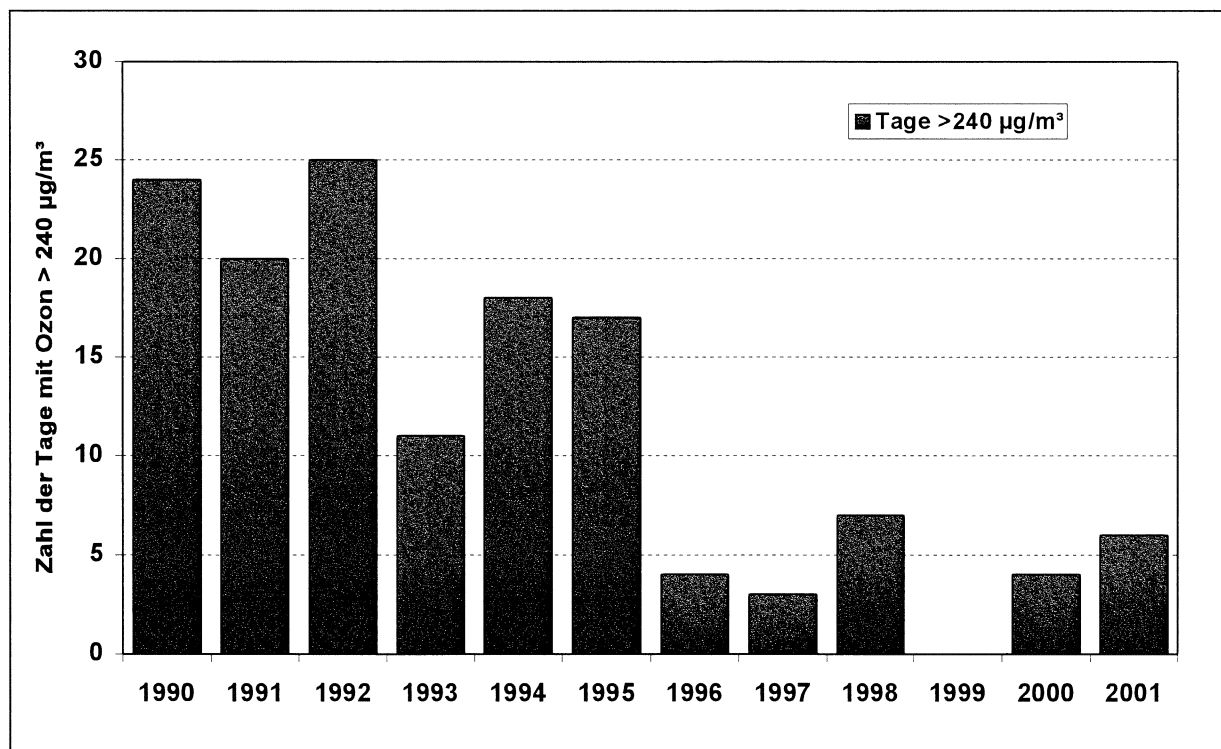


Abbildung 75: Zahl der Tage mit Ozonwerten  $> 240 \mu\text{g}/\text{m}^3$

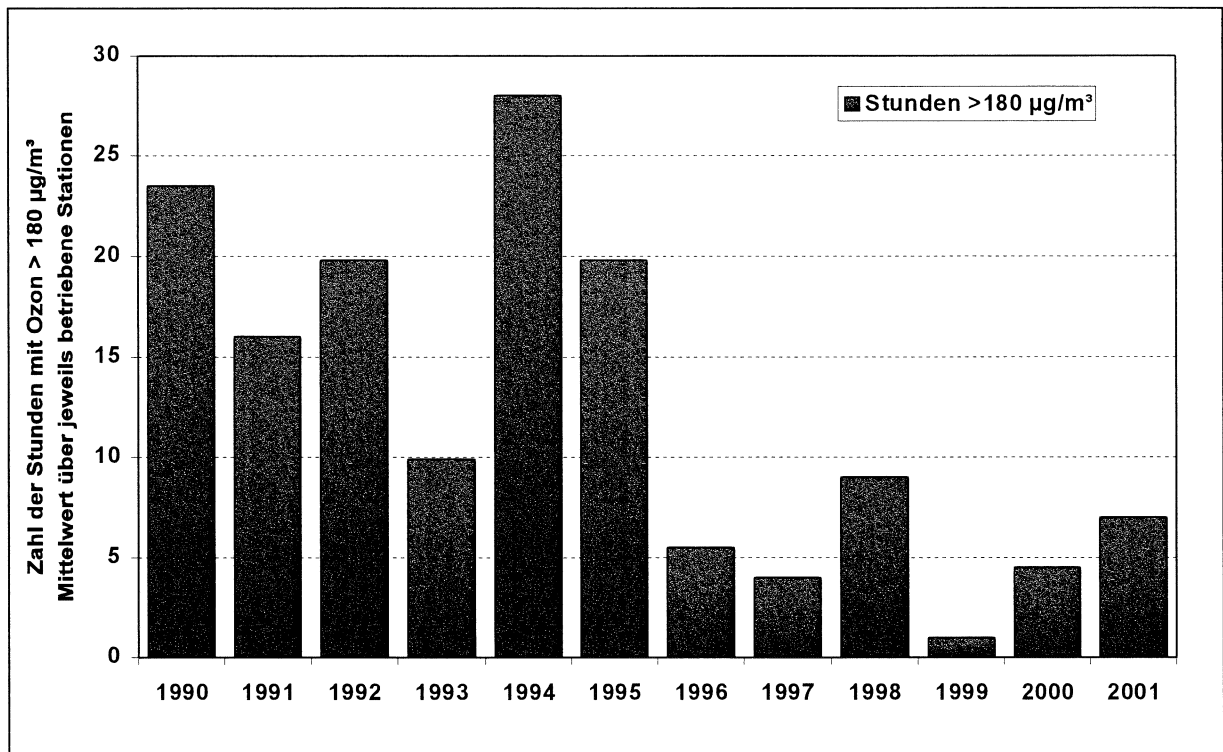


Abbildung 76: Zahl der Stunden mit Ozonwerten  $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , im Mittel über die jeweils betriebenen Messstellen

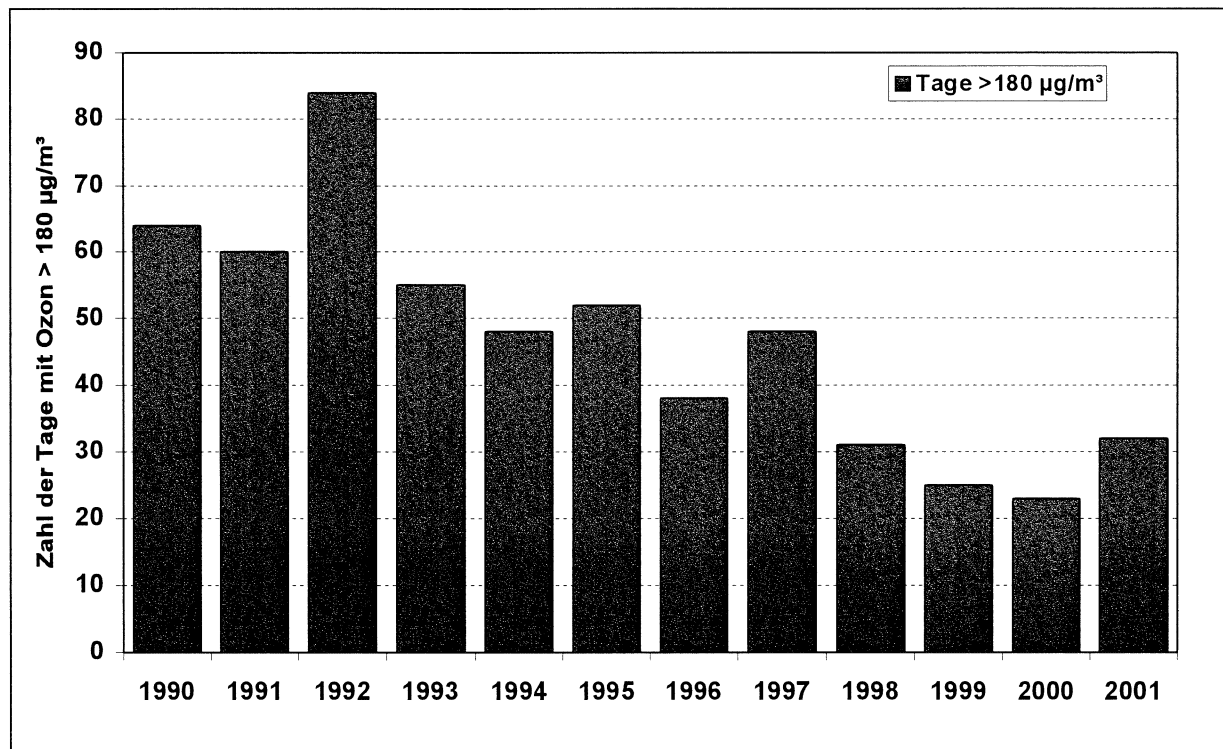


Abbildung 77: Zahl der Tage mit Ozonwerten  $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Der in Abbildung 73 bis Abbildung 77 gezeigte, im Wesentlichen auf die Emissionsminderung von  $\text{NO}_x$  und VOC zurückzuführenden Rückgang der Ozon-Spitzenkonzentrationen ist durch meteorologisch bedingte Schwankungen überlagert, die zu erheblichen Fluktuationen der Ozon-Spitzenwerte von Jahr zu Jahr führen können.

Während im Jahre 1999 der niedrigste maximale Stundenwert ( $219 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) seit 1990 beobachtet wurde, traten in den Jahren 2000 ( $253 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und 2001 ( $299 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) erneut relativ hohe Spitzenwerte auf, die neben noch immer hohen Emissionen im lokalen bis regionalen Maßstab auch auf extreme Wetterbedingungen zurückzuführen sind. Die Ozon-Episode im Jahre 2000 wurde ausführlich in *Ref. 8* beschrieben.

In diesem Bericht werden die Ozon-Episoden in Deutschland im Jahre 2001 näher untersucht.

### **3.2.2 Analyse der Ozonepisoden im Juli und August 2001**

#### **3.2.2.1 Zeitliche und räumliche Verteilung der Ozonkonzentrationen**

Im Jahr 2001 gab es in Deutschland im Vergleich zu 1999 und 2000 wieder häufiger hohe Ozonwerte über  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1-h-Mittel). Die Überschreitungen von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  traten Ende Juli vor allem in Baden-Württemberg sowie zwischen dem 24. und 26. August 2001 in Nordrhein-Westfalen während mehrerer Hitzeperioden auf. Der maximale Ozonwert wurde am 31. Juli 2001 mit  $299 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Plochingen (bei Stuttgart) gemessen (Tabelle 78).

Abbildung 78 zeigt die zeitliche Verteilung der Häufigkeit der Schwellenwert-überschreitungen von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Abbildung 79 zeigt die entsprechende Verteilung der Überschreitungen von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Angegeben ist die Zahl der Stunden mit Überschreitungen von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bzw.  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Der Schwellenwert von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurde 2001 an insgesamt 33 Tagen, der Wert von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an insgesamt 7 Tagen überschritten.

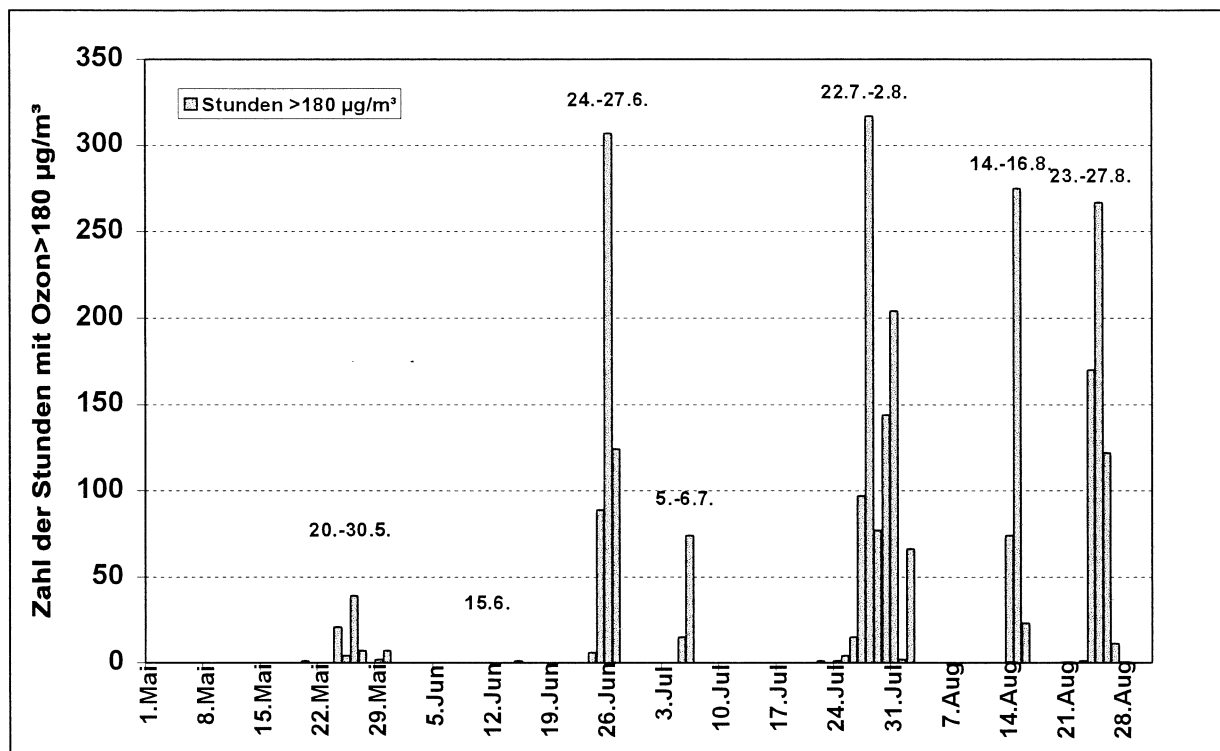


Abbildung 78: Zeitliche Verteilung der Häufigkeit der Schwellenwertüberschreitungen (Stunden) von 180 µg/m³

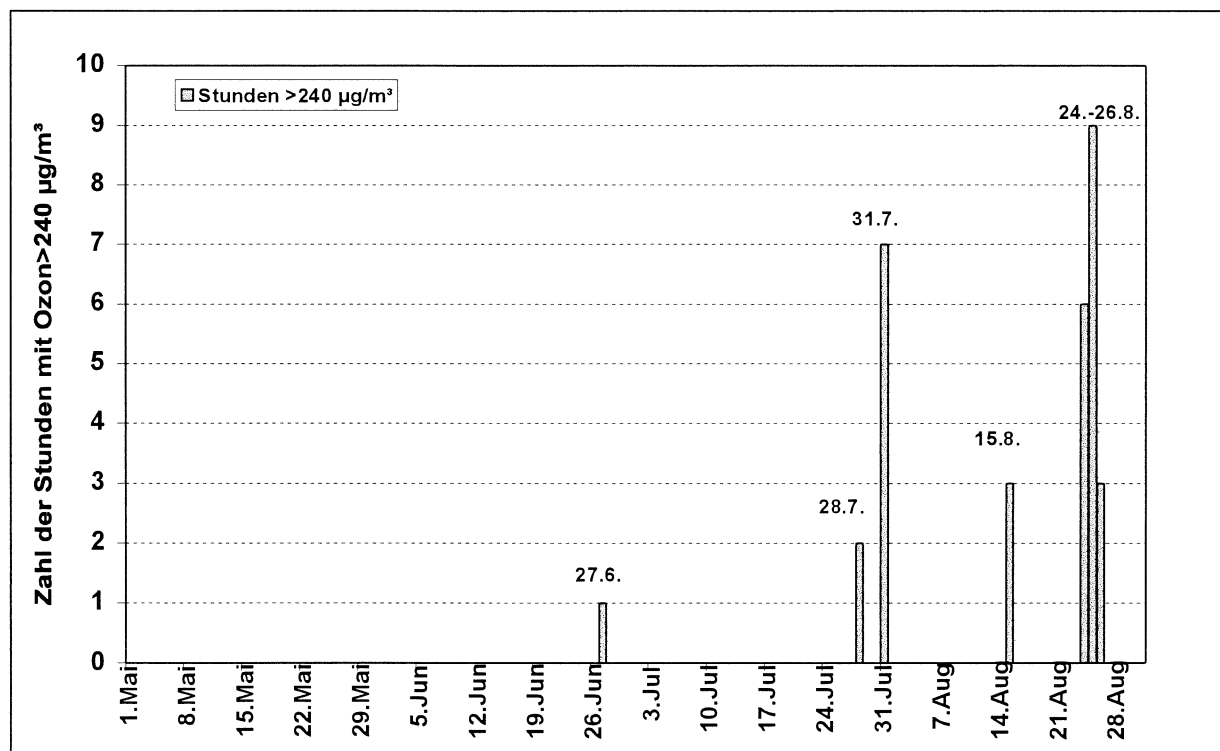


Abbildung 79: Zeitliche Verteilung der Häufigkeit der Schwellenwertüberschreitungen (Stunden) von 240 µg/m³

Die höchsten Stundenwerte wurden an folgenden Orten und Tagen beobachtet (Tabelle 78):

Tabelle 78: Maximale Ozon-Stundenwerte in Deutschland im Jahre 2001 BW: Baden-Württemberg, PR: Rheinland-Pfalz, NW: Nordrhein-Westfalen

<b>Station</b>	<b>Bundesland</b>	<b>Datum</b>	<b>1-Std-Maximalwert</b>
Plochingen	Baden-Württemberg	31.7.2001	299 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Wesel-Feldmark	Nordrhein-Westfalen	25.8.2001	289 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Westerwald-N.	Rheinlandpfalz	28.7.2001	265 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Solingen-Wald	Nordrhein-Westfalen	24.8.2001	258 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Moers-Meerbeck	Nordrhein-Westfalen	25.8.2001	258 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Hürth	Nordrhein-Westfalen	25.8.2001	254 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Köln-Chorweiler	Nordrhein-Westfalen	26.8.2001	253 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Borken-Gemen	Nordrhein-Westfalen	15.8.2001	252 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Hürth	Nordrhein-Westfalen	24.8.2001	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Göppingen	Baden-Württemberg	31.7.2001	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Kehl-Hafen	Baden-Württemberg	26.8.2001	248 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dormagen-Horrem	Nordrhein-Westfalen	26.8.2001	248 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Kehl-Hafen	Baden-Württemberg	28.7.2001	245 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Plochingen	Baden-Württemberg	27.6.2001	244 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Bernhausen	Baden-Württemberg	31.7.2001	243 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Langenfeld-R.	Nordrhein-Westfalen	24.8.2001	243 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Leverkusen-M.	Nordrhein-Westfalen	24.8.2001	242 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Köln-Rodenkirchen	Nordrhein-Westfalen	24.8.2001	242 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

In Abbildung 80 bis Abbildung 83 ist die räumliche Verteilung der Ozonüberschreitungen für die Sommersmogepisoden am 31. Juli (Abbildung 80) sowie für den 24. bis 26. August 2001 (Abbildung 81 bis Abbildung 83) dargestellt.

## Ozonüberschreitungen am 31.7.2001 in Deutschland

(Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

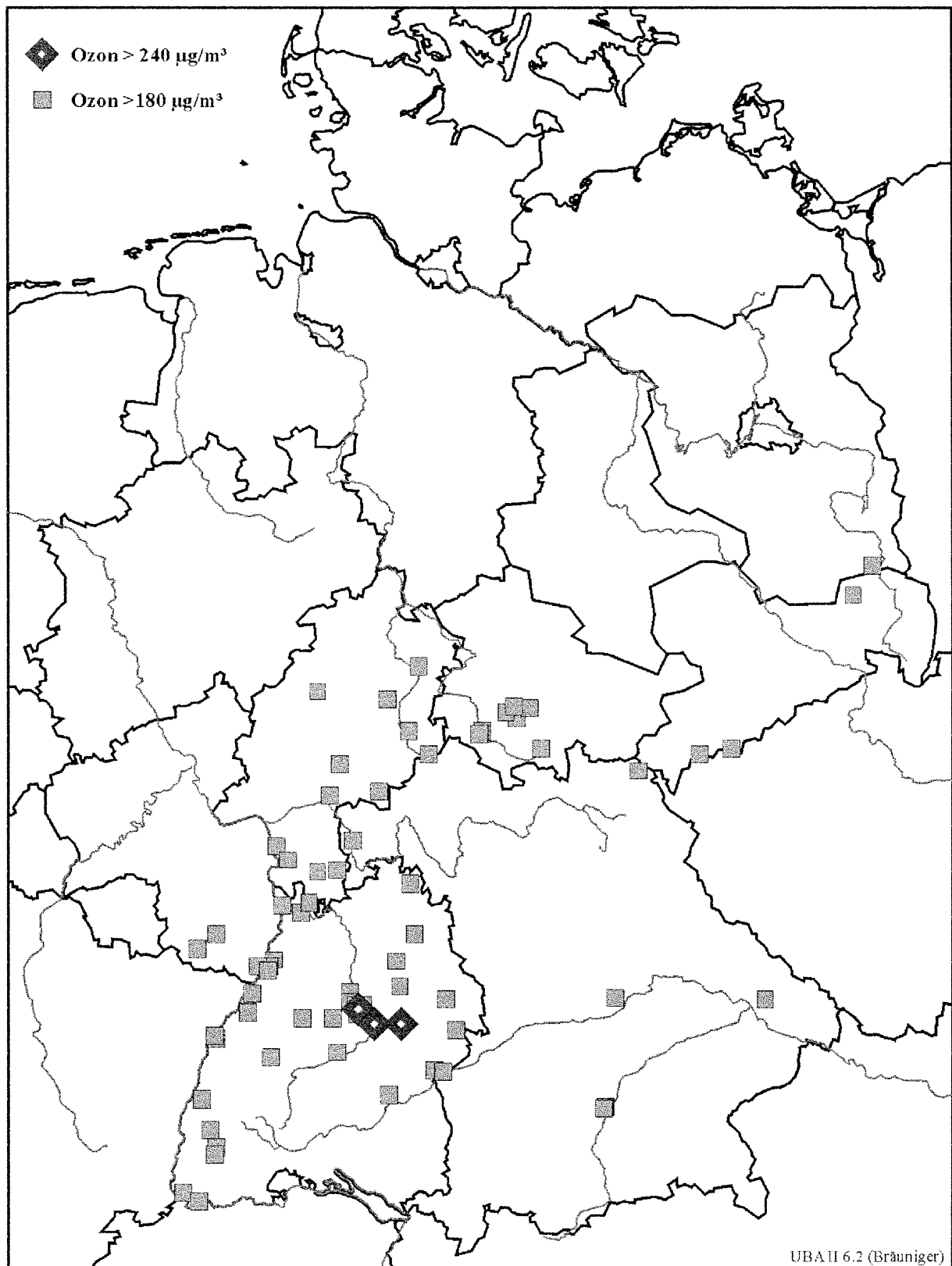


Abbildung 80: Ozonschwellenwert-Überschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 31. Juli 2001.

## Ozonüberschreitungen am 24.8.2001 in Deutschland

(Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

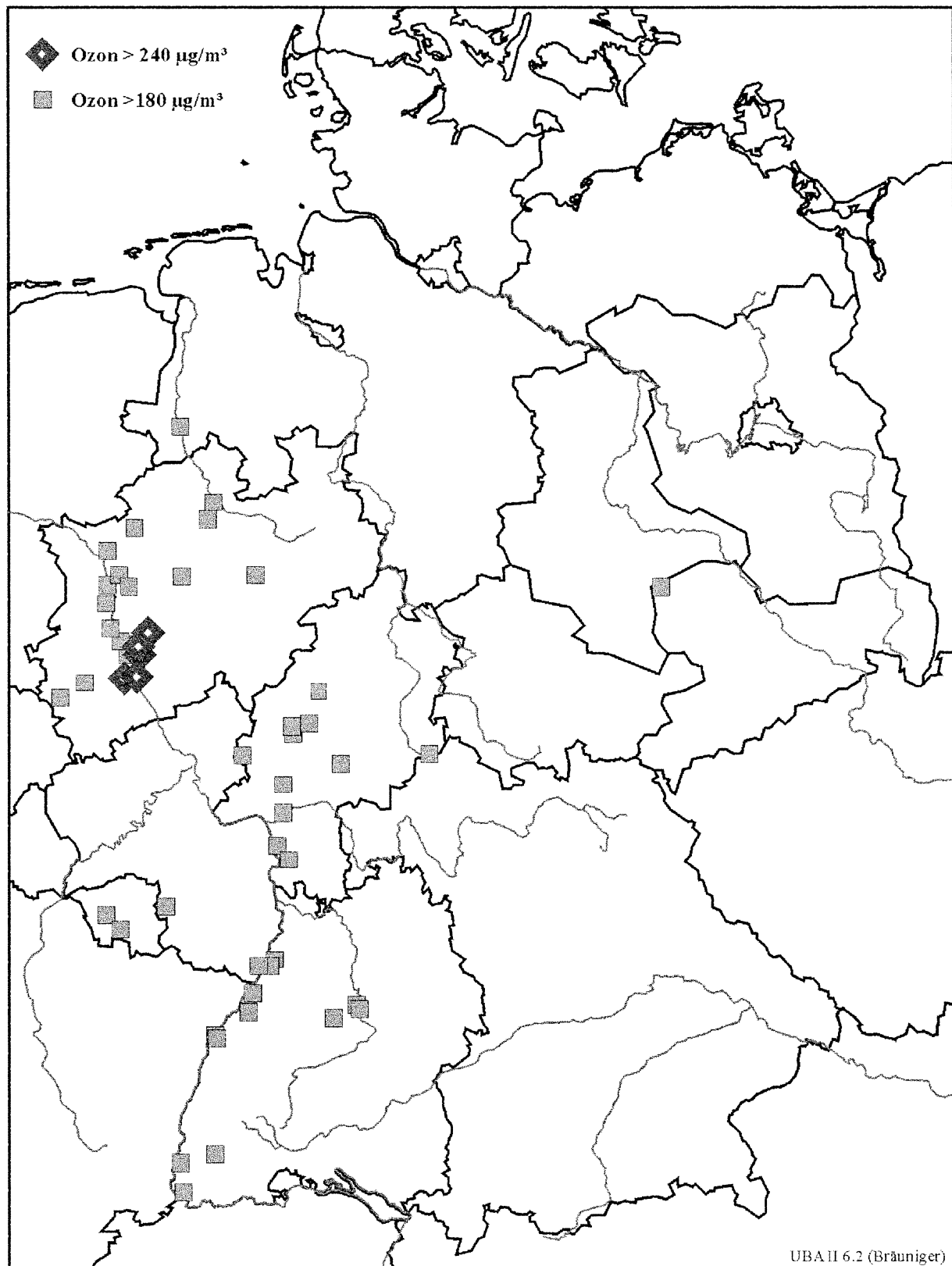


Abbildung 81: Ozonschwellenwert-Überschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 24. August 2001.

## Ozonüberschreitungen am 25.8.2001 in Deutschland

(Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

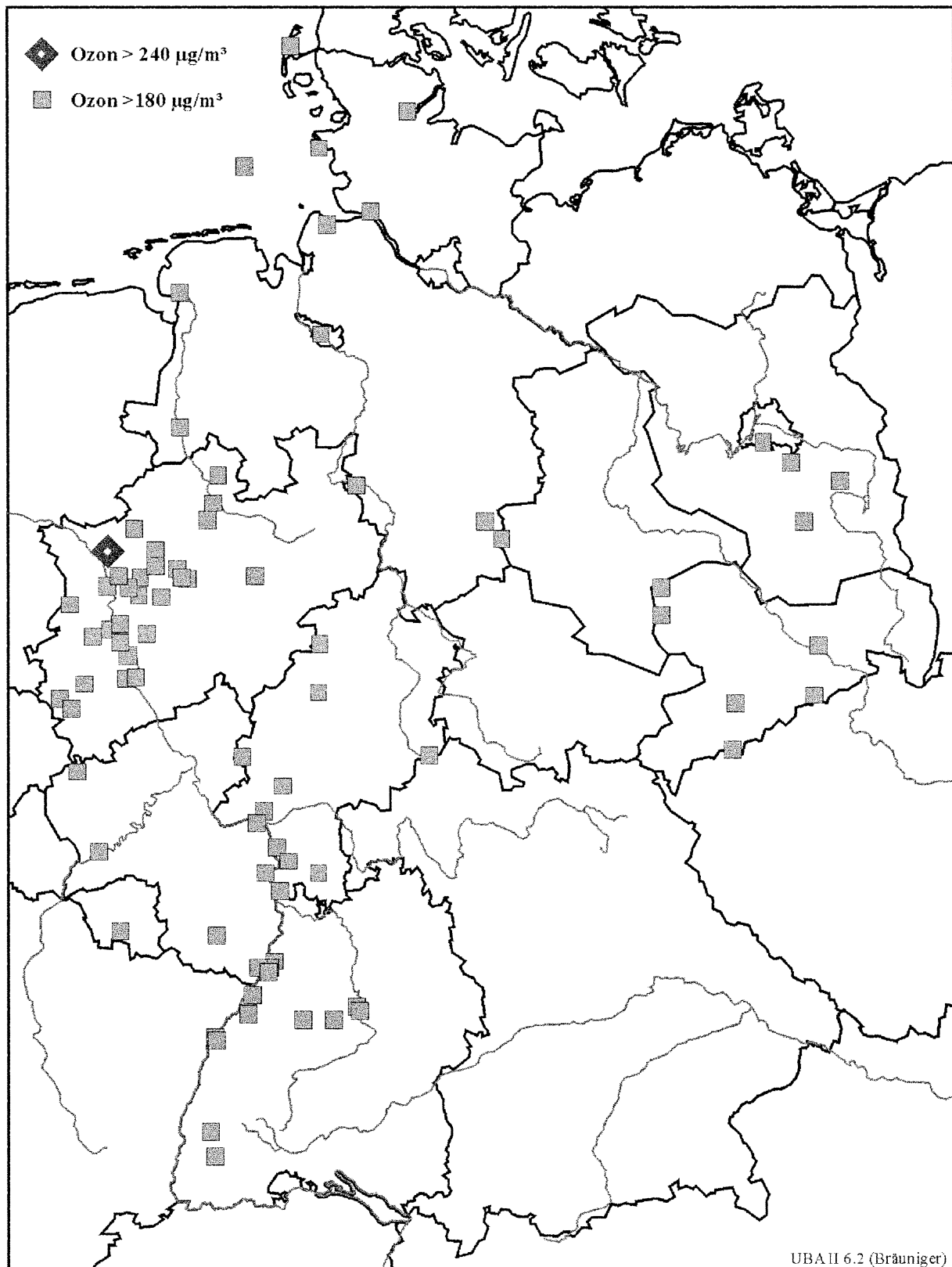


Abbildung 82: Ozonschwellenwert-Überschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 25. August 2001.

## Ozonüberschreitungen am 26.8.2001 in Deutschland

(Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

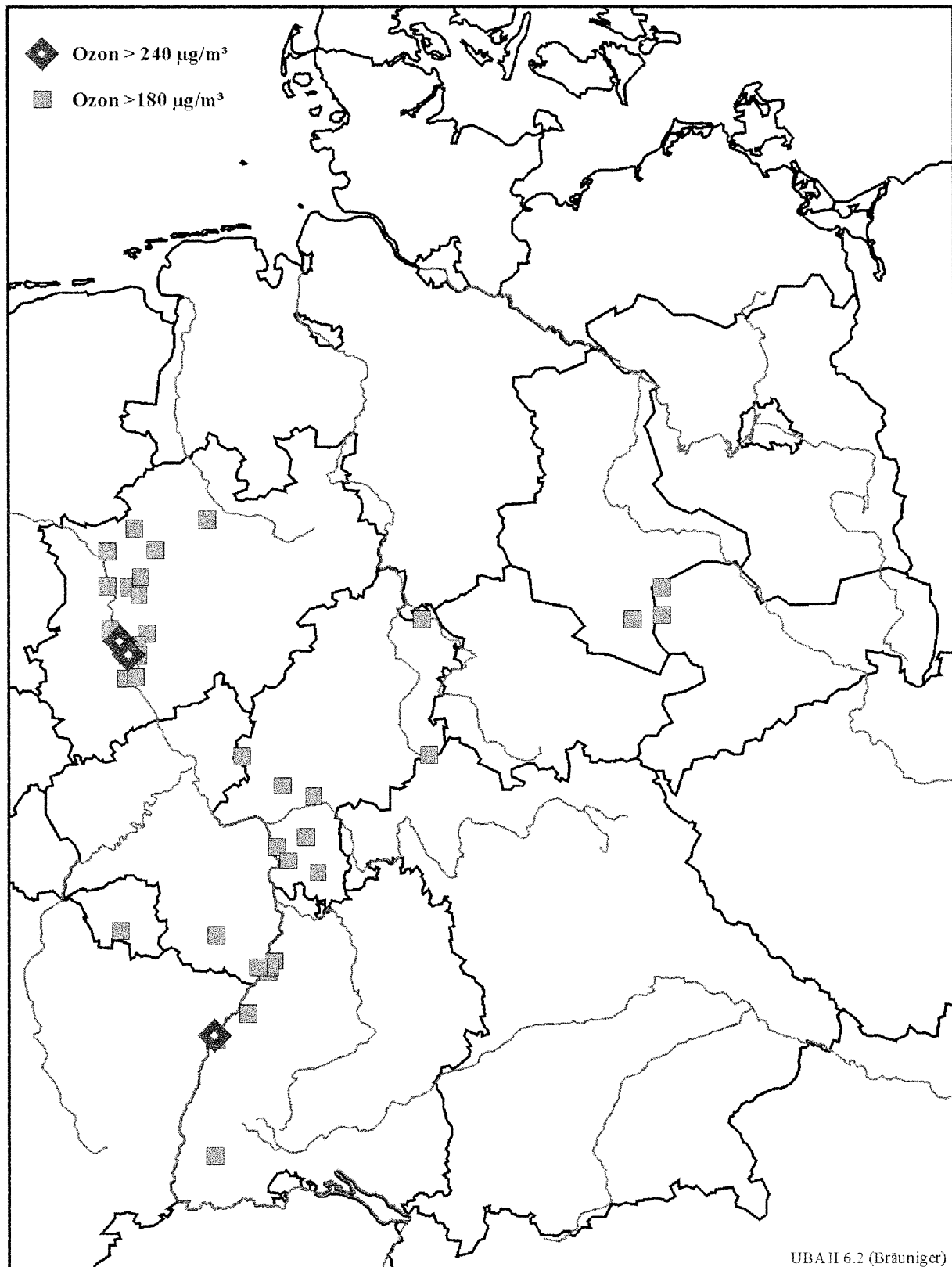


Abbildung 83: Ozonschwellenwert-Überschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 26. August 2001.

Man erkennt deutlich zwei Zentren mit Überschreitungen von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :

- am 31. Juli. 2001 östlich des Großraums Stuttgart (Plochingen, Bernhausen, Göppingen)
- am 24./25./26. August 2001 in der näheren Umgebung von Köln (Köln-Chorweiler, Köln-Rodenkirchen, Hürth, Dormagen-Horrem, Langenfeld-Reusrath, Leverkusen-Manford, Solingen-Wald).

Im Gegensatz zur höchsten gemessenen Ozonkonzentration im Jahre 2000 ( $253 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Selmsdorf, Mecklenburg-Vorpommern), bei der neben lokal/regionalen Effekten auch der Ferntransport erheblich zu den hohen Ozonspitzen beigetragen hat, handelt es sich bei den Maximalwerten im Jahr 2001 im Wesentlichen um quasi-lokale Effekte, die zu den hohen Ozonwerten geführt haben (vgl. hierzu Abschnitt 3.2.2.3).

### 3.2.2.2 Meteorologische Situation

Im Jahre 2001 wurde zum ersten Mal der Schwellenwert von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  am 27. Juni in Baden-Württemberg (Plochingen) überschritten. Unter vorübergehendem Hochdruckeinfluss über Mitteleuropa kam es im Südwesten Deutschlands aufgrund mehrtägiger ungehinderter Sonneneinstrahlung gerade zum Zeitpunkt des Sonnenhöchststandes zu einer kräftigen Erwärmung der unteren Troposphäre. Stellenweise traten Tageshöchsttemperaturen von etwas über  $30^\circ\text{C}$  auf. Damit waren jene meteorologischen Bedingungen vorhanden, die für die Bildung hoher Ozonkonzentrationen notwendig sind. Mit dem Durchzug einer flachen Tiefdruckrinne vom 27. zum 28. Juni wurde aber diese Wetterlage wieder rasch beendet.

Mit dem Aufbau einer Hochdruckbrücke ab dem 21. Juli stellte sich über Deutschland eine sonnenscheinreiche Witterungsphase mit kräftiger Erwärmung ein. In den südlichen und westlichen Gebieten Deutschlands herrschten ab dem 22. Juli sommerliche bis hochsommerliche Temperaturen vor, die am Monatsende ihren Höhepunkt fanden (Tageshöchsttemperaturen bis  $32^\circ\text{C}$ ). Entsprechend dieser Entwicklung konnte sich eine Ozonepisode ausbilden. Die Ozonkonzentrationen stiegen von Tag zu Tag an, wobei schließlich in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz gebietsweise der Schwellenwert von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  überschritten wurde. Mit dem Vordringen atlantischer Tiefausläufer nach Mitteleuropa ging diese Ozonepisode am 3. August zu Ende.

Im August kam es noch zweimal zu Entwicklungen von Wetterlagen, die kräftige Anstiege der Ozonkonzentrationen mit Überschreitungen des Schwellenwertes von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zur Folge hatten. Mitte des Monats strömten kurzzeitig maritime tropische Luftmassen nach Mitteleuropa. In weiten Teilen Deutschlands – bis hinauf nach Schleswig-Holstein – wurden Tageshöchsttemperaturen zwischen  $30^\circ\text{C}$  und  $35^\circ\text{C}$  gemessen. Sie stellten die Höchstwerte des Jahres dar. Die warme Südströmung mit gleichzeitig sonnigem Wetter hielt aber nicht lange an, so dass nur an einem Tag und an einer Station in Nordrhein-Westfalen (Borken-Gemen) ein 1-Std.-Ozonwert von  $252 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zustande kam.

Eine echte Ozonepisode war zwischen dem 24. und 26. August zu beobachten. Ein Hochdruckgebiet über Skandinavien weitete seinen Schwerpunkt in Richtung Schwarzes Meer aus. Damit gelangte Deutschland in den Zustrom kontinentaler Warmluft mit reichlich



Sonnenschein und bis über 30 °C ansteigenden Temperaturen. In Nordrhein-Westfalen kam es dabei mehrfach und in Baden-Württemberg zu Überschreitungen des Schwellenwertes von 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mit der Umstellung der Wetterlage und dem Einfließen von Nordseeluft nach Deutschland fand diese Ozonepisode am 27. August ihr abruptes Ende.

### 3.2.2.3 Interpretation der hohen Ozonwerte

Die Bildung hoher Ozonkonzentrationen erfordert die Erfüllung besonderer emissionsseitiger und meteorologischer Voraussetzungen: Das Vorhandensein der beiden Ozonvorläufer  $\text{NO}_x$  und VOC in ausreichend hohen Konzentrationen, eine intensive Sonneneinstrahlung (UV-Strahlung) und eine mehrere Tage andauernde stabile sommerliche Schönwetterperiode, die zu einer Speicherung von Ozon innerhalb der atmosphärischen Mischungsschicht führt. (Ref. 1).

Dass Ozonspitzenwerte über 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  während der Sommersmog-Episoden im Jahr 2001 häufiger als in den Vorjahren auftraten, war im Wesentlichen eine Folge der für die Ozonbildung günstigeren meteorologischen Bedingungen im Vergleich zu den vorangegangenen Jahren. Die meteorologische Situation während der Ozonepisoden war überwiegend durch schwachwindige, mehrere stabile Hochdruckwetterlagen mit Temperaturen großräumig über 30 °C und Mischungsschichthöhen zwischen 1.5 km und 2 km geprägt (siehe Abschnitt 3.2.2.2).

Um Aussagen über die Herkunft der Ozonbelastung machen zu können, wurden die Zugbahnen der Luftmassen über einen Zeitraum von 3 Tagen vor Eintreffen an den Stationen anhand sog. Rückwärtstrajektorien zurückverfolgt. Die Ankunftszeiten der Trajektorien wurden so gewählt, dass die Luftmassen etwa zum Zeitpunkt der maximalen Ozonkonzentrationen die Stationen erreichten.

In Abbildung 84 bis Abbildung 87 ist der Verlauf der Rückwärtstrajektorien beispielhaft für die Stationen Plochingen (Ankunft der Trajektorie am 31.7.2001, 15:00 UTC) sowie für Rodenkirchen (Ankunft am 24.8.2001, 15:00 UTC), Meerbeck (Ankunft am 25.8.2001, 18:00 UTC) und für Köln-Chorweiler (Ankunft am 26.8.2001, 15:00 UTC) für unterschiedliche Höhenniveaus dargestellt (Boden, 950 hPa (540 m), 900 hPa (1000 m) und 850 hPa (1500 m)).

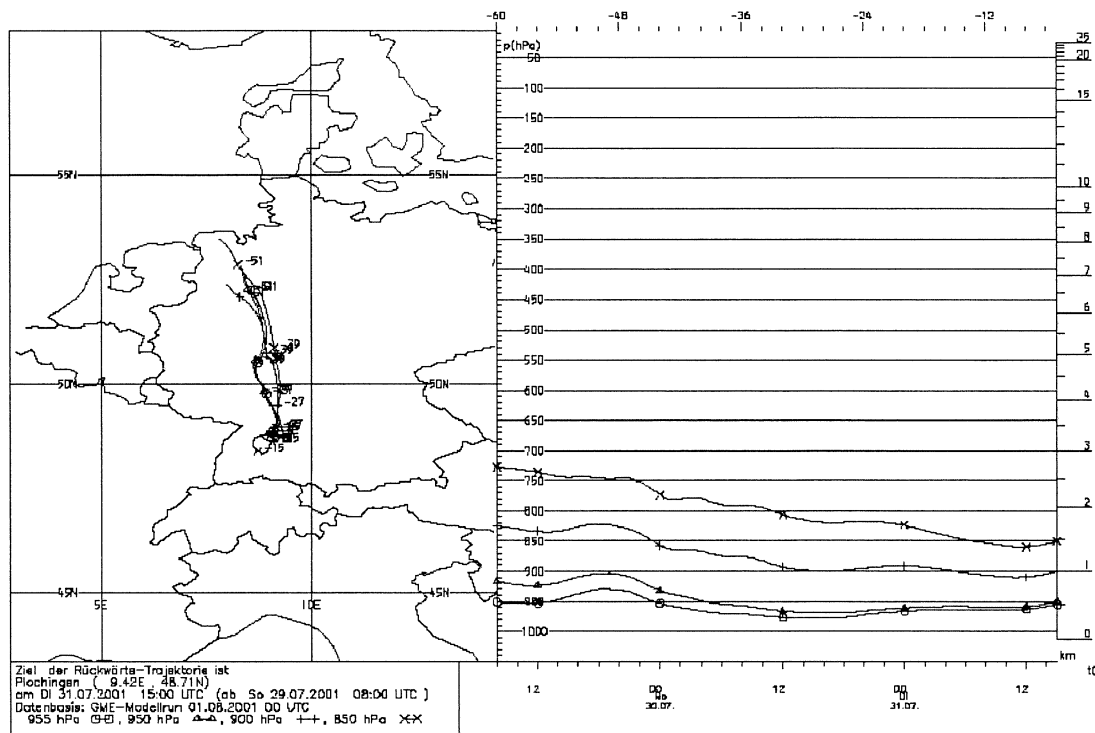


Abbildung 84: Rückwärtstrajektorien nach Plochingen am 31.7.2001, 15:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhenniveaus. Linke Abbildung.: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abbildung: vertikaler Verlauf der Trajektorien

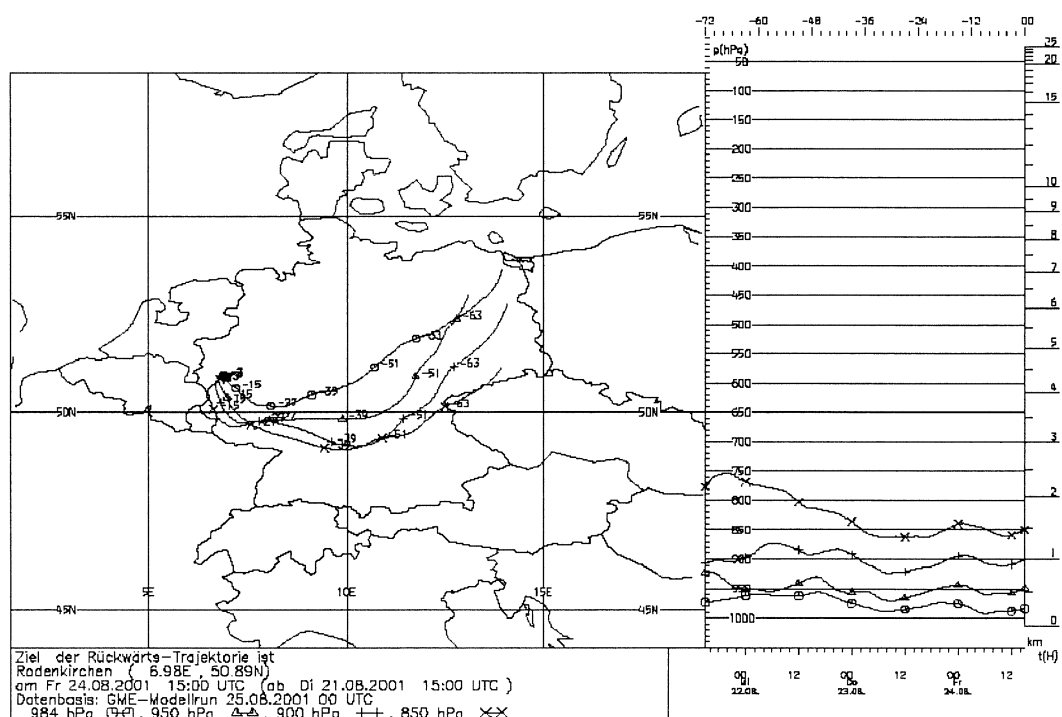


Abbildung 85: Rückwärtstrajektorien nach Rodenkirchen am 24.8.2001, 15:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhenniveaus. Linke Abbildung.: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abbildung: vertikaler Verlauf der Trajektorien

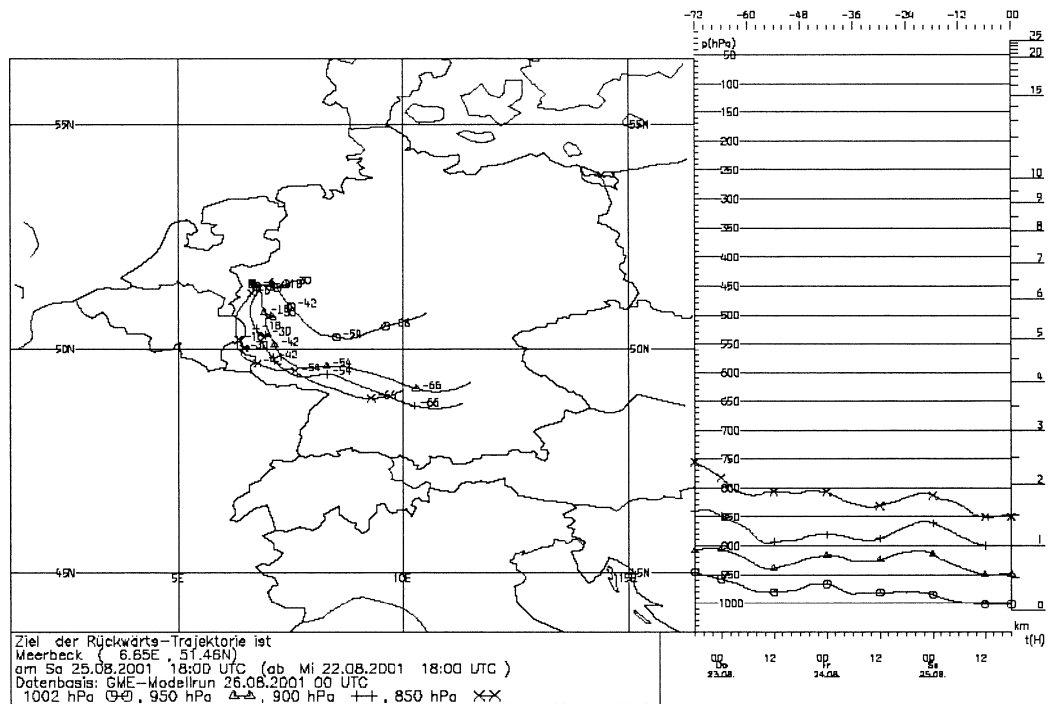


Abbildung 86: Rückwärtstrajektorien nach Meerbeck am 26.8.2001, 18:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhengniveaus. Linke Abbildung.: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abbildung: vertikaler Verlauf der Trajektorien

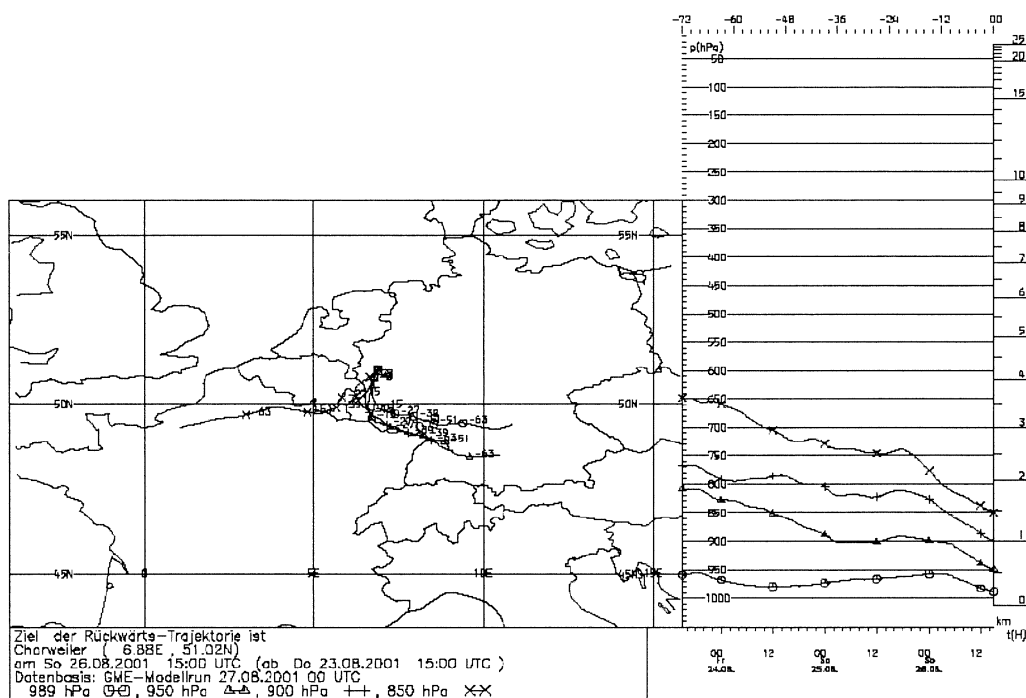


Abbildung 87: Rückwärtstrajektorien nach Köln-Chorweiler am 24.8.2001, 15:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhengniveaus. Linke Abbildung.: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abbildung: vertikaler Verlauf der Trajektorien

Wie der Verlauf der Trajektorien zeigt, sind die Luftmassen bis etwa 24 Stunden vor Erreichen der Stationen relativ rasch, danach aber sehr langsam und bisweilen mehrmals über Gebiete mit einer hohen Emissionsdichte der Ozonvorläufer vagabundiert, wodurch sich innerhalb der Mischungsschicht ein hoher Ozonsockel aufgebaut hat, auf dem dann über Gebieten mit hoher Emissionsdichte der Vorläufer oder im Lee dieser Gebiete (z.B. im Lee von Stuttgart oder im Kölner Raum) Ozonspitzen aufgesetzt wurden.

Der vertikale Verlauf der Trajektorien für 850 hPa - und zum Teil auch für 900 hPa - zeigt ein schwaches Absinken der Luftmassen während der 3 Tage vor Eintreffen an den Stationen. Der höhenabhängige Verlauf der Trajektorien in den bodennahen Druckniveaus (vom Boden bis etwa 900 hPa (ca. 1000 m)) zeigt aber auch deutlich, dass die hohen bodennahen Ozonkonzentrationen nicht durch Transport aus großen Höhen verursacht worden sind, sondern im Wesentlichen photochemisch innerhalb der Mischungsschicht aus den Ozonvorläufern  $\text{NO}_x$  und VOC gebildet worden sind.

Die meteorologischen Voraussetzungen für sehr hohe Ozonwerte waren großräumig sehr günstig (siehe Abschnitt 3.2.2.2), die gemessenen Ozonspitzen traten aber wesentlich kleinräumiger nur in solchen Gebieten auf, die neben den günstigen meteorologischen Bedingungen auch eine hohe Emissionsdichte der Ozon-Vorläufer aufwiesen wie beispielsweise im Großraum Köln und Stuttgart.

Bei vergleichbaren meteorologischen Situationen wie im Sommer 2001 hätten die Ozonspitzenwerte vor 10 bis 15 Jahren bei den damals wesentlich höheren Vorläuferemissionen sehr wahrscheinlich nicht zwischen 200 und 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sondern wesentlich höher gelegen. Insbesondere wäre vor 10 bis 15 Jahren bei vergleichbaren meteorologischen Gegebenheiten die Flächenausdehnung der von sehr hohen Ozonwerten betroffenen Gebieten in Deutschland deutlich größer gewesen als heute.

Die Zahl der Überschreitungen von 180 bzw. 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  entspricht im Wesentlichen der Zahl der Überschreitungen in den Jahren 1997 und 1998. Verglichen mit diesen Jahren sind die Emissionen von  $\text{NO}_x$  und VOC in Deutschland bis heute um etwa 10 bis 15% zurückgegangen (Daten von Strogies sowie eigene Schätzungen für 2001). Der daraus zu erwartende geringe Rückgang der Ozonspitzenwerte wird aber von den erheblichen meteorologisch bedingten Schwankungen überlagert und ist deshalb kaum zu beobachten.

Das gehäufte Auftreten von Ozon-Spitzenwerten während der photochemischen Episoden im Jahr 2001 war in erster Linie eine Folge der für die Ozonbildung günstigeren meteorologischen Bedingungen im Vergleich zu den vorangegangenen Sommern.

Die im Jahr 2001 gehäuft auftretenden hohen Ozonwerte lagen im normalen Schwankungsbereich bei den heutigen Vorläuferemissionen und ändern nichts Grundlegendes an dem klar abfallenden Trend der Ozonspitzenwerte in Deutschland zwischen 1990 und 2001, der im Wesentlichen auf die Emissionsminderungen der Ozonvorläuferstoffe in Deutschland als auch in den europäischen Nachbarstaaten zurückzuführen ist.

### 3.2.3 Zukünftige Entwicklung der Ozonbelastung in Deutschland

Die Ozonspitzenwerte in Deutschland werden angesichts der weiteren Emissionsminderung in Deutschland und Europa in den kommenden Jahren weiter sinken, wenn auch langsamer als zwischen 1990 und 2001 (*Ref. 1*). Insbesondere werden die Flächen, auf denen hohe Ozonwerte beobachtet werden, zunehmend schrumpfen.

Die Wahrscheinlichkeit von Überschreitungen der EU-Schwellenwerte für die Information der Bevölkerung (1-h-Mittel von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und besonders für den Schutz der menschlichen Gesundheit (1-h-Mittel von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) wird nach dem Jahr 2010 nur noch gering sein, vollständig ausschließen kann man diese Überschreitungen bei extremen Wetterlagen jedoch nicht (*Ref. 1*).

Im Gegensatz zu der erfreulichen Entwicklung und Prognose der Ozon-Spitzenkonzentrationen werden die mittleren Ozonkonzentrationen in Deutschland auch in den kommenden Jahren kaum zurückgehen. Das bedeutet, dass die in der neuen Ozonrichtlinie der EU (*Ref. 7*) definierten Schwellenwerte für den Schutz der Vegetation (z.B. AOT40-Werte) – im Gegensatz zu den entsprechenden Ozonwerten für den Schutz der menschlichen Gesundheit – in den kommenden Jahrzehnten kaum eingehalten werden können. Die AOT40-Werte (AOT40: Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb) werden im Wesentlichen durch die mittleren Ozonkonzentrationen (40 bis 85 ppb) bestimmt und nur in geringem Maße durch die Spitzenkonzentrationen ( $> 90$  ppb). (*Ref. 10*)

### 3.2.4 Literatur zu Kapitel 3.2

- (1) Beilke, S. und Wallasch, M. (2000)

*Die Ozonbelastung in Deutschland seit 1990 und Prognose der zukünftigen Entwicklung. Immissionsschutz 4, 5. Jahrgang, Dezember 2000, S.149-155.*

- (2) Umweltbundesamt (2001)

*Ozonsituation 2001 in der Bundesrepublik Deutschland, Kurzbericht, November 2001 (Verfasser: U. Dauert und S. Grittner)*

- (3) Enke, W. (2000)

*Analyse historischer Ozonzeitreihen und Entwicklung einer Methode zur quasi-Wetterbereinigten Trendanalyse von bodennahem Ozon. Abschlussbericht UBA-Forschungsvorhaben Nr.297 42 848.*

- (4) Schneider, (2002)

*Erkenntnisse zum bodennahen Ozon aus Untersuchungen in Österreich. Vortrag Fachgespräch „Bodennahes Ozon“, UBA, Berlin-Spandau, 29./30. April 2002.*

- (5) *Neftel, A. (2002)*  
*Erkenntnisse zum bodennahen Ozon aus Untersuchungen in der Schweiz. Vortrag: Fachgespräch „Bodennahes Ozon“, UBA, Berlin–Spandau, 29./30. April 2002.*
- (6) *NEGTA (2001)*  
*Report on Transboundary Air Pollution: Acidification, Eutrophication and Ground-Level Ozone in the UK. Prepared by the National Expert Group on Transboundary Air Pollution (NEGTA). Chairman: David Fowler.:*
- (7) *EU (2002)*  
*Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt der Luft, Amtsblatt der EG vom 9.3.2002 (L 67/14).*
- (8) *UBA (2001)*  
*Jahresbericht 2000 des Messnetzes, Texte 77/01, Nov. 2001, S. 122-136.*
- (9) *Emissionsdaten Strogies sowie eigene Schätzung bis 2001.*
- (10) *UBA (1997)*  
*Jahresbericht 1997 Umweltbundesamt, S.158-160.*
- (11) *Beilke, S. (1991)*  
*Meteorologische Voraussetzungen für die Bildung von Ozon und Sommersmog, Proceedings Ozon-Symposium München, 2.-4. Juli 1991, Herausgeber: TÜV Akademie Bayern/Hessen GmbH München, S. 116-131.*

### 3.3 Einführung von Filterpack-Messungen im UBA-Messnetz

*Karin Uhse, Rolf Graul, Frank Meinhardt und Jutta Fehrenbach*

#### 3.3.1 Einleitung

Im Januar 2000 wurde im Messnetz des Umweltbundesamtes die Filterpack-Methode mit Messungen mit Hilfe von imprägnierten Filtern eingeführt. Entsprechend des ECE-Luftreinhalteübereinkommen von 1979, des SO<sub>2</sub>-Protokoll: United Nations von 1994 und der Verpflichtung Deutschlands und 12 weiterer Staaten zur Reduzierung der NO<sub>x</sub>-Emissionen im Rahmen der UN-ECE (Sofia-Protokoll von 1988) über die Versauerung durch Luftverunreinigungen wird international gefordert, zur Erfolgskontrolle für das EMEP-Basisprogramm (European Monitoring and Evaluation Programme) u.a. die Schwefelkomponenten Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) und die Stickstoffkomponenten als Summen von Ammoniak und Ammonium ( $\Sigma\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ) sowie Salpetersäure und Nitrat ( $\Sigma\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$ ) in Luft und Schwebstaub sowie NO<sub>2</sub> in der Luft mit hohen Qualitätsvorgaben zu messen. Dazu empfiehlt EMEP die Filterpack-Methode (siehe Abbildung 88) und für NO<sub>2</sub> die Fritten-Methode. Daher werden diese beiden Messmethoden nach umfangreichen Tests seit 2000/2001 auch im Messnetz des UBA eingesetzt. Mit Hilfe der Filterpacks werden in Zingst, Neuglobsow und auf dem Schauinsland seit dem 1.1.2000 und in Westerland und Deuselbach seit dem 1.7.2001 Proben genommen und im Zentrallabor auf dem Schauinsland analysiert. Mit dieser Methode können neben SO<sub>2</sub> und SO<sub>4</sub><sup>=</sup> zusätzlich die Summen von NH<sub>3</sub> + NH<sub>4</sub><sup>+</sup> und HNO<sub>3</sub> + NO<sub>3</sub><sup>-</sup> bestimmt werden. Die Frittenmethode zur NO<sub>2</sub>-Messung wurde am 1.1.2001 an allen 8 Messstellen eingeführt. Die zentrale Analyse hierfür erfolgt an der Messstelle Brotjacklriegel.

Bis Ende 1999 wurden im Messnetz die nasschemischen Analysen des Schwefeldioxidgehaltes der Luft mit Hilfe des TCM-Verfahrens durchgeführt. Dieses Messverfahren war seit 1973 ununterbrochen an den personell besetzten Messstellen und von 1980 bis 1993 auch an 10 Probenahme- bzw. Containerstandorten eingesetzt worden. Mit Hilfe dieser fast 30-jährigen Messreihen konnte der drastische Rückgang der Schwefeldioxid-Konzentrationen Mitte/Ende der 80er Jahre in den alten und Anfang der 90er Jahre auch in den neuen Ländern nachgewiesen werden. Der Sulfatgehalt des Schwebstaubes wurde von 1974 bis 1999 an den Messstellen bzw. von 1976 bis 1994 an den Probenahme-/Containerstationen mittels Röntgenfluoreszenz-Messungen bestimmt. Die Messergebnisse der Schwefeldioxid- sowie der Schwefelkonzentrationen im Schwebstaub wurden zusammen mit anderen Komponenten wie z.B. die Niederschlagsinhaltsstoffe, regelmäßig gemäß internationaler Absprachen an EMEP zum NILU (Norwegian Institute for Air Research) in Norwegen gemeldet. Da sowohl das TCM- als auch das Röntgenfluoreszenzverfahren inzwischen nicht mehr dem Stand der Technik entsprachen, wurden beide Methoden im Jahre 2000/2001 von den Messungen mit imprägnierten Filter (Filterpack-Methode) abgelöst. Dies bedeutet einen weiteren Schritt zur Verbesserung der Datenqualität und Erfüllung des EMEP-Programmes.

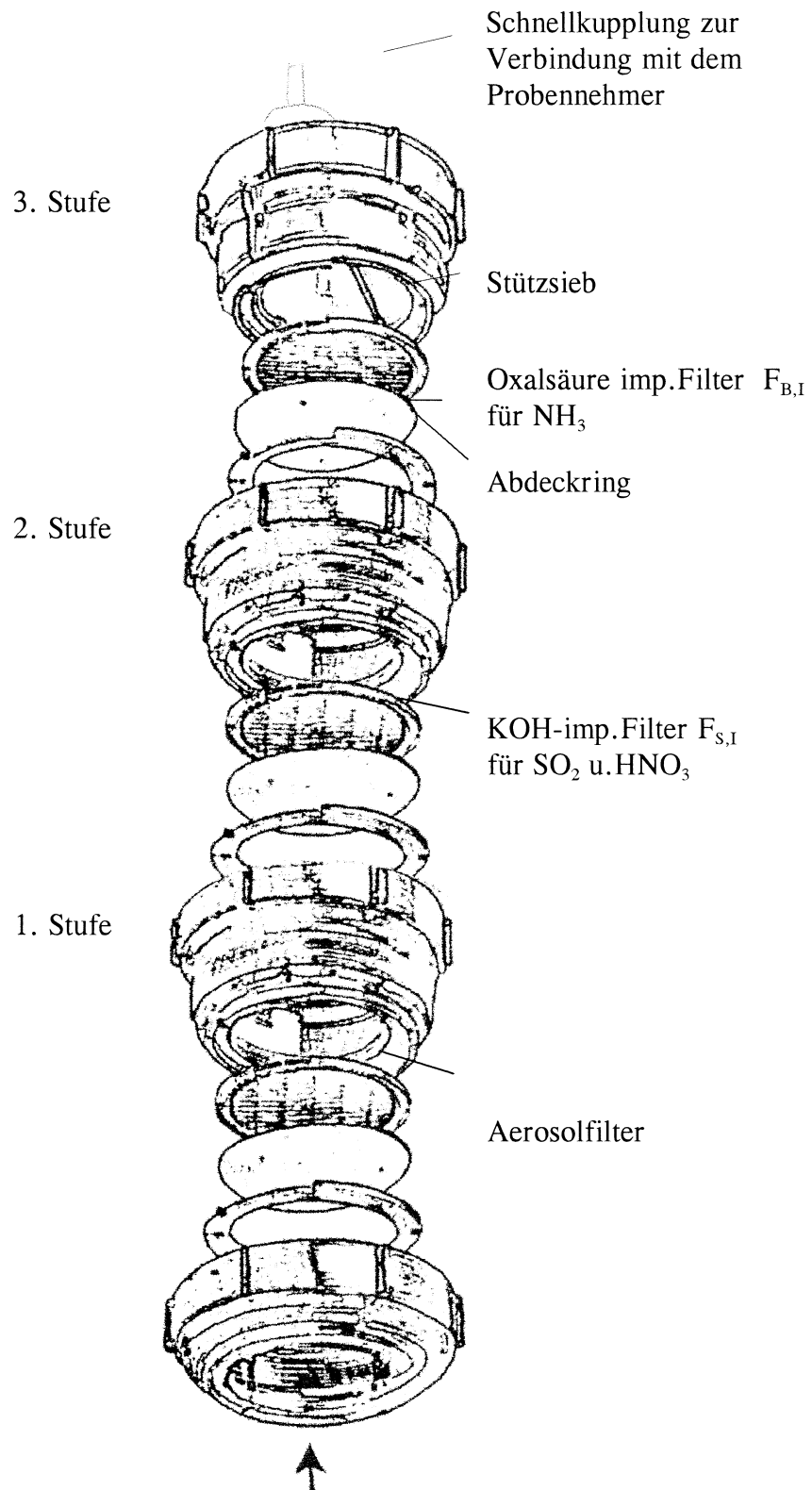


Abbildung 88: 3-Stufenfilterhalter mit einem Membran-Filter und zwei imprägnierten Filtern für Gase



### 3.3.2 Probenahme

Durch in geeigneter Weise alkalisch bzw. mit Säure imprägnierte Cellulosefilter lassen sich in Kombination mit einem Membranfilter sowohl die partikelgebundenen als auch die gas- und dampfförmigen sauren bzw. basischen Komponenten von Luftverunreinigungen bestimmen.

Bei dem im Messnetz zur Anwendung kommenden Verfahren, das im EMEP Manual for Sampling and Chemical Analysis (*Ref. 1, 2*) als verbindliche Methode zur Bestimmung entsprechender Luftschadstoffkomponenten festgeschrieben ist, wird nach der sogenannten Filterpackmethode gearbeitet. Dabei wird die zu analysierende Luft zunächst durch ein Partikelfilter (Membranfilter aus Teflon, Porengröße  $2\ \mu\text{m}$ ) gesaugt, an dem sich die partikelgebundenen Komponenten wie Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) abscheiden (siehe Abbildung 88). Das sich daran anschließende zweite Filter, ein alkalisch imprägniertes Cellulosefilter, bildet eine Senke für Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) und Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ). An dem dritten Filter, einem mit Säure imprägniertem Cellulosefilter, wird Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) gebunden.

Die Probenahme wird mit dem SPF4-Staub- und Gasprobennehmer durchgeführt (*Ref. 4*). Durch die in dem 3-stufigen Filterhalter hintereinander angeordneten Filter (Filterpack) wird ein Luftvolumen von ca.  $20\ \text{m}^3$  pro Tag gesaugt. Das Gerät ist für den ganzjährigen Betrieb im Freien geeignet und muss so aufgestellt werden, dass eine freie Anströmung von allen Seiten gewährleistet ist.

Das Probenahmesystem wird i. d. R. mit 4 Filterhaltern bestückt (siehe Abbildung 89), die, durch einen Mikrocontroller gesteuert, nacheinander beaufschlagt werden. Der Volumenstrom wird über einen Schwebekörperdurchflussmesser mit Gabellichtschranke überwacht und über die drehzahlgeregelte Drehschieberpumpe konstant gehalten.

Die Gabellichtschranke am Schwebekörperdurchflussmesser ist auf 15 Liter pro Minute eingestellt, damit sich ein Gesamtvolumen von ca.  $22\ \text{m}^3$  pro 24 Stunden ergibt. Die Temperatur und der Luftdruck werden am Ausgang des Luftstromes gemessen, so dass eine genaue Umrechnung durch den Mikrocontroller von Betriebs- $\text{m}^3$  ( $\text{Bm}^3$ ) auf Norm- $\text{m}^3$  ( $\text{Nm}^3$ ) möglich ist. Um das Abscheiden von Partikeln größer  $10\ \mu\text{m}$  zu vermindern, sind die Filterhalter von Einlasshauben umgeben. Diese sind mit Exzenterverschlüssen befestigt und leicht abnehmbar.

Die Filter werden anschließend extrahiert und mittels Ionenchromatographie auf  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NO}_3^-$  bzw. mittels Fließinjektionsanalyse (FIA) auf  $\text{NH}_3$  und  $\text{NH}_4^+$  im Zentrallabor auf dem Schauinsland analysiert.

Die Nachweisgrenzen dieser Methode liegen für  $\text{SO}_2$  und  $\text{SO}_4^{=}$  bei  $0.01\ \mu\text{g S/m}^3$ , für  $\text{NH}_3$  und  $\text{NH}_4^+$  bei  $0.02\ \mu\text{g N/m}^3$  und für  $\text{HNO}_3$  und  $\text{NO}_3^-$  bei  $0.01\ \mu\text{g N/m}^3$ .

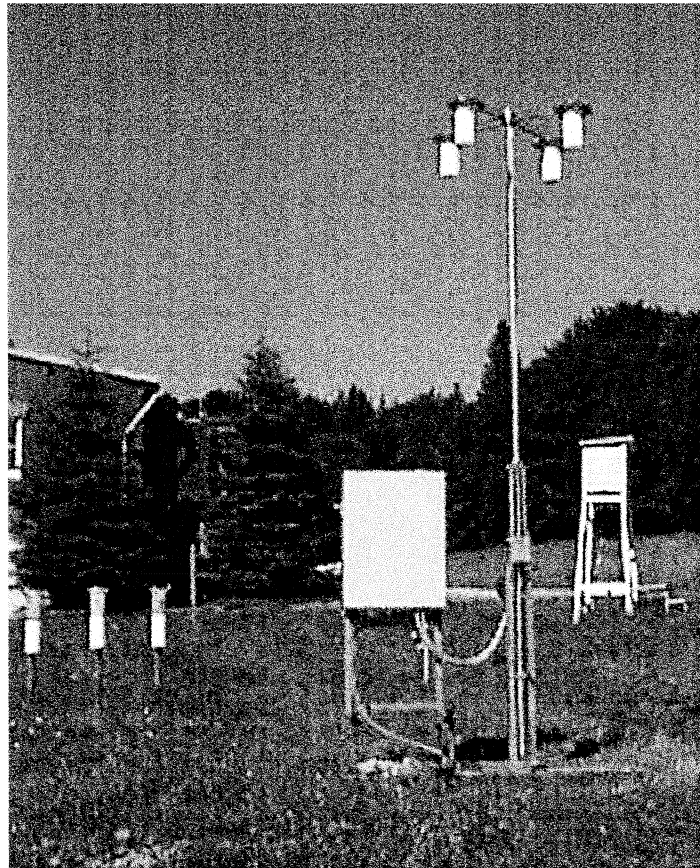


Abbildung 89: Filterhalter mit vier 3-Stufen-Filterhaltern auf dem Schauinsland

### 3.3.3 Vorversuche mit NILU-Vergleichsmessungen

Vor der Einführung dieser Messmethode wurden auf dem Schauinsland umfangreiche Tests, vor allem zur Entwicklung einer für das UBA-Messnetz geeigneten Sammelapparatur durchgeführt.

Vom 5.2.1998 bis 21.12.1998 wurden vom NILU auf dem Schauinsland knapp 100 Parallelmessungen für  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_4^{=}$  sowie  $\text{HNO}_3$  und  $\text{NO}_3$  durchgeführt (Ref. 2). Dazu wurde dort vom NILU eine Filterpack-Probenahme-Apparatur aufgebaut. Die Filter wurden nach Norwegen geschickt und beim NILU analysiert. Parallel dazu wurde die Filterpack-Sammel-Apparatur mit dem 3-Stufen-Filterhaltern des UBA aufgestellt und diese Proben auf dem Schauinsland analysiert. Mit Hilfe dieser Parallelmessungen konnte die Probenahme-Apparatur des UBA soweit verbessert und weiter entwickelt werden, dass im Anschluss daran mit den Routinemessungen im UBA-Messnetz begonnen werden konnte. Um eine Beeinflussung des Bodens – vor allem bei den  $\text{NH}_3$ -Messungen – zu vermeiden und um für freie Anströmbarkeit zu sorgen, wurde der Filterhalter in einer Höhe von 3.80 m über dem Boden installiert.

Zwischen den Messergebnissen des NILU und des UBA wurden durchweg gute bis sehr gute Korrelationen mit Korrelationskoeffizienten  $r$  von 0.96 für  $\text{SO}_2$ , 0.94 für  $\text{SO}_4^-$ , 0.92 für  $\text{NO}_3^-$  und 0.86 für  $\text{HNO}_3$  erzielt (siehe Abbildung 90a bis d). Insgesamt waren die Messergebnisse des Schauinsländer Labors für alle Komponenten höher als die vom NILU gemessenen Werte. So lagen die  $\text{SO}_2$ -Werte, die vom Schauinsland gemessen wurden, 12.3% über den Ergebnissen des NILUs, bei  $\text{SO}_4^-$  um 6.1%, bei  $\text{NO}_3^-$  um 32% und bei  $\text{HNO}_3$  um 45%. Diese auf den ersten Blick z.T. recht hohen Abweichungen relativieren sich jedoch, wenn sie auf das besonders niedrige Konzentrationsniveau auf dem Schauinsland bezogen werden. Für  $\text{SO}_2$  und  $\text{SO}_4^-$  wurden fast nur Werte zwischen 0.017 und  $2 \mu\text{g S/m}^3$  gefunden und für  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{HNO}_3$  lag kein Wert über  $1.2 \mu\text{g N/m}^3$ . Das bedeutet, dass eine Abweichung von beispielsweise 12.3% für  $\text{SO}_2$  bedeutet, dass die Werte nur um durchschnittlich  $0.05 \mu\text{g S/m}^3$  zu hoch lagen.

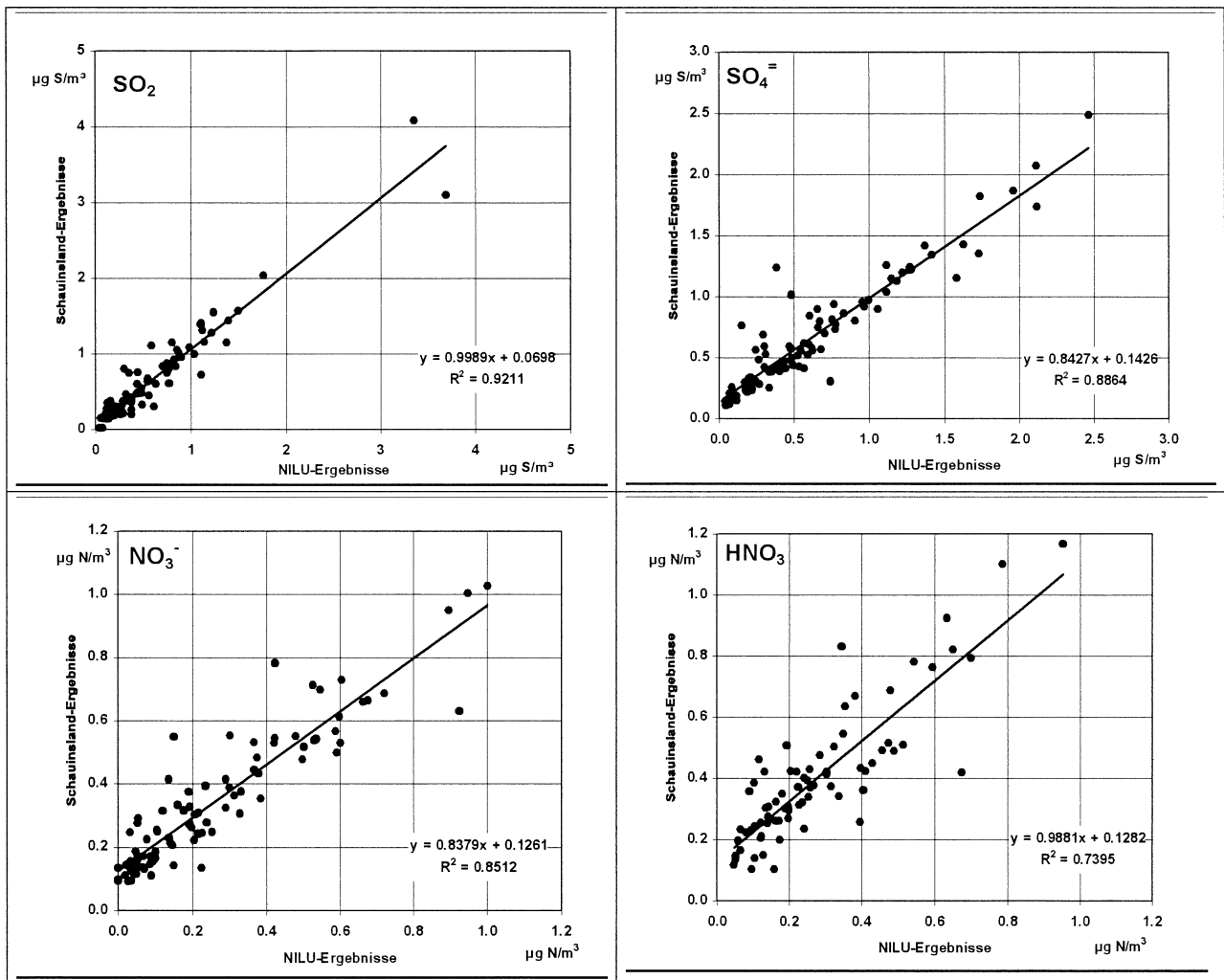


Abbildung 90a bis d: Vergleichsmessungen zwischen NILU und Schauinsland für Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) (a), Sulfat im Schwebstaub ( $\text{SO}_4^-$ ) (b), Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) (c) und Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) (d) mittels Filterpackmethode

Da in der Zeit während des Feldversuches mit dem NILU auf dem Schauinsland gleichzeitig auch noch die bisherigen  $\text{SO}_2$ -Messungen mittels TCM-Methode fortgeführt wurden, konnte zusätzlich mit diesen Messergebnissen verglichen werden. Diese  $\text{SO}_2$ -Parallel-Messungen ergaben, dass mit dem alten TCM-Verfahren Werte unterhalb von  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nicht nachgewiesen werden können. Insgesamt war die Korrelation mit einem Faktor von 0.87 schlechter als für die Vergleichsmessungen zwischen den beiden Filterpack-Messungen, der Mittelwert für die Werte nach der TCM-Methode lag jedoch nur um 10.6% über den Filterpack-Werten (siehe Abbildung 91a). Für generelle Aussagen zum drastischen Konzentrationsrückgang der  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen von ca. 80% gegenüber den 70er Jahren können die TCM-Messergebnisse jedoch herangezogen werden.

Ein Vergleich der Sulfat-Messungen im Staub zwischen der bisherigen Röntgenfluoreszenz-Methode, die ebenfalls noch auf dem Schauinsland durchgeführt wurde, mit der NILU-Methode mittel imprägnierter Filter ergab einen Minderbefund von durchschnittlich ca. 40% bei der Röntgenfluoreszenz (siehe Abbildung 91b).

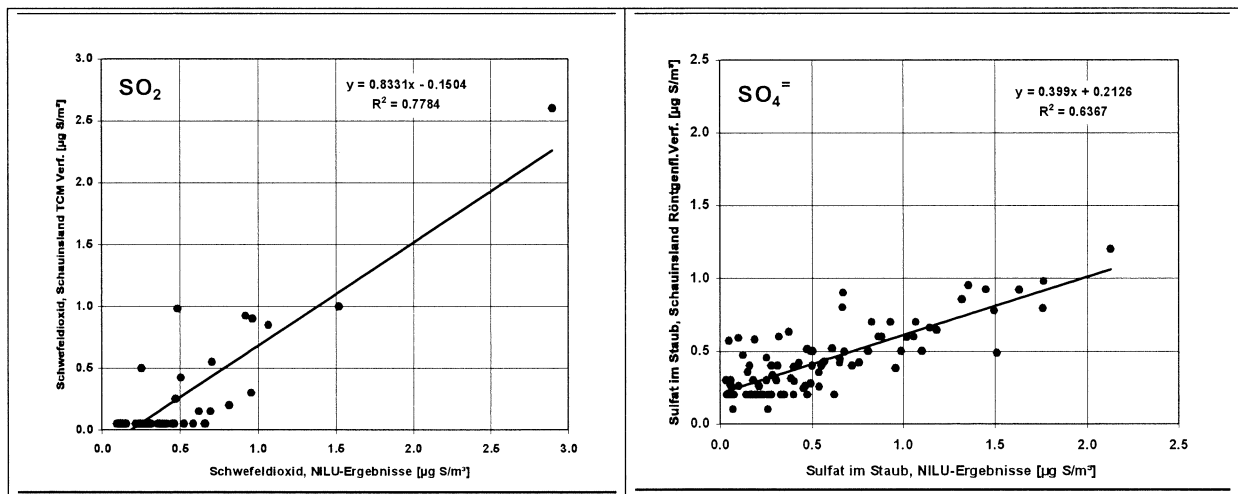


Abbildung 91a und b: Vergleichsmessung für  $\text{SO}_2$  zwischen TCM-Verfahren gegenüber NILU-Filterpackmethode (a links) und für Sulfat im Schwebstaub zwischen Röntgenfluoreszenzverfahren (Schauinsland) gegenüber NILU-Filterpackmethode (b rechts)

### 3.3.4 Vergleiche der SO<sub>2</sub>-Messergebnisse für 2001

Seit die SO<sub>2</sub>-Konzentrationen in den alten Ländern Ende der achtziger Jahre und in den neuen Ländern ab Beginn der neunziger Jahre drastisch zurückgingen, wurde es immer schwieriger, in den niedrigen Konzentrationsniveaus, die an den Hintergrundstationen des UBA-Messnetzes registriert wurden, noch mit ausreichender Genauigkeit zu messen. Die von 1986 bis März 2001 automatisch registrierenden SO<sub>2</sub>-Analysatoren (ML 8850) zeigten an den Messstellen des Umweltbundesamt es in 50% der Fälle – vor allem im Sommer - Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 3 µg/m<sup>3</sup> an. Seit April 2001 werden daher im Messnetz Trace Level Geräte (Thermo Environment Instruments 43C) mit einer Nachweisgrenze von 0.2 µg/m<sup>3</sup> eingesetzt. Diese hoch empfindlichen Analysatoren sind in der Lage, auch diese niedrigen Konzentrationen zu erfassen.

Ähnliches gilt für die nasschemischen/chemischen Tagesproben-Messungen. Das bis 1999 eingesetzte TCM-Verfahren konnte nur Werte bis 0.5 µg/m<sup>3</sup> nachweisen, die neue Filterpack-Methode besitzt eine Nachweisgrenze von 0.1 µg/m<sup>3</sup> (siehe Abbildung 91a). Auch kann die Messgenauigkeit und Empfindlichkeit der alten TCM-Methode den heutigen Qualitätsstandards nicht mehr genügen.

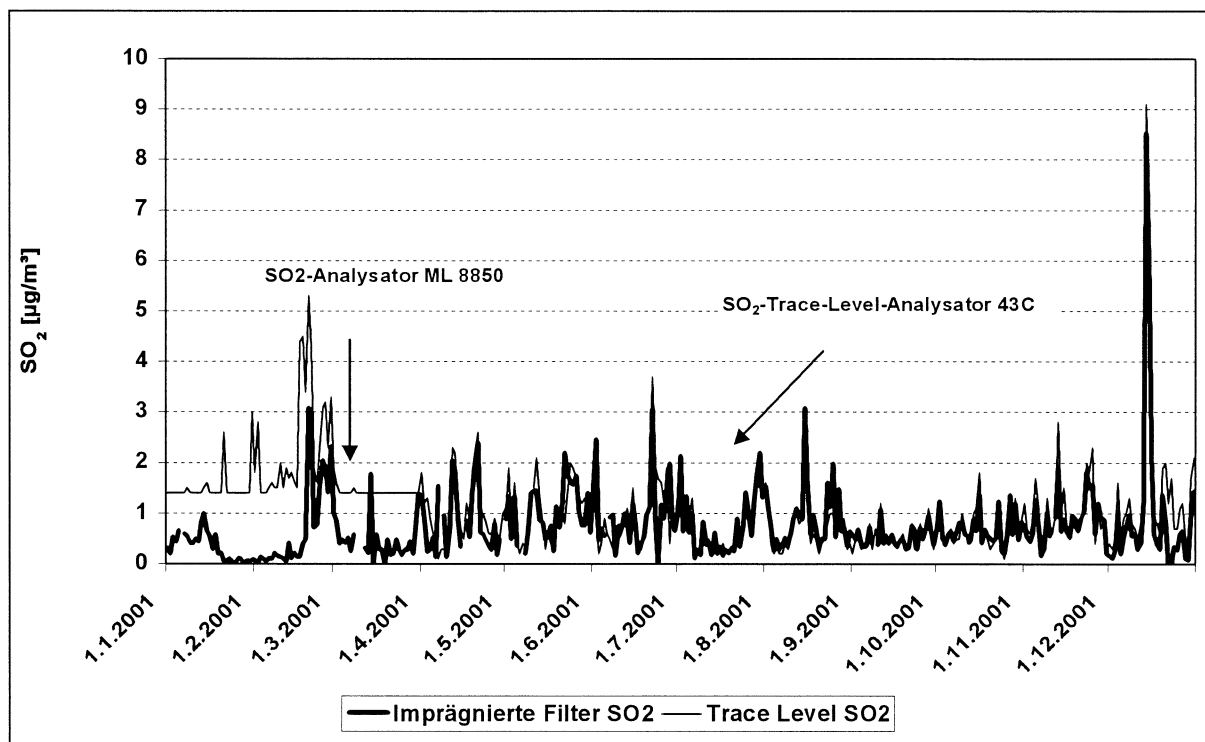


Abbildung 92: Tagesmittel der SO<sub>2</sub>-Parallelmessungen auf dem Schauinsland für Januar bis Dezember 2001

Vergleiche der beiden neuen, im UBA-Messnetz eingesetzten SO<sub>2</sub>-Messmethoden ergaben sehr gute Übereinstimmungen zwischen beiden Methoden. In Abbildung 92, in der die Tagesmittel der Schwefeldioxid-Konzentrationen auf dem Schauinsland für Januar bis Dezember 2001 darstellt sind, ist von Januar bis April deutlich der Offset von 1.4 µg/m<sup>3</sup> zu erkennen, der auf die wesentlich höhere Nachweisgrenze des alten ML-Gerätes zurückzuführen ist. Insgesamt ist das Konzentrationsniveau der mit dem Monitor Labs Gerät

gemessenen Werte mehr als 3 mal so hoch wie das der Filterpack Messungen. Ab Mai, dem Zeitpunkt, ab dem das neue Trace-Level Gerät eingesetzt wurde, korreliert diese Messreihe sehr gut mit den Ergebnissen der Imprägnierten Filter. und das Konzentrationsniveau weicht nur noch geringfügig ab.

Die Korrelationsfaktoren zwischen diesen beiden Messreihen (jeweils ab Einsatz des Trace-Level Gerätes) liegen bei 0.95 für Deuselbach und Neuglobsow, bei 0.93 für Zingst, bei 0.88 für den Schauinsland und bei 0.71 für Westerland (siehe Abbildung 92). Die schlechteren Korrelationsfaktoren für Westerland und Schauinsland werden z.T. durch die noch niedrigeren Konzentrationsniveaus bedingt. Erste Auswertungen für 2002 ergaben aber auch für Westerland einen verbesserten Faktor von 0.87. Diese sehr guten Übereinstimmungen sind besonders beachtenswert, da die Konzentrationsniveaus meist nur zwischen 0.1 und 4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  liegen.

Dies ist auch bei den prozentualen Abweichungen der Trace-Level-Werte gegenüber den Filterpack-Werten zu beachten (Tabelle 79). Abweichungen von 4 bis 18% bedeuten bei mittleren Konzentrationen von 0.8 bis 2.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nur eine Abweichung von ca. 0.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , was im Bereich der Nachweisgrenze des Trace-Level-Gerätes liegt. Betrachtet man sich die Maxima, sind diese prozentualen Abweichungen meist bereits deutlich geringer.

Tabelle 79:      Prozentuale Abweichungen der Messergebnisse für  $\text{SO}_2$  der Trace-Level Gerät gegenüber den Filterpack-Messungen für Mittelwert, Median und Maxima

		Westerland	Zingst	Neuglobs.	Deuselb.	Schauinsl.
<b>Zeitraum</b>	<b>2001</b>	<b>1.9.-31.12.</b>	<b>1.6.-31.12.</b>	<b>1.6.-31.12.</b>	<b>1.7.-31.12.</b>	<b>1.5.-31.12.</b>
<b>Mittelwerte [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>	<b>Filterpack</b>	<b>0.96</b>	<b>1.28</b>	<b>1.04</b>	<b>1.99</b>	<b>0.84</b>
	<b>Trace-Level</b>	<b>0.81</b>	<b>1.23</b>	<b>0.85</b>	<b>2.19</b>	<b>0.92</b>
	<b>Abweichung</b>	<b>-16.1%</b>	<b>-4.0%</b>	<b>-18.2%</b>	<b>10.0%</b>	<b>9.6%</b>
<b>Median [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>	<b>Filterpack</b>	<b>0.80</b>	<b>0.92</b>	<b>0.59</b>	<b>1.55</b>	<b>0.66</b>
	<b>Trace-Level</b>	<b>0.60</b>	<b>0.90</b>	<b>0.40</b>	<b>1.85</b>	<b>0.75</b>
	<b>Abweichung</b>	<b>-25.0%</b>	<b>-2.2%</b>	<b>-32.2%</b>	<b>19.4%</b>	<b>13.6%</b>
<b>Maxima [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>	<b>Filterpack</b>	<b>2.86</b>	<b>10.60</b>	<b>8.38</b>	<b>9.62</b>	<b>8.54</b>
	<b>Trace-Level</b>	<b>3.00</b>	<b>9.80</b>	<b>6.90</b>	<b>9.20</b>	<b>9.10</b>
	<b>Abweichung</b>	<b>4.9%</b>	<b>-7.5%</b>	<b>-17.7%</b>	<b>-4.4%</b>	<b>6.6%</b>

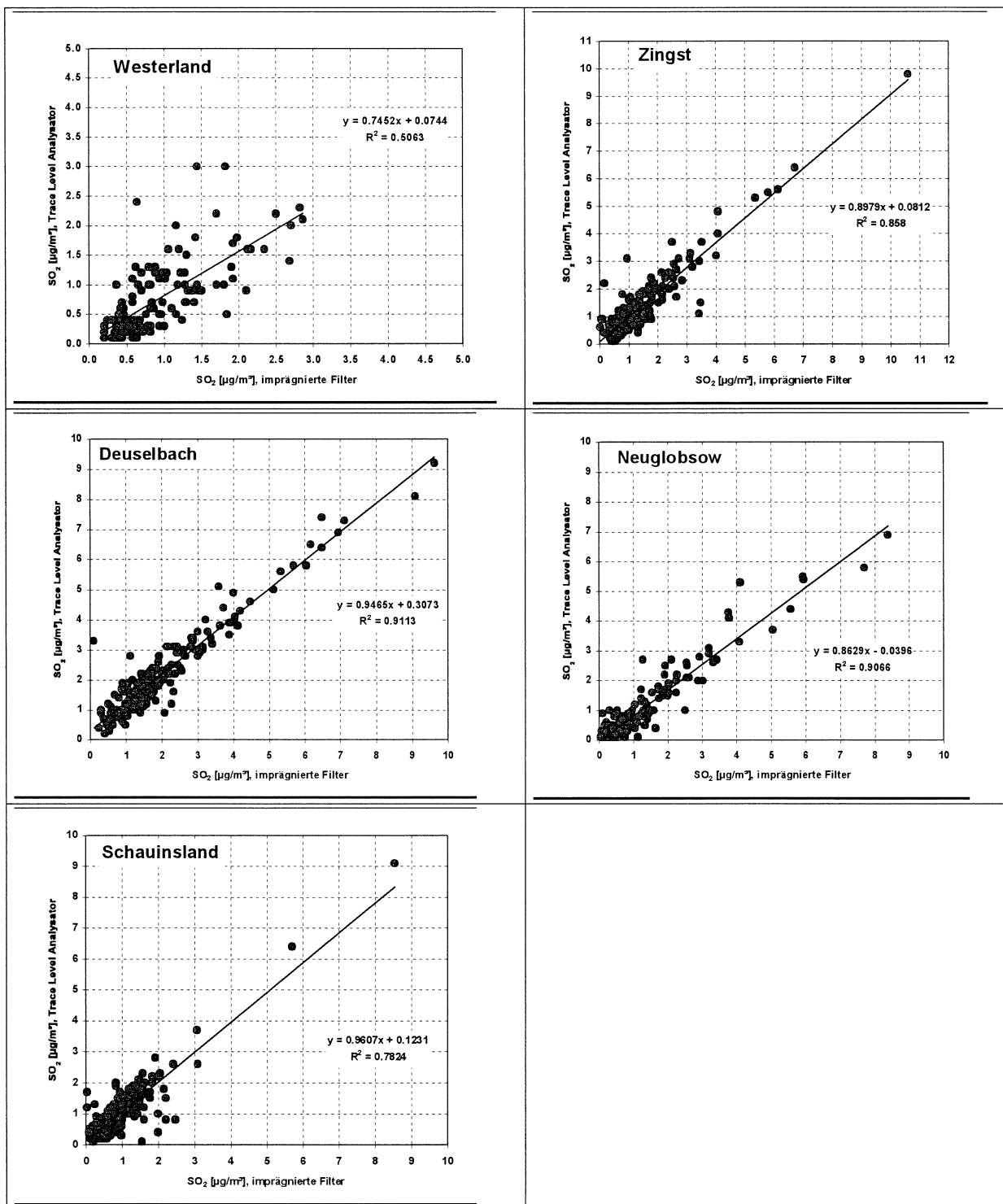


Abbildung 93: Vergleich der  $\text{SO}_2$  -Tagesmittel zwischen Filtepack-Methode und Trace-Level Geräten an 5 Messstellen des UBA für 2001.

### 3.3.5 Erste Messergebnisse für 2000 bis 2001

Im folgenden werden die ersten Ergebnisse, die seit Beginn der Routinemessungen mit diesem Verfahren im Januar 2000 an den 5 UBA-Messstellen gemessen wurden, miteinander verglichen. Dazu wurden zuerst auf Tageswertbasis jeweils für jede Station die Tagessummen für  $\sum \text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$  und  $\sum \text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$ , ausgedrückt als  $\mu\text{g N/m}^3$ , gebildet. Von diesen Tagessummen für Stickstoff sowie den Tageswerten von  $\text{SO}_2$  und  $\text{SO}_4^{2-}$  wurden Monatsmittel und -maxima berechnet. Abbildung 94 zeigt die Monatsmittel von  $\text{SO}_2$  und  $\text{SO}_4^{2-}$  für die Messstelle Neuglobsow im direkten Vergleich. Beide Komponenten zeigen einen ähnlichen Verlauf auf sehr niedrigem Konzentrationsniveau. Ein ausgeprägter Jahresgang, wie er bei  $\text{SO}_2$  früher zu finden war, ist nicht mehr zu sehen. In Abbildung 95 und Abbildung 96 sind die Monatsmittel für  $\text{SO}_2$  und  $\text{SO}_4^{2-}$  separat – jedoch für alle 5 Messstellen – dargestellt. Die Konzentrationen für Zingst, Neuglobsow und Westerland sind höher als auf dem Schauinsland und zeigen Maxima in den Wintermonaten. Im Gegensatz dazu tritt aufgrund des Jahresganges der Mischungsschichthöhe auf dem Schauinsland das Maximum im Sommer auf. Insgesamt ist das Konzentrationsniveau auf dieser Bergstation noch niedriger als an den übrigen. Ähnlich sieht es für die Monatsmaxima aus. Die Monatsmittel und -maxima sind Tabelle 80 und Tabelle 81 zu entnehmen.

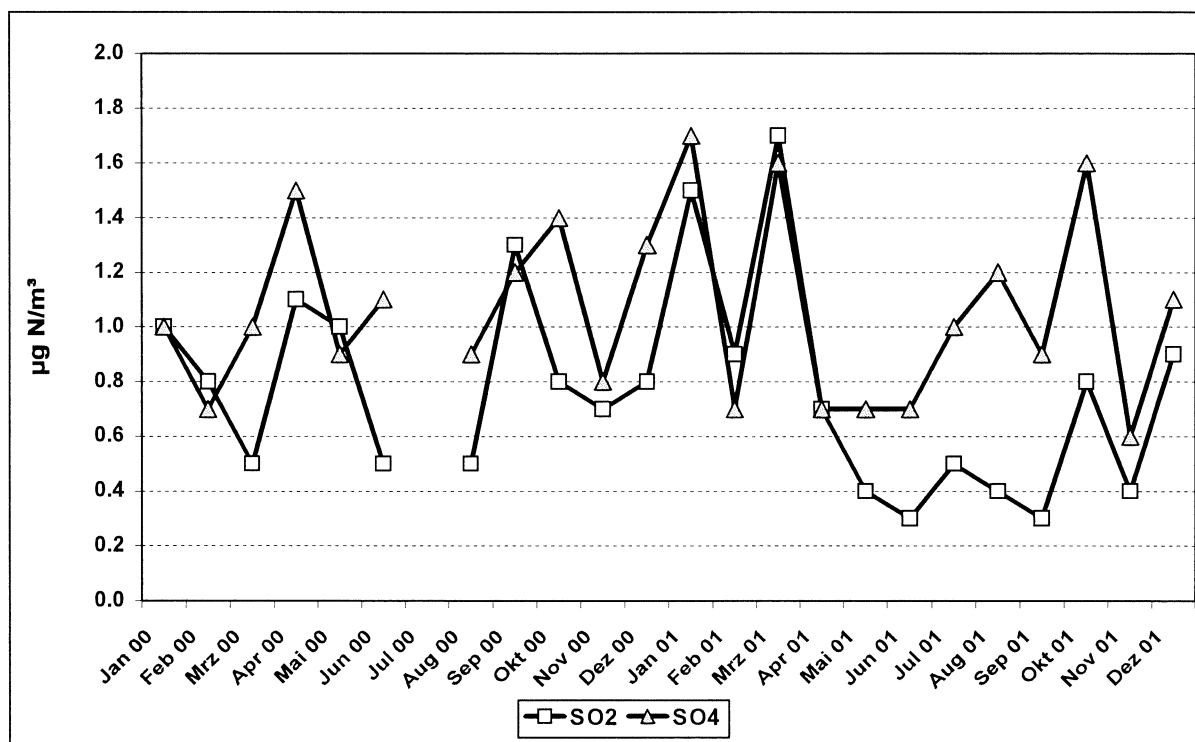


Abbildung 94: Monatsmittel von  $\text{SO}_2$  und  $\text{SO}_4^{2-}$  in  $\mu\text{g S/m}^3$  im direkten Vergleich für Januar 2000 bis Dezember 2001 in Neuglobsow.



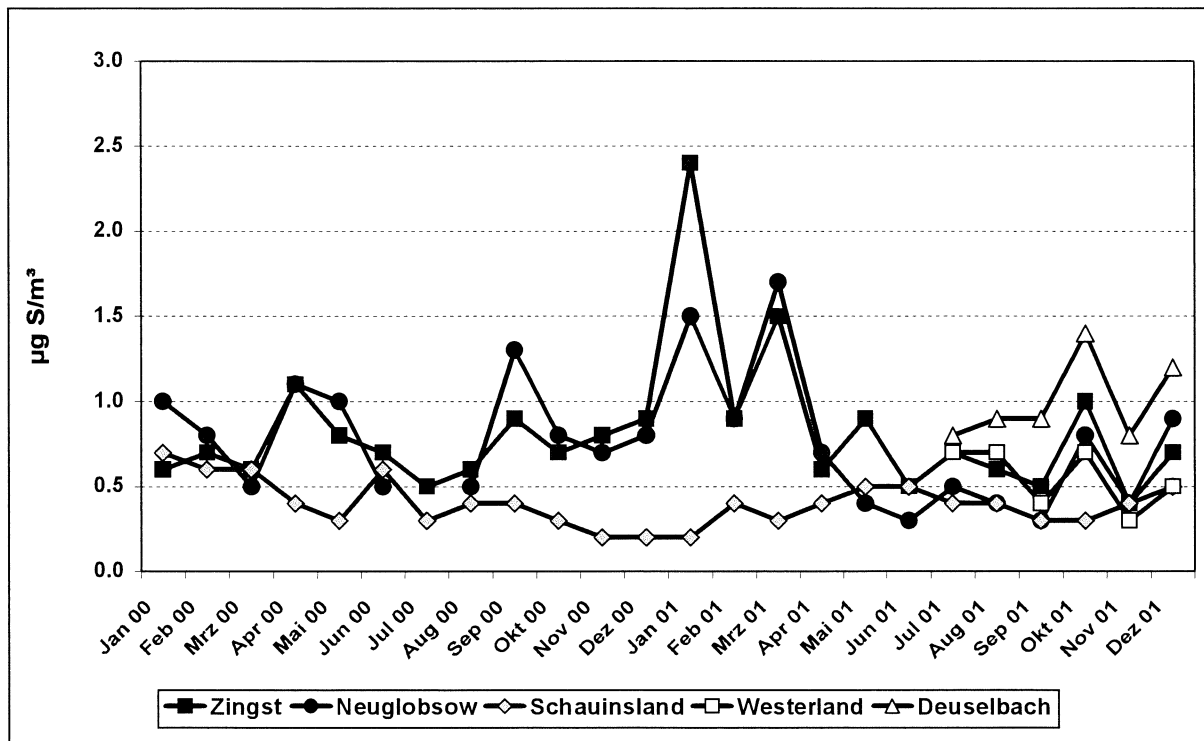


Abbildung 95: Monatsmittel von  $\text{SO}_2$  in  $\mu\text{g S/m}^3$  für Januar 2000 bis Dezember 2001 an den 5 Messstellen im Vergleich

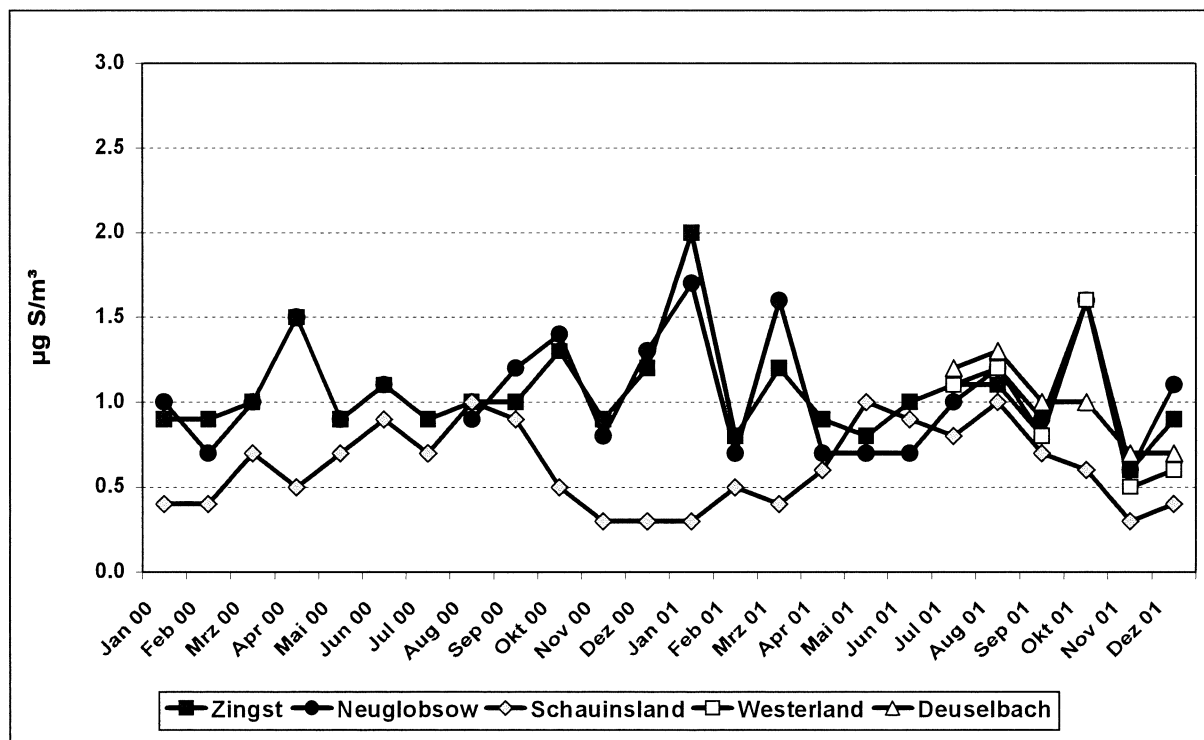


Abbildung 96: Monatsmittel von  $\text{SO}_4^{2-}$  in  $\mu\text{g S/m}^3$  für Januar 2000 bis Dezember 2001 an den 5 Messstellen im Vergleich

Tabelle 80: Monatsmittel und -maxima von SO<sub>2</sub> in µg S/m<sup>3</sup> für Jan 2000 bis Dez 2001

	SO <sub>2</sub> Monatsmittel [µg S/m <sup>3</sup> ]					SO <sub>2</sub> Monatsmaxima [µg S/m <sup>3</sup> ]				
	WE	ZG	NG	DE	SC	WE	ZG	NG	DE	SC
Jan 2000		0.6	1.0		0.7		1.5	4.9		1.8
Feb 2000		0.7	0.8		0.6		3.3	3.2		1.7
Mrz 2000		0.6	0.5		0.6		1.7	1.7		2.1
Apr 2000		1.1	1.1		0.4		3.0	4.7		0.9
Mai 2000		0.8	1.0		0.3		2.8	3.8		0.8
Jun 2000		0.7	0.5		0.6		3.0	2.8		1.6
Jul 2000		0.5			0.3		1.0			1.3
Aug 2000		0.6	0.5		0.4		2.1	1.2		1.1
Sep 2000		0.9	1.3		0.4		3.8	4.0		0.9
Okt 2000		0.7	0.8		0.3		2.3	3.6		1.2
Nov 2000		0.8	0.7		0.2		2.5	1.3		0.5
Dez 2000		0.9	0.8		0.2		9.7	3.7		0.4
Jan 2001		2.4	1.5		0.2		12.3	8.8		0.5
Feb 2001		0.9	0.9		0.4		6.0	9.7		1.5
Mrz 2001		1.5	1.7		0.3		7.4	6.5		0.9
Apr 2001		0.6	0.7		0.4		1.3	2.5		1.2
Mai 2001		0.9	0.4		0.5		2.0	2.2		1.1
Jun 2001		0.5	0.3		0.5		1.3	1.7		1.5
Jul 2001	0.7	0.7	0.5	0.8	0.4	1.5	2.0	2.0	1.6	1.1
Aug 2001	0.7	0.6	0.4	0.9	0.4	2.3	1.7	1.7	3.6	1.5
Sep 2001	0.4	0.5	0.3	0.9	0.3	1.0	2.0	0.8	4.8	0.5
Okt 2001	0.7	1.0	0.8	1.4	0.3	1.4	5.3	3.8	3.5	0.7
Nov 2001	0.3	0.4	0.4	0.8	0.4	0.6	1.6	1.6	2.0	0.9
Dez 2001	0.5	0.7	0.9	1.2	0.5	1.1	3.4	4.2	4.5	4.3

Tabelle 81: Monatsmittel und -maxima von SO<sub>4</sub><sup>=</sup> in µg S/m<sup>3</sup> für Jan 2000 bis Dez 2001

	SO <sub>4</sub> Monatsmittel [µg S/m <sup>3</sup> ]					SO <sub>4</sub> Monatsmaxima [µg S/m <sup>3</sup> ]				
	WE	ZG	NG	DE	SC	WE	ZG	NG	DE	SC
Jan 2000		0.9	1.0		0.4		2.0	4.5		1.0
Feb 2000		0.9	0.7		0.4		2.8	2.1		0.9
Mrz 2000		1.0	1.0		0.7		3.2	3.4		1.5
Apr 2000		1.5	1.5		0.5		3.0	3.3		1.0
Mai 2000		0.9	0.9		0.7		1.5	2.3		1.8
Jun 2000		1.1	1.1		0.9		2.7	2.9		1.8
Jul 2000		0.9			0.7		2.2			2.1
Aug 2000		1.0	0.9		1.0		2.4	2.2		2.6
Sep 2000		1.0	1.2		0.9		4.0	4.0		2.6
Okt 2000		1.3	1.4		0.5		4.1	3.9		1.7
Nov 2000		0.9	0.8		0.3		2.5	2.0		0.6
Dez 2000		1.2	1.3		0.3		5.0	5.4		0.5
Jan 2001		2.0	1.7		0.3		7.3	6.1		1.0
Feb 2001		0.8	0.7		0.5		2.3	1.5		1.2
Mrz 2001		1.2	1.6		0.4		2.5	3.1		1.2
Apr 2001		0.9	0.7		0.6		2.2	1.7		1.1
Mai 2001		0.8	0.7		1.0		2.1	2.0		2.1
Jun 2001		1.0	0.7		0.9		2.6	1.4		2.4
Jul 2001	1.1	1.1	1.0	1.2	0.8	2.7	2.7	3.2	2.8	1.7
Aug 2001	1.2	1.1	1.2	1.3	1.0	3.5	3.4	4.1	2.9	2.3
Sep 2001	0.8	0.8	0.9	1.0	0.7	2.9	2.2	2.2	2.3	1.4
Okt 2001	1.6	1.6	1.6	1.0	0.6	5.0	5.4	5.4	2.5	2.0
Nov 2001	0.5	0.6	0.6	0.7	0.3	1.1	1.7	1.7	2.2	1.1
Dez 2001	0.6	0.9	1.1	0.7	0.4	1.4	2.6	3.8	2.5	1.5

Auch für die Summen von  $\text{NH}_3^-$  und  $\text{NH}_4^+$  zeigen die Messergebnisse vom Schauinsland als Bergstation meist deutlich niedrigere Werte. Der Verlauf aller übrigen Stationen ist ähnlich, die Konzentrationsniveaus weichen jedoch stärker als bei den Schwefelkomponenten voneinander ab (siehe Abbildung 97). Die Verläufe der Monatsmaxima zeigen ein ähnliches Bild mit Spitzenkonzentrationen zwischen 8 und 12  $\mu\text{g N/m}^3$ . Die Werte der Monatsmittel und -maxima sind Tabelle 82 zu entnehmen.

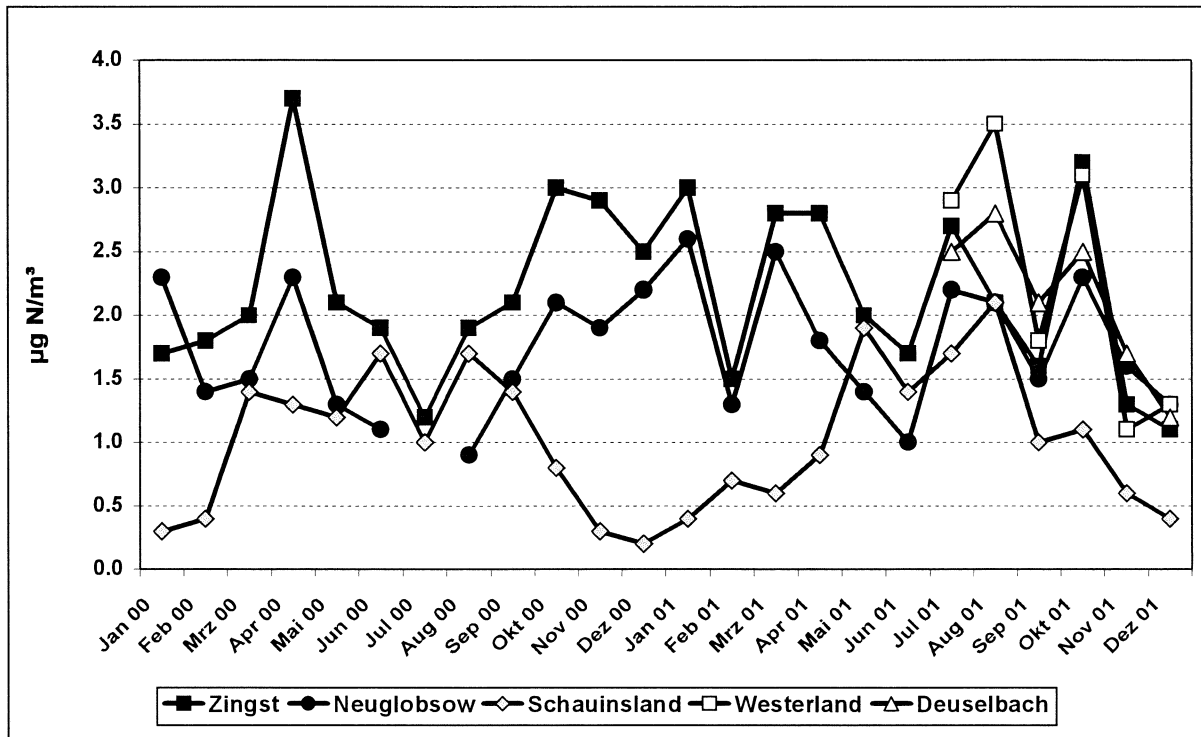


Abbildung 97: Monatsmittel der Summen von  $\text{NH}_3$  und  $\text{NH}_4^+$  in  $\mu\text{g N/m}^3$  für Januar 2000 bis Dezember 2001 an den 5 Messstellen im Vergleich

Tabelle 82: Monatsmittel und -maxima von  $\text{NH}_3$  und  $\text{NH}_4^+$  in  $\mu\text{g N/m}^3$  für 1/00 - 12/ 01

	$\Sigma\text{NH}_3+\text{NH}_4^+$ Monatsmittel [ $\mu\text{g N/m}^3$ ]					$\Sigma\text{NH}_3+\text{NH}_4^+$ Monatsmax. $\mu\text{g N/m}^3$				
	WE	ZG	NG	DE	SC	WE	ZG	NG	DE	SC
Jan 2000		1.7	2.3		0.3		6.4	10.0		1.4
Feb 2000		1.8	1.4		0.4		8.6	3.4		1.3
Mrz 2000		2.0	1.5		1.4		12.1	5.7		3.2
Apr 2000		3.7	2.3		1.3		7.4	7.1		3.5
Mai 2000		2.1	1.3		1.2		4.3	3.5		3.0
Jun 2000		1.9	1.1		1.7		4.9	3.1		3.1
Jul 2000		1.2			1.0		2.4			2.3
Aug 2000		1.9	0.9		1.7		4.6	3.0		3.2
Sep 2000		2.1	1.5		1.4		6.6	3.7		3.5
Okt 2000		3.0	2.1		0.8		6.2	5.4		2.2
Nov 2000		2.9	1.9		0.3		5.2	4.2		0.6
Dez 2000		2.5	2.2		0.2		5.6	5.3		0.5
Jan 2001		3.0	2.6		0.4		7.0	6.3		1.3
Feb 2001		1.5	1.3		0.7		5.6	3.3		2.8
Mrz 2001		2.8	2.5		0.6		9.4	4.6		2.1
Apr 2001		2.8	1.8		0.9		7.4	3.2		3.2
Mai 2001		2.0	1.4		1.9		4.3	4.5		3.7
Jun 2001		1.7	1.0		1.4		3.7	1.9		3.1
Jul 2001	2.9	2.7	2.2	2.5	1.7	6.5	4.3	4.3	4.8	3.7
Aug 2001	3.5	2.1	2.1	2.8	2.1	7.6	3.9	4.9	4.6	4.1
Sep 2001	1.8	1.6	1.5	2.1	1.0	4.1	3.7	3.3	4.0	2.2
Okt 2001	3.1	3.2	2.3	2.5	1.1	6.0	5.8	3.6	4.2	2.7
Nov 2001	1.1	1.3	1.6	1.7	0.6	2.7	3.4	3.8	3.7	1.8
Dez 2001	1.3	1.1	1.3	1.2	0.4	2.6	2.8	3.1	2.5	1.2

Tabelle 83: Monatsmittel u. -maxima von  $\text{HNO}_3$  und  $\text{NO}_3^-$  in  $\mu\text{g N/m}^3$  für 1/00 - 12/ 01

	$\Sigma\text{HNO}_3+\text{NO}_3^-$ Monatsmittel [ $\mu\text{g N/m}^3$ ]					$\Sigma\text{HNO}_3+\text{NO}_3^-$ Monatsmax. [ $\mu\text{g N/m}^3$ ]				
	WE	ZG	NG	DE	SC	WE	ZG	NG	DE	SC
Jan 2000		1.3	1.2		0.4		2.9	3.6		1.2
Feb 2000		1.4	1.2		0.4		3.8	2.8		1.1
Mrz 2000		1.0	0.9		0.9		3.6	2.5		2.4
Apr 2000		1.6	1.1		0.8		3.9	3.7		1.7
Mai 2000		0.8	0.5		0.7		1.8	1.1		1.8
Jun 2000		0.8	0.7		0.8		1.9	1.8		1.7
Jul 2000		0.6			0.5		1.1			1.7
Aug 2000		0.8	0.5		0.7		2.0	0.9		1.4
Sep 2000		1.0	0.7		0.9		2.7	1.7		2.1
Okt 2000		1.5	0.9		0.5		3.5	2.2		1.8
Nov 2000		1.5	1.1		0.3		3.2	2.3		0.5
Dez 2000		1.2	1.1		0.2		2.6	2.7		0.4
Jan 2001		1.6	1.4		0.4		3.7	2.8		1.4
Feb 2001		0.8	0.8		0.7		2.6	2.2		2.4
Mrz 2001		1.3	1.3		0.5		3.7	3.1		1.5
Apr 2001		1.3	0.8		0.6		2.5	1.6		1.3
Mai 2001		1.0	0.6		0.8		3.1	2.3		1.8
Jun 2001		0.8	0.4		0.8		1.5	0.7		1.9
Jul 2001	0.9	0.8	0.5	0.8	0.7	1.7	1.4	1.1	1.7	1.5
Aug 2001	1.3	0.7	0.6	1.0	0.7	5.6	1.6	1.7	3.2	1.6
Sep 2001	0.9	0.8	0.6	0.8	0.5	4.8	3.2	1.4	1.6	1.3
Okt 2001	1.7	1.6	1.1	1.1	0.5	3.6	4.3	2.0	4.0	1.4
Nov 2001	0.4	0.8	1.0	1.1	0.4	1.5	2.4	3.2	3.3	1.4
Dez 2001	0.5	0.7	0.8	0.7	0.3	1.3	2.5	2.3	1.8	0.6

Die Konzentrationsverläufe der Monatsmittel von  $\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$  entsprechen meist denen der von  $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ , jedoch auf noch niedrigerem Konzentrationsniveau (siehe Abbildung 98). Auch bei diesen Komponenten liegen die Werte vom Schauinsland meist unterhalb der anderen Stationen. In Abbildung 99 sind die Monatsmittel aller Stickstoffkomponenten für Zingst im direkten Vergleich dargestellt. Deutlich ist der meist ähnliche Verlauf und das etwa doppelt so hohe Konzentrationsniveau der Summen von  $\text{NH}_3$  und  $\text{NH}_4^+$  gegenüber den Summen von  $\text{HNO}_3$  und  $\text{NO}_3^-$  zu erkennen. Wie schon bei den Schwefelkomponenten lässt sich auch bei den Stickstoffkomponenten kein ausgeprägter Jahresgang finden.

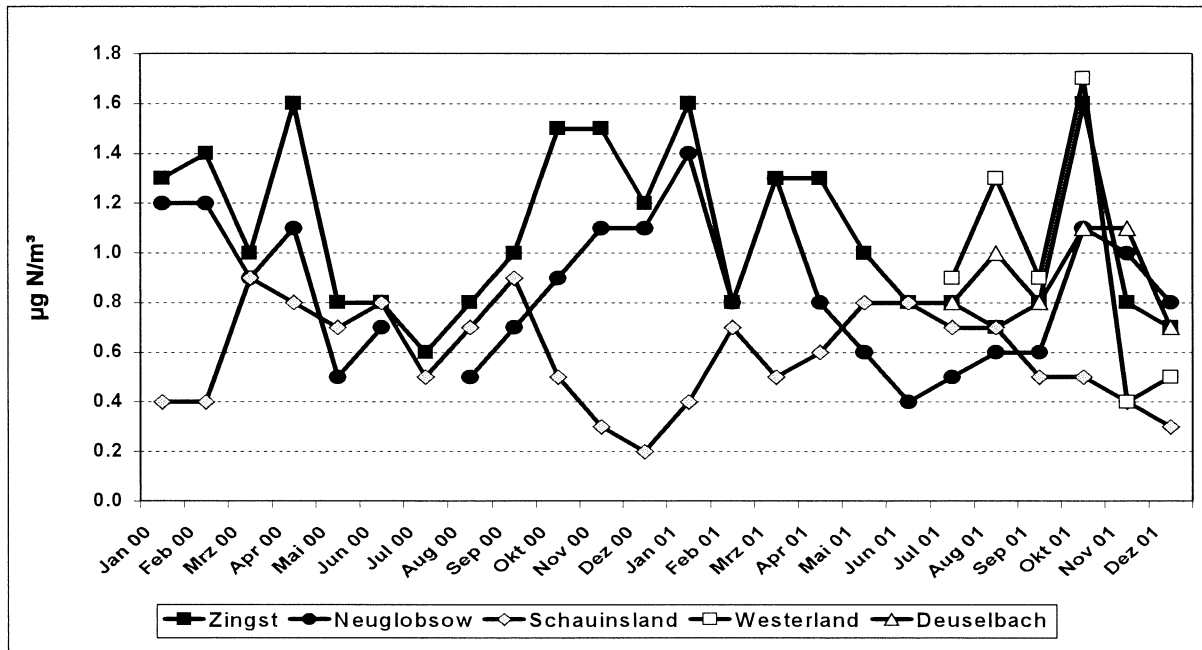


Abbildung 98: Monatsmittel der Summen von  $\text{HNO}_3$  und  $\text{NO}_3^-$  in  $\mu\text{g N/m}^3$  für Januar 2000 bis Dezember 2001 an den 5 Messstellen im Vergleich

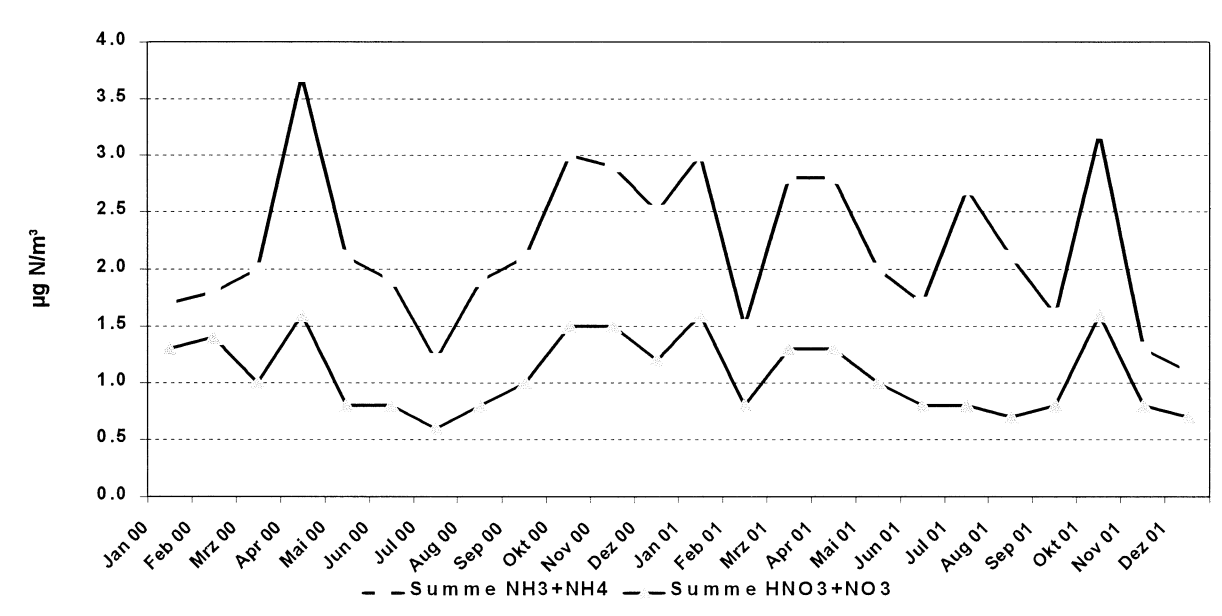


Abbildung 99: Monatsmittel der Summen von  $\text{NH}_3$  und  $\text{NH}_4^+$  und  $\text{HNO}_3$  und  $\text{NO}_3^-$  in  $\mu\text{g N/m}^3$  für Januar 2000 bis Dezember 2001 in Zingst.

### 3.3.6 Literatur zu Kapitel 3.3

(1) NILU (1996)

*EMEP Manual for sampling and chemical analysis, EMEP/CCC-Report, S. 3-13 -, 3-22, 3-30 - 3-50, Kjeller, Norwegen, March 1996*

(2) Umweltbundesamt (2002)

*Qualitätssicherungshandbuch II des Immissionsmessnetzes, Kapitel 3.21a bis 3.21c, Berlin, Mai 2002*

(3) Aas, Wenche (2001)

*Intercomparisons at Schauinsland*

(4) Riemer (1999)

*SPF4-Staub- und Gasprobennehmer, Herstellerinformationen, Riemer Messtechnik, Hausen*

## **4 ZUSAMMENFASSUNG**

1. Im vorliegenden Jahresbericht werden die Ergebnisse aus dem Luftmessnetz des Umweltbundesamtes für das Jahr 2001 vorgestellt und mit den Ergebnissen aus früheren Jahren verglichen. Daneben enthält der Bericht längere Übersichtsartikel zu speziellen Umweltproblemen von aktuellem Interesse wie beispielsweise zu den Feinstaubmessungen im UBA-Messnetz sowie zu den Ozonepisoden im Jahre 2001. Das Messnetz besteht heute aus 22 in ländlichen Gebieten gelegenen Stationen, wovon 9 personell besetzt und 13 automatisch arbeitende Containerstationen sind.
2. Die Datensätze sind in sich homogen, d.h. es wurden im Verlauf der Jahre keine Veränderungen an den Messbedingungen vorgenommen. Außerdem wurden die Daten einer eingehenden Qualitätsprüfung unterzogen, sowohl intern als auch bei internationalen Vergleichen der Analysenverfahren.

### **4.1 Gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen**

3. An den meisten UBA-Stationen wurden in den Jahren 2000 und 2001 die niedrigsten  $\text{SO}_2$ - und Staubkonzentrationen ( $\text{PM}_{10}$ ) seit Beginn der Messungen Ende der 60er Jahre (Staub) bzw. seit Anfang der 70er Jahre ( $\text{SO}_2$ ) beobachtet. Der stärkste Abfall erfolgte während der letzten 2 Jahrzehnte. So haben beispielsweise zwischen Mitte der 80er Jahre und 2001 die Jahresmittel der  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen um mehr als einen Faktor 10 abgenommen, der entsprechende Rückgang der Staubkonzentrationen lag etwa bei einem Faktor 2. Auffallend ist vor allem der Rückgang der Spitzenkonzentrationen seit Beginn der 90er Jahre an einigen früher sehr stark belasteten Stationen in den neuen Ländern. Diese erfreuliche Entwicklung ist neben den drastischen Emissionsminderungen in Deutschland auch auf die erheblichen Minderungen in unseren Nachbarstaaten zurückzuführen. Als Folge dieser Emissionsminderungen werden die Konzentrationen von  $\text{SO}_2$  und Feinstaub an den ländlichen Stationen im UBA-Messnetz nur noch langsam zurückgehen, da sie in zunehmendem Maße durch den Ferntransport bzw. durch natürliche Emissionen bestimmt werden.
4. Im Gegensatz zu  $\text{SO}_2$  ist die  $\text{NO}_x$ -Belastung an den UBA-Stationen während der letzten 2 Jahrzehnte nur leicht zurückgegangen. Der Rückgang der  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen ( $\text{NO}_x$  liegt an den UBA-Messstellen weitgehend als  $\text{NO}_2$  vor) verläuft insgesamt langsamer als die erhebliche Reduzierung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen in Deutschland um mehr als 40% zwischen Mitte der 80er Jahre und 2001. Wesentliche Gründe für die gegenüber den Emissionen relativ langsamere Abnahme der Konzentrationen dürften hohe Beiträge aus dem Ferntransport sowie die Nichtberücksichtigung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen aus gedüngten und ungedüngten Böden in den UBA-Emissionsinventaren sein.
5. Seit 1998 werden zweimal pro Woche 27 flüchtige organische Substanzen (VOC) in Waldhof (Lüneburger Heide) und auf der Schmücke (Thüringer Wald) gemessen, seit

Januar 2000 auch in Zingst und auf dem Brotjacklriegel. Für diese 4 Stationen ergaben sich ähnliche Konzentrationsmuster, während die Konzentrationen in der Regel mit zunehmender Höhe der Stationen abnehmen. Während die überwiegend aus anthropogenen Quellen stammenden VOC maximale Konzentrationen im Winter aufweisen, zeigt das aus biogenen Quellen stammende Isopren ein ausgeprägtes Maximum im Sommer.

6. Im Jahre 2001 wurden die höchsten Ozon-Stundenwerte im UBA-Messnetz an den Stationen Schauinsland ( $236 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Schmücke ( $195 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und Deuselbach ( $195 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) im Juni bzw. Juli beobachtet. Zum Vergleich: Der höchste Ozonwert in Deutschland wurde mit  $299 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an der Station Plochingen (bei Stuttgart) gemessen. Diese hohen Ozonwerte während mehrerer Episoden sind neben den gebietsweise noch immer hohen Vorläuferemissionen auch auf extreme meteorologische Gegebenheiten mit maximalen Temperaturen und sehr hoher UV-Einstrahlung zurückzuführen (vgl. auch Kapitel 3.2). Trotz der episodenhaft auch im Jahre 2001 aufgetretenen hohen Ozonwerte sind die Ozonspitzenwerte insgesamt an den Stationen im UBA-Messnetz zwischen 1990 und 2001 deutlich zurückgegangen, ähnlich wie auch an den Stationen der Länder. Dagegen haben die Jahresmittelkonzentrationen im gleichen Zeitraum zugenommen (Näheres zu den Ursachen für diese Ozone Trends in Kap.3.2). Angesichts der Zunahme der Ozon-Mittelwerte verwundert es nicht, dass im Gegensatz zu der erfreulichen Entwicklung bei den gesundheitsrelevanten Ozon-Spitzenwerten bei den dosisbezogenen Langfristzielwerten für den Schutz von Vegetation (AOT40) und Gesundheit in den letzten Jahren keine Verbesserung der Situation eingetreten ist, da diese dosisbezogenen Werte vor allem durch die mittleren Ozonkonzentrationen bestimmt werden und nicht durch die Spitzenwerte. Auch im Jahre 2001 wurde an fast allen UBA-Stationen der EU-Langfristzielwert zum Schutz der Vegetation von 3000 ppb h (entspricht  $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ , sog. AOT40-Wert: Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb) mehr oder weniger deutlich überschritten. Bezüglich des Langfristziels für den Schutz der menschlichen Gesundheit ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 8-h-Mittel) ist festzustellen, dass dieser Wert an den UBA-Stationen im Jahr 2001 an 4 (Aukrug) bis 57 (Schauinsland) Tagen überschritten worden ist.
7. Bei den Treibhausgasen Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Distickstoffoxid ( $\text{N}_2\text{O}$ ) sind die deutschen Emissionen zwischen 1990 und 2001 zwar zurückgegangen, der zunehmende Trend der Konzentrationen hat sich aber erwartungsgemäß fortgesetzt. Beim Kohlendioxid betrug die Zunahme zwischen 1972 bis 2001 etwa 1.5 ppm/Jahr (0.4%/Jahr, Mittel über 5 Stationen ). Am Schauinsland betrug die Zunahme für Methan zwischen 1992 und 2001 im Mittel etwa 4 ppb/Jahr (0.2%/Jahr), für  $\text{N}_2\text{O}$  zwischen 1996 und 2001 etwa 0.6 ppb/Jahr (ca.0.2 %/Jahr).



## 4.2 Ionen im Niederschlag

8. Im UBA-Messnetz werden sowohl „daily-bulk“ – als auch wöchentliche „wet-only“-Probenahmen und Analysen durchgeführt. Die seit 1982 durchgeführten „daily-bulk“-Messungen werden seit 1. Januar 2000 nur noch an 2 (Deuselbach und Waldhof) von ehemals 8 Stationen fortgeführt, an allen 8 personellen Messstellen sowie an weiteren 11 Standorten werden seit 1993/1995 wöchentliche wet-only Niederschlagsmessungen durchgeführt.
9. Auch im Jahre 2001 hat sich der seit 1982 beobachtete Rückgang der Ionenkonzentrationen einiger Ionen wie beispielsweise  $H^+$ ,  $SO_4$  und  $NO_3$  fortgesetzt. Zwischen 1982 und 2001 sind im Mittel über die Stationen Deuselbach und Waldhof die Konzentrationen von  $H^+$  um ca. 80% zurückgegangen, Sulfat um mehr als 60% sowie Nitrat um knapp 40%. Der Rückgang der Konzentrationen von Ammoniumionen betrug zwischen 1984 und 2001 etwa 20%. Bezüglich der Langzeittrends von Kalium, Magnesium, Natrium und Chlorid wurden nur geringe und nicht einheitliche Konzentrationsänderungen beobachtet.
10. Die Abnahme des Gesamtgehaltes an Ionen im Regenwasser während der letzten zwei Jahrzehnte war verbunden mit einer Änderung der relativen Ionenverteilung. Im Jahre 2001 waren die prozentualen Anteile von  $H^+$  und  $SO_4$  geringer, die relativen Ionenäquivalente von  $NO_3$  und  $NH_4$  dagegen höher als 1984.
11. Generell unterscheiden sich die Konzentrationen der Regeninhaltsstoffe Sulfat, Nitrat und Ammonium an den UBA-Regenstationen nur geringfügig, d.h. die Konzentrationsverteilung dieser Ionen in ländlichen Gebieten ist recht homogen. Die erheblichen Unterschiede, die bei der nassen Deposition dieser Ionen beobachtet werden, sind im Wesentlichen auf die meist orographisch bedingten unterschiedlichen Niederschlagsmengen zurückzuführen und weniger auf Konzentrationsunterschiede.

## 4.3 Spezielle Umweltprobleme (Kapitel 3)

### 4.3.1 Messungen von Feinstaub im Messnetz des UBA

12. Ausgehend von der Erkenntnis, dass vor allem Feinstaub ein hohes Schädigungspotential im Hinblick auf die menschliche Gesundheit aufweist, steht die Belastung durch Feinstaub mit Partikelgrößen  $PM_{10}$  und  $PM_{2.5}$  in der Luft im Vordergrund der Luftreinhaltepolitik. Unter  $PM_{10}$  bzw.  $PM_{2.5}$  versteht man die Gesamtmasse aller Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als  $10\ \mu m$  bzw.  $2.5\ \mu m$  ist.
13. Im Messnetz des UBA wurde bisher fast ausschließlich die Masse von Grob- und Feinstaub zusammen als Gesamtschwebstaub (TSP) gemessen, seit 1999 auch die des Feinstaubes. In Waldhof werden  $PM_{2.5}$ -Messungen seit 1999 und in Deuselbach und Schauinsland seit 2000 durchgeführt. Seit 2000 wird vom UBA auch die Anzahl der

ultrafeinen Nanopartikel gemessen (Durchmesser  $< 100 \text{ nm} = 0.1 \text{ }\mu\text{m}$ ), die nach neueren Untersuchungen ebenfalls als Schadstoffe aufzufassen sind.

14. Die  $\text{PM}_{10}$ -Konzentrationen zeigen einen ausgeprägten Jahresgang mit maximalen Konzentrationen im Winter an den Flachlandstationen Neuglobsow, Waldhof und Zingst und maximalen Konzentrationen im Sommer an den Bergstationen Schauinsland, Brotjacklriegel und Schmücke. Der Grund für das Sommermaximum liegt darin, dass die Bergstationen im Sommer häufig innerhalb der mit Partikeln angereicherten Mischungsschicht liegen, im Winter dagegen oft oberhalb dieser Schicht innerhalb der freien Troposphäre.
15. Die Anzahlgrößenverteilung der ultrafeinen Nanopartikel (Durchmesser  $< 100 \text{ nm}$ ) am Dienstort Langen zeigt ein ausgeprägtes Maximum der Teilchenzahlen im Bereich zwischen 20 und 40 nm (wahrscheinlich Rußpartikel aus Verbrennungsprozessen, Autoverkehr) sowie ein weiteres Maximum unterhalb von 10 nm (wahrscheinlich Partikelneubildung aus Gasen). Dagegen fehlt auf dem Kleinen Feldberg (Taunus) das Maximum zwischen 20 und 40 nm.
16. Der Massenanteil der im UBA-Messnetz analysierten anorganischen Staubinhaltsstoffe (Sulfat, Nitrat, Chlorid, Ammonium, Kalzium, Natrium, Kalium) hat zwischen 1990 und 1999 von etwa 50 % auf etwa 35 % abgenommen.
17. Die mittleren Massenanteile an den 8 Stationen lagen im Mittel zwischen 1995 und 1999 bei etwa 20 % bei Sulfat, 12 % bei Nitrat und 5 % bei Ammonium. Der Sulfat- und Nitratanteil nimmt in der Regel mit steigender Stationshöhe zu. Entsprechend wurden die höchsten Sulfat- und Nitratanteile auf den Bergstationen Schauinsland und Brotjacklriegel gemessen.
18. Bei den aerosolgebundenen Schwermetallen Blei, Cadmium, Kupfer und Mangan haben die mittleren Jahreskonzentrationen während der letzten 20 bis 30 Jahre deutlich abgenommen. Dieser Rückgang ist auf Minderungen der Staubemissionen sowie auf zusätzliche Maßnahmen zur Reduzierung der Schwermetallemissionen vor allem in Deutschland zurückzuführen.
19. Eine Auswertung der Anzahl der Überschreitungen von  $\text{PM}_{10}$ -Grenzwerten im Hinblick auf die Anforderungen der 1. EG-Tochterrichtlinie 1999/30/EG hat für die 8 personell besetzten Messstellen ergeben, dass die Tagesmittel von  $50 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  seit 1992 an keiner UBA-Station mehr als 35 mal pro Jahre - mit Ausnahme der Station Westerland, wo das Seesalz erheblich zu den  $\text{PM}_{10}$ -Werten beitragen kann - überschritten worden sind (Stufe 1, ab 2005). Bezüglich der Überschreitungen von Stufe 2 (ab 2010) lagen in 2001 an 3 von 8 UBA-Stationen die Tagesmittel von  $50 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  noch über den Grenzwerten für Stufe 2 (bis 7 Überschreitungen pro Jahr zulässig). Noch besser als bei den Tagesmitteln sieht die Situation bei den Jahresmitteln aus. Der Grenzwert von  $40 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Stufe 1 bis 2005) wurde seit 1985 an keiner der 8 Stationen mehr erreicht, der verschärfte Grenzwert von  $20 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Stufe 2 ab 2010) - mit Ausnahme von Westerland - ab 1997 auch nicht mehr. Während zukünftige  $\text{PM}_{10}$ -Jahresmittel die Grenzwerte nur noch selten überschreiten werden, wird der 24-Stunden-Grenzwert auch im Jahre 2005 an einzelnen Emissionschwerpunkten sehr wahrscheinlich noch deutlich überschritten.

20. Im Falle von Grenzwertüberschreitungen (siehe Punkt 19) besteht die Auflage, Aktionspläne zu entwickeln, die sicherstellen müssen, dass weitere Überschreitungen in Zukunft vermieden werden. Zur Erstellung der Aktionspläne ist es notwendig, die Ursachen, d.h. die Quellen und Transportwege zu identifizieren und zu quantifizieren. Eine detaillierte Abschätzung der Beiträge verschiedener Quellen zu den an den UBA-Stationen gemessenen  $\text{PM}_{10}$ -Konzentrationen ist derzeit noch nicht möglich, da wesentliche Parameter, die zu einer solchen Abschätzung benötigt werden, im Messnetz des UBA bisher nicht gemessen werden.

#### **4.3.2 Die Ozonepisoden in Deutschland im Juli und August 2001**

21. Im Jahre 2001 gab es in Deutschland im Vergleich zu 1999 und 2000 wieder häufiger hohe Ozonwerte über  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1-h-Mittel). Die Überschreitungen traten Ende Juli vor allem in Baden-Württemberg sowie zwischen dem 24. und 26. August in Nordrhein-Westfalen während zweier Hitzeperioden auf.
22. Im Vergleich zur höchsten gemessenen Ozonkonzentration im Jahre 2000 ( $253 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Selmsdorf, Mecklenburg-Vorpommern), bei der neben lokal/regionalen Effekten auch der Ferntransport erheblich zu den Ozonspitzen beigetragen hat, handelt es sich bei den Maximalwerten im Jahr 2001 im Wesentlichen um quasi-lokale Effekte, die zu den hohen Ozonwerten geführt haben.
23. Luftmassen-Trajektorienanalysen haben gezeigt, dass die Luftmassen etwa 24 Stunden vor Erreichen der Stationen sehr langsam, bisweilen mehrmals über Gebiete mit einer hohen Emissionsdichte der Ozonvorläufer vagabundiert sind, wodurch sich ein hoher Ozonsockel aufgebaut hat, auf dem dann über Gebieten mit hoher Emissionsdichte oder im Lee dieser Gebiete Ozonspitzen aufgesetzt wurden.
24. Die meteorologischen Voraussetzungen für sehr hohe Ozonwerte waren großräumig sehr günstig, die gemessenen Ozonspitzen traten aber wesentlich kleinräumiger nur in solchen Gebieten auf, die auch eine hohe Emissionsdichte der Vorläufer aufwiesen.
25. Das gehäufte Auftreten von Ozon-Spitzenwerten im Jahr 2001 war in erster Linie eine Folge der für die Ozonbildung günstigeren meteorologischen Bedingungen im Vergleich zu den Jahren vorher.
26. Die im Jahr 2001 gehäuft aufgetretenen hohen Ozonwerte lagen im normalen Schwankungsbereich bei den heutigen Vorläuferemissionen und ändern nichts Grundlegendes an dem klar abfallenden Trend der Ozonspitzenwerte in Deutschland zwischen 1990 und 2001, der im Wesentlichen auf die Emissionsminderungen der Ozonvorläufer in Deutschland als auch in den deutschen Nachbarstaaten zurückzuführen ist.

### 4.3.3 Einführung von Filterpack-Messungen im UBA-Messnetz

27. Nach Empfehlungen von EMEP wurde im Messnetz des UBA im Jahre 2000 die Filterpack-Methode (imprägnierte Filter) in Verbindung mit Ionenchromatographie bzw. Fließinjektionsanalyse zur Messung der Schwefelkomponenten Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) und Sulfat ( $\text{SO}_4$ ) sowie von Stickstoffverbindungen als Summen von  $\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$  bzw.  $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$  in Luft und Schwebstaub eingeführt. Die Filterpack-Methode ersetzt die seit 1973 benutzte nasschemische TCM-Methode für  $\text{SO}_2$  sowie die seit 1974 eingesetzte Röntgenfluoreszenz-Methode für Sulfat.
28. Die Einführung der Filterpack-Methode wurde zwecks Erhöhung der Messgenauigkeit und Empfindlichkeit notwendig. So konnten beispielsweise die aufgrund der starken Emissionsminderungen stark zurückgegangenen Konzentrationen von  $\text{SO}_2$  mit den herkömmlichen Verfahren (TCM sowie automatisch registrierender  $\text{SO}_2$ -Analysator ML 8850) an den meisten UBA-Stationen nicht mehr nachgewiesen werden.
29. Die Nachweisgrenzen der Filterpack-Methode liegen für  $\text{SO}_2$  und  $\text{SO}_4$  bei  $0.01 \mu\text{g S/m}^3$ , für  $\text{NH}_3$  und  $\text{NH}_4^+$  bei  $0.02 \mu\text{g N /m}^3$  und für  $\text{HNO}_3$  und  $\text{NO}_3^-$  bei  $0.01 \mu\text{g N/m}^3$ .
30. Vergleichsmessungen mittels Filterpack-Methode zwischen NILU und UBA auf dem Schauinsland zeigten durchweg gute bis sehr gute Korrelationen mit Korrelationskoeffizienten von 0.96 für  $\text{SO}_2$ , 0.94 für Sulfat, 0.93 für  $\text{NO}_3^-$  und 0.86 für  $\text{HNO}_3$ . Insgesamt lagen die vom UBA gemessenen Werte höher als die von NILU gemessenen, vor allem für  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{HNO}_3$ . Ein Vergleich zwischen den mittels TCM-Methode vom UBA gemessenen  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen mit den von NILU mittels Filterpack gemessenen ergab naturgemäß eine schlechtere Korrelation (Faktor 0.87) als die entsprechenden Vergleichsmessungen mittels Filterpack. Am Schauinsland relativ häufig vorkommende Werte unterhalb von  $0.5 \mu\text{g SO}_2 /\text{m}^3$  konnten mittels TCM nicht mehr nachgewiesen werden. Entsprechende Vergleichsmessungen für Sulfat im Schwebstaub zwischen Röntgenfluoreszenz (UBA) und Filterpack (NILU) erbrachten einen durchschnittlichen Minderbefund von ca. 40% bei der Röntgenfluoreszenz.

## 5 EXECUTIVE SUMMARY

1. In this annual report the results of the air pollution monitoring network of the German Federal Environmental Agency (FEA) are presented for 2001 and compared with results of previous years. Furthermore, the report contains review articles on specific environmental topics of common interest (for example measurements fine particulate matter in the FEA-network, ozone episodes in Germany during July and August 2001). The network consists of 22 stations (9 stations with personnel and 13 automatically working containers) which are situated in rural areas.
2. Special care was taken to produce an internally consistent and homogeneous data set. Measurement apparatus as well as conditions of measurements have not been changed over the years. All data were subject to a comprehensive internal quality control and the analytical techniques were validated by external international intercomparisons.

### 5.1 Gaseous pollutants and particulate matter

3. Annual concentrations of SO<sub>2</sub> and fine particulate matter (PM<sub>10</sub>) were lowest in 2000 and 2001 at most stations since the beginning of measurements in the late 1960s (particles) and the beginning of the 1970s (SO<sub>2</sub>), respectively. The strongest decline was observed over the last two decades mainly as a result of emission reduction in Germany. As an example, SO<sub>2</sub>-concentrations have declined by more than 90 % between the mid 1980s and 2001. The corresponding decrease of PM<sub>10</sub>-concentrations was about 50 %. SO<sub>2</sub> peak concentrations decreased drastically between 1992 and 2001 at some of the previously very polluted sites in eastern Germany. The decline of peak concentrations was caused by drastic emission reductions in east Germany, Poland and the Czech Republic. As the potential for further emission reductions is largely exhausted (at least in Germany) concentrations of SO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub> will only slightly decrease in the near future because concentrations at the rural sites of our monitoring network are determined to an increasing extent by long-range transport and natural emissions.
4. In contrast to SO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub> concentrations of NO<sub>x</sub> have only slightly decreased over the past two decades. NO<sub>x</sub> consists to an overwhelming extent of NO<sub>2</sub> at the measuring sites of the FEA. In general, the decline of NO<sub>2</sub> concentrations was smaller than the considerable emission reduction in Germany by more than 40% between the mid 1980s and 2001.
5. Since 1998 27 VOCs have been measured in Waldhof (Lüneburg Heath) and Schmücke (Thuringian Forest), since January 2000 also at Zingst (Baltic Sea) and Brotjacklriegel (Bavarian Forest). Concentration pattern of the 27 VOCs were quite similar for the 4 stations in 2000 and 2001. For naturally emitted VOCs (for example isoprene) concentrations were highest in summer whereas VOCs of mainly anthropogenic origin showed maximum concentrations in winter.

6. In 2001 highest ozone peak concentrations (1-h-means) in the FEA network were observed at Schauinsland ( $236 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Schmücke ( $195 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und Deuselbach ( $195 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). For comparison: the highest hourly ozone concentration in Germany was  $299 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in 2001 (Plochingen near Stuttgart). These high ozone peak concentrations were caused by high precursor emissions in some regions in connection with extreme meteorological conditions characterized by very high temperatures and stagnant air masses. In spite of the observed peak values during two ozone episodes in 2001 ozone peak concentrations in Germany have generally declined between 1990 and 2001. In contrast to the decreasing trend of peak values, annual ozone mean concentrations have increased over this time period (more details: see chapter 3.3.2). Against this different trend development for ozone peak values versus mean concentrations it is not surprising that only little improvement could be reached over the last decade in order to meet the stringent air quality standards for the protection of human health ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 8-h-mean) and especially for vegetation (AOT40: 3000 ppb h or  $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ ) defined under the ozone daughter directive of the European Union. This is due to the fact that these stringent standards are mainly determined by ozone mean values and not by peak concentrations. Concerning the long-term objective for the protection of human health ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 8-h-mean) this value was exceeded in 2001 between 4 (Aukrug) and 57 (Schauinsland) days. As in previous years the long-term objective for protection of vegetation (3000 ppb h) was also exceeded in 2001 at almost all stations.
7. As expected concentrations of the greenhouse gases  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$  have continued to rise in spite of emission reductions in Germany between 1990 and 2001. The mean  $\text{CO}_2$  increase rate was ca. 1.5 ppm/year (0.4%/year, mean rate for 5 stations) between 1972 and 2001. At Schauinsland the increase rate was ca. 4 ppb/year (0.2%/year) for methane (1992 – 2001) and ca. 0.6 ppb/year (ca. 0.2%/year) for  $\text{N}_2\text{O}$  (1996 – 2001).

## 5.2 Ions in precipitation

8. In the FEA network both “daily - bulk” and weekly “wet -only” measurements are carried out. Between 1982 and 1999 daily-bulk measurements were performed at 8 stations. Since 1 January 2000 daily-bulk measurements have been continued only at Deuselbach and Waldhof. Since 1993 – 1995 weekly wet-only measurements have been carried out at all 8 personal sites as well as at 11 additional sites.
9. In 2001 the declining trend of the concentrations of some ions in rainwater (for example  $\text{H}^+$ , sulfate, nitrate) has continued. Between 1982 and 2001 the average concentrations (mean values for Deuselbach and Waldhof) of  $\text{H}^+$  has declined by ca. 80%, the corresponding decrease of sulfate was more than 60% and that of nitrate was nearly 40%. For ammonium the decline was ca. 20% between 1984 and 2001. Concerning long-term trends of potassium, calcium, magnesium, sodium and chloride only small changes were observed.

10. The decrease of total ion content in rainwater over the last two decades was accompanied by a shift of the relative ion distribution. At the two stations Deuselbach and Waldhof the percent fractions of  $H^+$  and  $SO_4$  were lower in 2001 as compared to 1984. On the other hand, the relative equivalent concentrations of  $NO_3$  and  $NH_4$  were higher in 2001 than in 1984 although their absolute concentrations have also decreased.
11. In general today's ion concentration differences at the UBA monitoring sites are only small, i.e. there is a relatively homogeneous ion concentration pattern in rural areas in Germany. Therefore, the considerable spatial differences of wet ion deposition are mainly caused by the different amounts of precipitation depending to a large extent on orographic influences.

## 5.3 Specific environmental topics

### 5.3.1. Measurements of fine particulate matter in the FEA network

12. There is recent evidence that both fine particulate matter ( $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$ ) and ultrafine particles (so-called nano-particles, diameter  $< 0.1 \mu m$ ) are of high relevance to health effects.  
 $PM_{10}$ : Particle mass with an aerodynamic diameter  $< 10 \mu m$ .  
 $PM_{2.5}$ : Particle mass with an aerodynamic diameter  $< 2.5 \mu m$ .
13. Until 1999 only TSP (total Suspended Particulate matter) has been measured in the FEA network, since 1999 only  $PM_{10}$ . In Deuselbach and Schauinsland  $PM_{2.5}$  measurements have been carried out since 2000. Since 2000 number concentrations of nano-particles (diameter  $< 100 \text{ nm} = 0.1 \mu m$ ) have been detected at different sites by the FEA.
14.  $PM_{10}$  mass concentrations reveal a pronounced annual course with maximum concentrations at the low altitude sites in winter and maximum values at the mountain stations in summer. The reason for the summer maximum at the mountain sites is the high vertical extension of the polluted mixing layer whereas in winter the mountains are frequently situated above this layer within the free troposphere
15. The number concentration of ultrafine nano-particles at the small city of Langen (30 km south of Frankfurt) shows a pronounced maximum for particle sizes between 20 and 40 nm (most likely black carbon from traffic) and another maximum below 10 nm (most likely particle formation from gas to particle conversion). On Mt. Kleiner Feldberg (820 m above NN, Taunus) a maximum between 20 and 40 nm could not be observed (no traffic).

16. The mass ratio of the chemically analysed inorganic aerosol compounds (sulfate, nitrate, chloride, ammonium, calcium, sodium, potassium) has decreased between 1990 and 1999 from ca. 50 % to ca. 35 %.
17. The mean (1995-1999, 8 stations) mass fraction of sulfate/PM<sub>10</sub> was ca. 20 %. The corresponding fractions of nitrate and ammonium were 12 % and 5 %, respectively. The highest sulfate- and nitrate fractions were observed at Schauinsland (1205 m) and Brotjacklriegel (1016 m).
18. Over the last 20 to 30 years a pronounced decrease of annual concentrations of particle-bound lead, cadmium, copper and manganese was observed. This decline is the result of emission reductions of total particulate matter in combination with additional measures to specifically reduce heavy metals (for example reduction of lead content in gasoline).
19. Regarding the stringent air quality standards with respect to PM<sub>10</sub> defined under the first European Union Daughter Directive 1999/30/EC a data analysis for the 8 personal stations has given the following results: Since 1992 daily PM<sub>10</sub> means of 50 µg/m<sup>3</sup> have not been exceeded more than 35 times per year (stage 1, from 2005) at any station (exception: Westerland, high contribution of sea salt to PM<sub>10</sub>). Regarding exceedances of limit values in stage 2 (7 exceedances per year are permitted, from 2010) at 3 of 8 stations daily means of 50 µg/m<sup>3</sup> have been exceeded in 2001. Concerning annual mean concentrations the situation is even better than for daily means. The limit value of 40 µg/m<sup>3</sup> (stage 1, from 2005) has not been exceeded at any station since 1985. The more stringent limit value of 20 µg/m<sup>3</sup> (stage 2, from 2010) has not been exceeded since 1997 (exception: Westerland, high sea salt contribution).
20. In case of exceedances the EC member states are committed to develop action plans which have to secure that future exceedances be avoided. To establish such action plans requires the identification and quantification of the PM<sub>10</sub> sources and transportation paths. A detailed assessment of the contributions of different sources to the PM<sub>10</sub> levels observed at the FEAs monitoring network is not possible yet because some of the necessary parameters are not measured.

### 5.3.2 Ozone episodes in Germany during July and August 2001

21. In 2001 high ozone concentrations above 240 µg/m<sup>3</sup> (1-h-mean) have occurred more frequently as compared with 1999 and 2000. Exceedances of 240 µg/m<sup>3</sup> have been observed mainly in Baden-Württemberg at the end of July as well as in Nordrhein-Westfalen between 24-26 August during two meteorological situations characterized by extreme temperatures and high stability of the lower troposphere.
22. In contrast to maximum ozone concentrations in 2000 (253 µg/m<sup>3</sup> in Selmsdorf, Mecklenburg-Vorpommern, 1-h-mean) ozone peaks in 2001 were mainly caused by



quasi-local sources whereas the highest ozone concentrations in 2000 were caused by local/regional effects in combination with contributions from medium and long-range transport.

23. Backward trajectory analyses have shown that air masses have remained over high emission areas for more than 24 hours before reaching the ozone monitoring stations. Another result of the trajectory analysis was that the high surface peak ozone values have originated from photochemical ozone formation processes within the mixing layer.
24. The meteorological preconditions during the ozone episodes were favourable for the occurrence of high ozone peak concentrations on a large scale. In reality, however, ozone peak values were observed only in areas with high emission densities of ozone precursors i.e. ozone peaks were observed on a much smaller scale.
25. The very high ozone peak concentrations (maximum:  $299 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) observed during the episodes in summer 2001 have not affected the generally declining trend of peak concentrations in Germany between 1990 and 2001 which is the result of emission reductions. Taking into account further emission reductions in Germany and Europe by 2010 ozone peak values will continue to decrease but at a slower rate than between 1990 und 2001.

### 5.3.3 Installation of filterpack method in the FEA network

26. Following the recommendations of EMEP the filterpack method (impregnated filters) was installed in 2000 in the UBA monitoring network for detecting sulfur compounds ( $\text{SO}_2$ , sulfate) and nitrogen compounds (sum of  $\text{HNO}_3$  and  $\text{NO}_3^-$ , sum of  $\text{NH}_3$  and  $\text{NH}_4^+$ ) in air and dust particles. By the filterpack method both the wet chemical TCM method ( $\text{SO}_2$ , since 1973) and the x-ray fluorescence method (sulfate, since 1974) were replaced.
27. The introduction of the filterpack method was necessary in order to improve the accuracy and sensitivity of measurements. For example,  $\text{SO}_2$  concentrations could not be detected any longer at most UBA stations using the old methods (TCM and automatically monitoring  $\text{SO}_2$  analyser ML 8850) due to the very low concentrations observed today as a result of the strongly decreasing emissions over the last 2 decades.
28. Detection limits of the filterpack method are:  $0.01 \mu\text{g S} / \text{m}^3$  for  $\text{SO}_2$  and  $\text{SO}_4$ ,  $0.02 \mu\text{g N} / \text{m}^3$  for  $\text{NH}_3$  and  $\text{NH}_4^+$  and  $0.01 \mu\text{g N} / \text{m}^3$  for  $\text{HNO}_3$  and  $\text{NO}_3^-$ .
29. A comparison of measurements at the UBA station Schauinsland between NILU and UBA using the filterpack method showed good to very good correlations with correlation coefficients of 0.96 for  $\text{SO}_2$ , 0.94 for sulfate, 0.93 for nitrate and 0.86 for nitric acid. In general, values measured by UBA were higher than by NILU especially for  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{HNO}_3$ .