



# **Jahresbericht 2002 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>  
Internet Messnetz:  
<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/mbm>

Redaktion: Fachgebiet II 6.6  
Siegfried Beilke  
Karin Uhse  
Manfred Jäschke

Berlin, Dezember 2003

# UBA-MESSNETZ - JAHRESBERICHT 2002

## Inhaltsverzeichnis

<b>VORWORT.....</b>	<b>6</b>
<b>KURZFASSUNG.....</b>	<b>8</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 2002 UND VERGLEICH MIT FRÜHEREN WERTEN .....</b>	<b>21</b>
2.1 Gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen .....	21
2.1.1 Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) .....	21
2.1.2 Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) .....	32
2.1.3 Ozon ( $\text{O}_3$ ).....	45
2.1.4 Flüchtige Organische Substanzen (VOC).....	58
2.1.5 Peroxyacetylinitrat (PAN).....	72
2.1.6 Carbonyle.....	76
2.1.7 Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ).....	83
2.1.8 Methan ( $\text{CH}_4$ ) .....	88
2.1.9 Distickstoffoxid ( $\text{N}_2\text{O}$ ) und Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) .....	91
2.1.10 Partikelförmige Luftverunreinigungen .....	91
2.1.11 Schwefel- und Stickstoffkomponenten in Luft und Schwebstaub .....	104
2.2 Ionen im Niederschlag .....	109
2.2.1 Konzentrationen der Ionen im Niederschlag – Daily-bulk.....	109
2.2.2 Depositionen von Ionen mit dem Niederschlag – Daily-bulk ....	118
2.2.3 Weekly-wet-only-Messungen .....	124
2.3 Meteorologischer Überblick 2002 .....	132

2.3.1	<b>Temperatur .....</b>	132
2.3.2	<b>Sonnenschein .....</b>	136
2.3.3	<b>Niederschlag und Bewölkung .....</b>	136
2.3.4	<b>Jahresverlauf an ausgewählten UBA-Stationen .....</b>	137
2.3.5	<b>Die Witterung im Jahresverlauf im Bezug auf die Luftschadstoffe .....</b>	151
2.4	<b>Literatur zu Kapitel 2.....</b>	154
<b>3.</b>	<b>SPEZIELLE UMWELTPROBLEME .....</b>	<b>156</b>
3.1	<b>Der nordhemisphärische Transport von Ozon und Feinstaub und sein Beitrag zur Luftqualität in Deutschland .....</b>	156
3.1.1	<b>Einleitung.....</b>	156
3.1.2	<b>Ergebnisse der Workshops.....</b>	157
3.1.3	<b>Literatur zu Kapitel 3.1 .....</b>	168
3.2	<b>Ozonmessungen auf der Zugspitze .....</b>	171
3.2.1	<b>Einleitung .....</b>	171
3.2.2	<b>Ozonmessungen .....</b>	171
3.2.3	<b>Literatur zu Kapitel 3.2 .....</b>	183
3.3	<b>Die Ozonepisode in Deutschland im Jahre 2002 .....</b>	184
3.3.1	<b>Einleitung.....</b>	184
3.3.2	<b>Analyse der Ozonepisoden im Jahre 2002.....</b>	189
3.3.3	<b>Literatur zu Kapitel 3.3 .....</b>	198
3.4	<b>Kohlenmonoxidmessungen an der Messstelle Schauinsland - Erfahrungen und Ergebnisse mit dem Resonanz-Fluoreszenz Verfahren.....</b>	199
3.4.1	<b>Zusammenfassung.....</b>	199
3.4.2	<b>Einleitung .....</b>	199
3.4.3	<b>Messverfahren für CO Messungen .....</b>	200
3.4.4	<b>Beschreibung des Messverfahrens .....</b>	202
3.4.5	<b>Außenluftmessungen.....</b>	205
3.4.6	<b>Literatur zu Kapitel 3.4 .....</b>	209

<b>4. ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>210</b>
<b>4.1 Gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen .....</b>	<b>210</b>
<b>4.2 Ionen im Niederschlag und Meteorologie .....</b>	<b>212</b>
<b>4.3 Spezielle Umweltprobleme (Kapitel 3) .....</b>	<b>213</b>
<b>4.3.1 Der nordhemisphärische Transport von Ozon und Feinstaub und sein Beitrag zur Luftqualität in Deutschland .....</b>	<b>213</b>
<b>4.3.2 Ozonmessungen auf der Zugspitze.....</b>	<b>214</b>
<b>4.3.3 Die Ozonepisode in Deutschland im Jahr 2002 .....</b>	<b>215</b>
<b>4.3.4 Kohlenmonoxidmessungen an der Messstelle Schauinsland - Erfahrungen und Ergebnisse mit dem Resonanz-Fluoreszenz Verfahren .....</b>	<b>216</b>
<b>5. EXECUTIVE SUMMARY .....</b>	<b>217</b>
<b>5.1 Gaseous pollutants and particulate matter .....</b>	<b>217</b>
<b>5.2 Ions in precipitation and meteorology.....</b>	<b>219</b>
<b>5.3 Specific environmental topics (chapter 3) .....</b>	<b>220</b>
<b>5.3.1 Fractions of Northern hemispheric background ozone and fine particle transport to air quality standards in Germany ....</b>	<b>220</b>
<b>5.3.2 Ozone monitoring at Zugspitze .....</b>	<b>221</b>
<b>5.3.3 The ozone episode in Germany in the year 2002 .....</b>	<b>222</b>
<b>5.3.4 Carbonmonoxide monitoring at Schauinsland .....</b>	<b>222</b>

## VORWORT

Das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (*Ref. 1*) Mitte der 60er Jahre gegründete und im Jahre 1974 vom Umweltbundesamt übernommene Messnetz zur Überwachung der grobräumigen 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.

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 2002 fortgeführt. **Die deutsche und die englische Zusammenfassung (Kapitel 4 und 5) sowie die Berichte aus Kapitel 3 sind unter o.g. Internet-Adresse verfügbar. Dies gilt auch für die Berichte der Jahre 1998 bis 2001 sowie die deutsche Fassung der Messnetzbroschüre „Luft kennt keine Grenzen“.**

Zusätzlich veröffentlicht das Umweltbundesamtwerden seit 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. Die Online-Darstellung, die alle 3 Stunden aktualisiert wird, ist unter der Internet-Adresse **<http://www.env-it.de/luftdaten/start.fwd>** verfügbar.

**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 2002 zusammenfassend dargestellt, bewertet und mit den Messungen aus früheren Jahren verglichen. Die Messergebnisse aus dem Jahre 2002 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 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 Kohlenmonoxid 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/uv/uv2/uvi>**

## KURZFASSUNG

Wie bereits in den Vorjahren werden auch in diesem Jahresbericht die Ergebnisse aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes für das Jahr 2002 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.

Nachdem ein stetiger Rückgang der SO<sub>2</sub>- und Staubkonzentrationen (ab 1999 PM<sub>10</sub>) seit Beginn der Messungen Ende der 60er Jahre (Staub) bzw. seit Anfang der 70er Jahre (SO<sub>2</sub>) beobachtet werden konnte, stagnierten die Werte im Jahr 2002 auf diesem niedrigen Niveau bzw. stiegen wieder leicht an. Eine Trendumkehr ist daraus allerdings nicht abzuleiten. Ähnliches gilt auch für die Ionen im Niederschlag: nach dem deutlichen 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 Jahr 2001 verringerten sich im Jahr 2002 die H<sup>+</sup>-Ionenkonzentrationen nicht mehr an allen Stationen. Insgesamt ist der Niederschlag heute jedoch erheblich weniger sauer als vor 20 Jahren.

Eine weitere erfreuliche Entwicklung ist der Rückgang der Ozonspitzenwerte zwischen 1990 und 2002, gemessen an der Zahl der Überschreitungen der Schwellenwerte von 180 bzw. 240 µg/m<sup>3</sup>, der im Wesentlichen auf die Reduzierung der Ozonvorläufer (NOx, 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 und damit des Titrationseffektes in Deutschland sowie sehr wahrscheinlich auf den zunehmenden Beitrag aus dem nordhemisphärischen 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 auch im Jahr 2002 weiter zugenommen (z.B. CO<sub>2</sub> um ca. 0.4%/Jahr; CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>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. NOx). 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 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>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 NO<sub>x</sub> vergleichsweise geringeren Rückgang der Konzentrationen von NO<sub>2</sub> in Deutschland vor allem die hohen Beiträge des Ferntransportes aus einigen deutschen Nachbarstaaten verantwortlich.

## ABSTRACT

Like in the years before the results of the air pollution monitoring network of the Federal Environmental Agency (FEA) are presented for the year 2002 in this annual report. The results for 2002 are evaluated and compared with previous measurements which started in the late 1960s and 1970s. In 2002 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. After years of constant decrease annual concentrations of  $\text{SO}_2$  and fine particulate matter ( $\text{PM}_{10}$ ) at most sites since the beginning of measurements in the late 1960s (particles) and the beginning of the 1970s ( $\text{SO}_2$ ) respectively, concentrations stagnated in 2002 on this very low level or increased slightly. But this does not imply a reversal of the trend. This also applies to ions in precipitation: after the explicit increase of precipitation pH from 4.2 to 4.3 in 1982 to 4.7 to 5.0 in 2001 some of the FEA sites did not show a further increase. But overall precipitation today is much less acidic than 20 years ago.

Another positive development is the decline of ozone peak values over the last 13 years, which is due to emission reductions of  $\text{NO}_x$  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 NOx emission reductions ( $\text{NO}_x$  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  $\text{CO}_2$  by approx. 0.4%/year;  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$  by approx. 0.2%/year) in spite of considerable emission reductions of these greenhouse gases in Germany between 1990 and 2002. 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  $\text{NO}_x$ ). The reason for the rising ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) or relatively slowly decreasing ( $\text{NO}_x$ ) 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  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$  in Germany is largely determined by non-European sources in the northern and southern hemisphere whereas the concentration levels of  $\text{NO}_x$  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  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$ ). 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 UMWELTBUNDESAMTES

## 1.1 Lage der Messstellen

Das Luftmessnetz des Umweltbundesamtes besteht seit über 35 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 personellen Messstellen:**

WESTERLAND	ZINGST
WALDHOF	NEUGLOBSOW
DEUSELBACH	SCHMÜCKE
SCHAUINSLAND	BROTJACKLRIEGEL
	ZUGSPITZE

Zusätzlich sind 14 automatisch arbeitende Containerstationen eingerichtet. Die geographische Lage der im Jahre 2002 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.

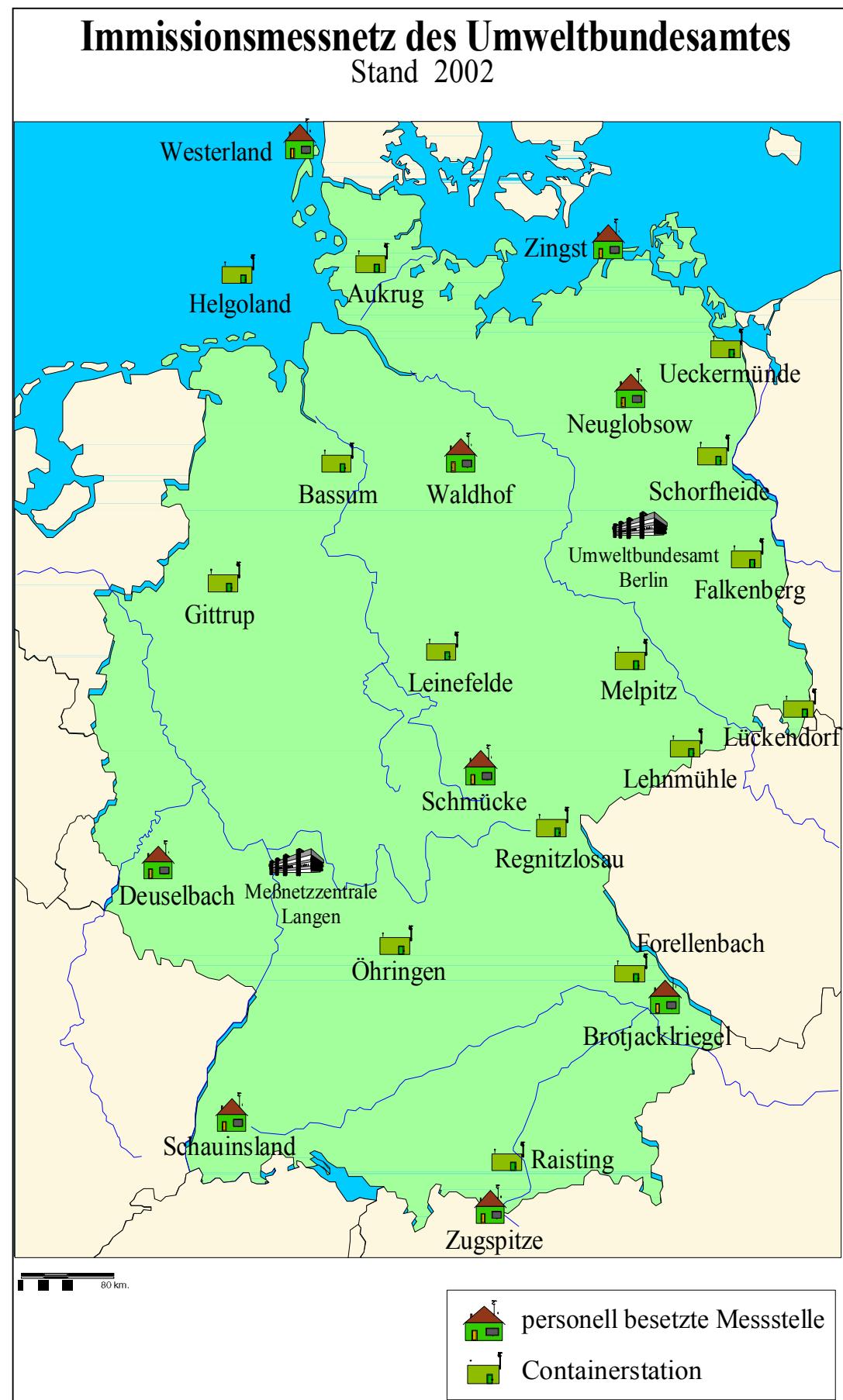


Abbildung 1: Das Messnetz des Umweltbundesamtes

Tabelle 1: Geographische Lage der Messstellen

Stationsname	Stations-Kennung	geographische Koordinaten		Höhe ü NN in m	Messbeginn	Messende
		Nord	Ost			
<b>Angermünde</b>	AN	53°01'54"	13°59'37"	56	Jul 91	Apr 99
<b>Ansbach</b>	AS	49°14'54"	10°35'07"	481	1976	Mrz 01
<b>Aukrug</b>	AU	54°04'29"	09°47'34"	15	Jul 98	
<b>Bassum</b>	BA	52°51'08"	08°42'05"	52	1976	
<b>Brotjacklriegel</b>	BR	48°49'05"	13°13'11"	1016	1968	
<b>Deuselbach</b>	DE	49°45'47"	07°03'18"	480	1967	
<b>Doberlug-Kirchhain</b>	DL	51°38'49"	13°34'31"	97	Mär 91	Okt 98
<b>Falkenberg</b>	FA	52°10'01"	14°07'27"	73	Okt 98	
<b>Forellenbach *</b>	FB	48°56'55"	13°25'20"	858	Jan 90	
<b>Gittrup</b>	GI	52°02'38"	07°40'23"	43	Sep 87	
<b>Herleshausen</b>	HE	51°02'19"	10°09'13"	380	Jun 89	Jan 99
<b>Helgoland</b>	HG	54°11'18"	07°52'38"	50	Aug 93	
<b>Hohenwestedt</b>	HW	54°06'58"	09°42'44"	75	1976	Jun 98
<b>Kyritz</b>	KY	52°56'19"	12°24'41"	40	Mär 91	Jul 98
<b>Leinefelde</b>	LF	51°23'39"	10°18'49"	356	Dez 91	
<b>Lindenberg</b>	LI	52°12'44"	14°07'15"	98	Mär 91	Okt 98
<b>Lehnsmühle</b>	LM	50°49'55"	13°35'18"	527	Nov 93	
<b>Lückendorf</b>	LU	50°49'44"	14°47'17"	490	Nov 91	
<b>Meinerzhagen</b>	ME	51°05'56"	07°40'04"	510	1976	Aug 98
<b>Melpitz</b>	MP	51°31'32"	12°55'39"	86	Nov 93	
<b>Murnauer Moos</b>	MU	47°39'05"	11°12'12"	622	Feb 95	Mai 99
<b>Neuglobsow</b>	NG	53°08'34"	13°02'00"	65	Nov 91	
<b>Öhringen</b>	OE	49°14'32"	09°26'50"	283	Apr 01	
<b>Raisting</b>	RS	47°53'59"	11°06'45"	552	Jun 01	
<b>Regnitzlosau</b>	RE	50°18'28"	12°03'49"	595	Sep 87	
<b>Rottenburg</b>	RT	48°27'21"	08°57'29"	427	1976	Dez 98
<b>Schauinsland</b>	SC	47°54'51"	07°54'32"	1205	1968	
<b>Schmücke</b>	SM	50°39'19"	10°46'15"	937	Jun 91	
<b>Schorfheide</b>	SH	52°58'24"	13°38'48"	70	Apr 99	
<b>Schwerin</b>	SW	53°38'21"	11°23'43"	59	Sep 90	Jun 98
<b>Schleiz</b>	SZ	50°34'11"	11°48'22"	501	Sep 90	Dez 98
<b>Teterow</b>	TE	53°45'50"	12°37'05"	46	Jul 91	Sep 98
<b>Ueckermünde</b>	UE	53°45'03"	14°04'24"	1	Jul 91	
<b>Waldhof</b>	WA	52°48'08"	10°45'29"	74	1970	
<b>Westerland</b>	WE	54°55'36	08°18'33"	12	1968	
<b>Wiesenburg</b>	WI	52°07'21"	12°27'41"	107	Sep 90	Mär 99
<b>Zingst</b>	ZG	54°26'19"	12°43'25"	1	Sep 91	
<b>Zugspitze Gipfellab.</b>	ZU	47°24'54"	10°58'55"	2964	Jan 94	
<b>Zugsp./Schneef.hs.</b>	ZS	47°24'54"	10°58'55"	2650	Mai 99	

\* 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: Mai 2003). 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 verschiedenen 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, die Analyse von Schwermetallen im Staub sowie einen Teil der Containerwartung.

In der Messnetzdatenzentrale laufen alle Werte aus dem Messnetz des UBA 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 über den Datenverbund der Länder bei der UMEG in Karlsruhe an die Zentrale des UBA in Berlin weitergeleitet. Die Ergebnisse der Ozon-,  $\text{SO}_2$ -,  $\text{NO}_2$ -, CO- und Staubmessungen aller Messnetze der Länder und des Umweltbundesamtes werden vom Fachgebiet II 6.2/ Immissionssituation alle 3 Stunden (von Mai bis September stündlich) im Internet in Form von bundesweiten Karten und tabellarisch dargestellt. Wöchentlich werden Messgeräte-Funktionskontrollen durchgeführt und Störungen an die Wartungsteams weitergeleitet. Monatlich werden die Messwerte auf ihre Plausibilität überprüft, 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

<b>Messstelle</b>	<b>Bestimmungen von Gasen</b>										
	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>NOx</b>	<b>O<sub>3</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub>O</b>	<b>PAN</b>	<b>Hg</b>	<b>KW/FCKW</b>	<b>VOC</b>	<b>Carbonyle</b>
<b>Aukrug</b>	R	R	R								
<b>Bassum</b>	R	R	R								
<b>Brotjacklriegel</b>	R	R	R	R						3T	2T
<b>Deuselbach</b>	R	R	R	R	R				T		
<b>Falkenberg</b>	R	R	R								
<b>Forellenbach</b>	R	R	R								
<b>Gittrup</b>	R	R	R								
<b>Helgoland</b>	R	R	R								
<b>Langen</b>											
<b>Lehnsmühle</b>	R	R	R								
<b>Leinefelde</b>	R	R	R								
<b>Lückendorf</b>	R	R	R								
<b>Melpitz</b>	R	R	R								
<b>Neuglobsow</b>	R	R	R	R	R						
<b>Öhringen</b>	R	R	R								
<b>Raisting</b>	R	R	R								
<b>Regnitzlosau</b>	R	R	R								
<b>Schauinsland</b>	R	R	R	R	R	R	R		T		
<b>Schmücke</b>	R	R	R	R	R					3T	2T
<b>Schorfheide</b>	R	R	R								
<b>Ueckermünde</b>	R	R	R								
<b>Waldhof</b>	R	R	R	R			R	R		3T	2T
<b>Westerland</b>	R	R	R								
<b>Zingst</b>	R	R	R				R	R		3T	2T
<b>Zugspitze</b>	R	R	R	R	R	R	R		T	3T	2T
<b>Messstelle</b>	<b>Bestimmungen im Schwebstaub</b>					<b>Meteoro- logie</b>	<b>Bestimmungen im Niederschlag</b>				<b>Strahlung</b>
	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2.5</sub></b>	<b>SO<sub>4</sub></b>	<b>Σ N</b>	<b>SM</b>		<b>Menge</b>	<b>pH/LF</b>	<b>Ionen</b>	<b>SM</b>	
<b>Aukrug</b>	R					R					
<b>Bassum</b>	R					R					
<b>Brotjacklriegel</b>	R				M	R	W	W	W	W	
<b>Deuselbach</b>	R	T	T	T	M	R	T	T	T	W	
<b>Falkenberg</b>	R					R	W	W	W		
<b>Forellenbach</b>						R	W	W	W		R
<b>Gittrup</b>	R					R					
<b>Helgoland</b>	T					R	W	W	W		
<b>Langen</b>											R
<b>Lehnsmühle</b>	R					R	W	W	W		
<b>Leinefelde</b>	R					R					
<b>Lückend.</b>	R					R					
<b>Melpitz</b>	R					R	W	W	W		
<b>Neuglobsow</b>	R		T	T	M	R	W	W	W	W	
<b>Öhringen</b>	R					R	W	W	W		
<b>Raisting</b>	R					R	W	W	W		
<b>Regnitzlosau</b>	R					R	W	W	W		
<b>Schauinsland</b>	R	T	T	T	M	R	W	W	W	R	R
<b>Schmücke</b>	R				M	R	W	W	W	W	
<b>Schorfheide</b>	R					R					
<b>Ueckermünde</b>	R					R					
<b>Waldhof</b>	R	T			M	R	T	T	T	W	
<b>Westerland</b>	T		T	T	M	R	W	W	W	W	
<b>Zingst</b>	R		T	T	M	R	W	W	W	R	R
<b>Zugspitze</b>	R					R	P	P	P	R	R

Legende zu Tabelle 2:

<b>Legende:</b>	
<b>SO<sub>2</sub></b>	Schwefeldioxid
<b>NOx</b>	Stickoxide: Stickstoffoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> ), Stickoxide (NO <sub>x</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>	Peroxyacetylinitrat
<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>	$\sum \text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ , $\sum \text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$
<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>	$\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{K}^+$ , $\text{Na}^+$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$
<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

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

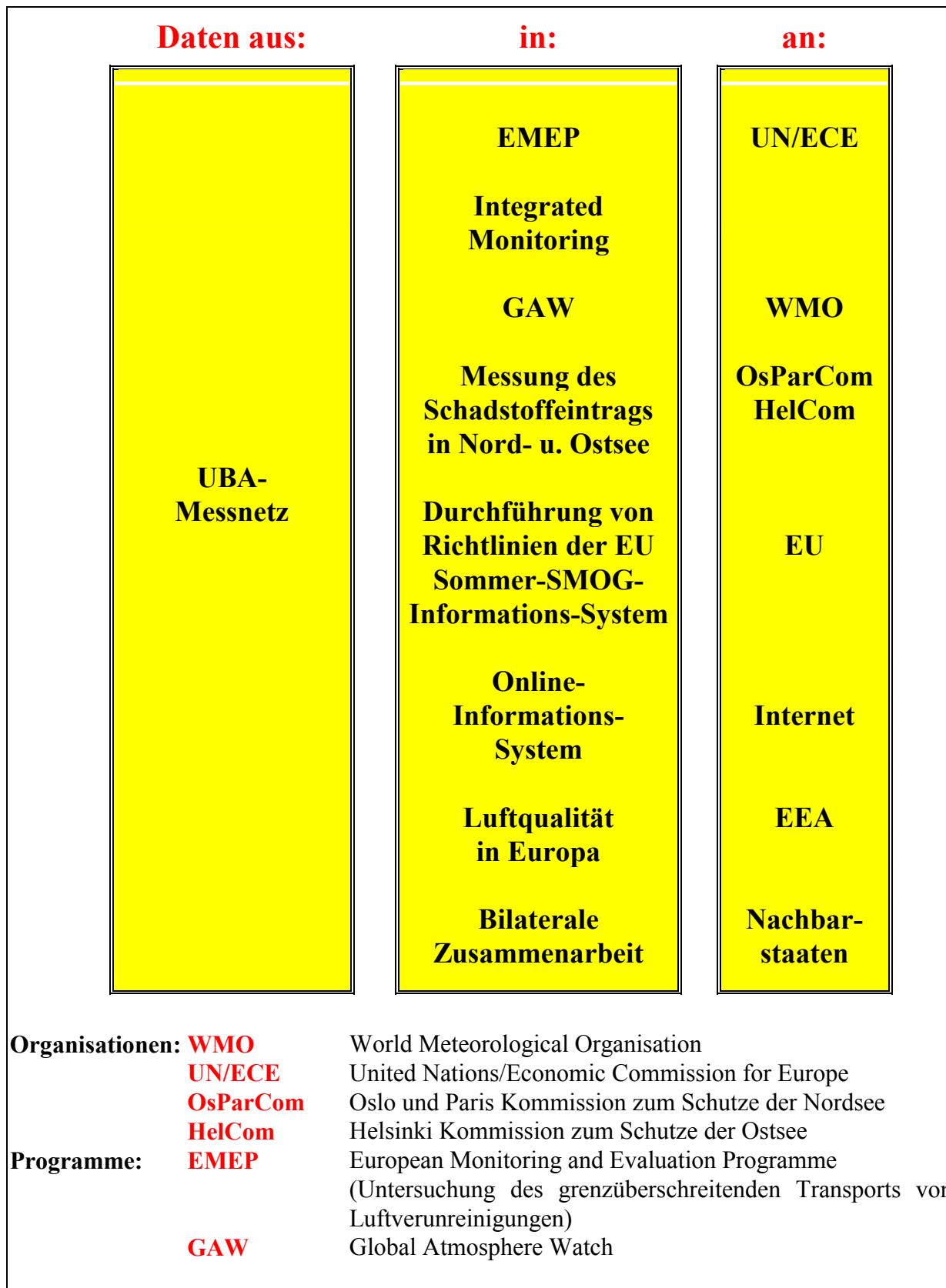


Abbildung 2: Einbeziehung der Messdaten des Umweltbundesamtes in internationale und nationale Programme

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 Luftreinhaltekongvention 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 und die Probenahmen und Messungen am Standort Neuglobsow durchgeführt werden.

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 sektorale 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 letztgenannten 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<sub>10</sub>- und PM<sub>2,5</sub>-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<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub> und Fluorchlorkohlenwasserstoffe. Letztere sind äußerst langlebig. Ihre besondere Wirkung der Ozonzerstörung entfalten sie in der Stratosphäre. Darüber hinaus gehören luftchemisch reaktive Komponenten wie NO<sub>x</sub>, NO<sub>y</sub>, 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 sektorale 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 2002 UND VERGLEICH MIT FRÜHEREN WERTEN

*Siegfried Beilke, Karin Uhse und Manfred Jäschke*

Die Messwerte der 22 Stationen des UBA-Messnetzes für das Jahr 2002 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 2002er 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>)

Nachdem in den Vorjahren ein stetiger Rückgang der Schwefeldioxid-Konzentrationen seit Mitte/Ende der 80er Jahre beobachtet werden konnte, stagnieren die Konzentrationen seit 2001/2002 auf dem sehr niedrigen Niveau der Vorjahre (siehe Abbildung 6), ähnlich wie die Emissionen, die von fast 8 Millionen Tonnen Mitte der achtziger Jahre pro Jahr um über 90% auf 0.65 Millionen Tonnen reduziert werden konnten (siehe Abbildung 7 und Abbildung 8).

Wie auch im Vorjahr wurden im Jahre 2002 an fast allen Stationen in den alten und neuen Ländern ähnlich niedrige SO<sub>2</sub>-Konzentrationen, die zu den niedrigsten seit Beginn der Messungen in den frühen 70er und 80er Jahren gehören, gemessen. In Tabelle 5 sind die Monats- und Jahresmittel der SO<sub>2</sub>-Konzentrationen und in Tabelle 6 die maximalen monatlichen Halbstundenwerte für 2002 aufgelistet. Die höchsten Jahreswerte wurden an den beiden sächsischen Stationen Lückendorf (Schwarzes Dreieck im Zittauer Gebirge) mit 6.7 µg/m<sup>3</sup> (gegenüber 5.6 µg/m<sup>3</sup> in 2001 und 5.9 µg/m<sup>3</sup> in 2000) sowie Lehnsmühle (Osterzgebirge) mit 6.0 µg/m<sup>3</sup> (gegenüber 5.0 µg/m<sup>3</sup> in 2001 und 6.3 µg/m<sup>3</sup> in 2000) gemessen. Es folgen Regnitzlosau (Nordostbayern) mit 4.4 µg/m<sup>3</sup> und Falkenberg (ca. 60 km südöstlich von Berlin) mit 3.4 µg/m<sup>3</sup>. Die höchsten Halbstundenwerte wurden an der Station Lückendorf im Dreiländereck zwischen Deutschland, Polen und Tschechien gemessen: 108 µg/m<sup>3</sup> im Januar, 105 µg/m<sup>3</sup> im Dezember, 104 µg/m<sup>3</sup> im September sowie 97 µg/m<sup>3</sup> im Mai. Dagegen lagen die höchsten Halbstundenwerte an den anderen Stationen deutlich unterhalb von 100 µg/m<sup>3</sup> (Tabelle 9).

Die monatlichen 50-Perzentile (Median) sind in Tabelle 7, die 98-Perzentile in Tabelle 8 und die jährlichen Maxima und Minima der Halbstundenwerte in Tabelle 9 angegeben. Die Perzentile geben an, wieviel Prozent der Werte unterhalb des angegebenen Konzentrationsniveaus liegen. So lagen beispielsweise in Lückendorf im Jahre 2002 98% aller SO<sub>2</sub>-Halbstundenwerte unterhalb von 30 µg/m<sup>3</sup> und 50% unterhalb von 4 µg/m<sup>3</sup>. Aus den Werten in Tabelle 9 ist zu erkennen, dass für viele Stationen beim 25-Perzentil und z.T. beim 50-Perzentil die Messwerte unterhalb der Nachweigrenze der bisher eingesetzten Messgeräte liegen und somit hier die Nachweigrenze angegeben wird.

Besonders auffallend ist weiterhin der starke Abfall der Spitzenkonzentrationen im Jahre 2002 gegenüber den Vorjahren an einigen Stationen in den neuen Ländern, die noch bis 1997 erhöhte SO<sub>2</sub>-Belastungen aufwiesen, wie Abbildung 3 bis Abbildung 5 anhand der monatlichen Perzentile für die Stationen Lückendorf, Lehnsmühle, Melpitz und Schleiz (neue Bundesländer) und Waldhof (Lüneburger Heide, alte Länder) für den Zeitraum 1992 bis 2002 zeigen. Der in der Technischen Anleitung Luft (TA Luft) angegebene Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit für das 98-Perzentil von 400 µg/m<sup>3</sup> für SO<sub>2</sub> wird an keiner der Messstellen des UBA auch nur annäherungsweise erreicht. Alle UBA-Stationen blieben 2002 mit den 98-Perzentilwerten noch unter 30 µg/m<sup>3</sup>.

Wie aus Tabelle 10 und Tabelle 11 sowie aus Abbildung 6 zu sehen ist, ist die SO<sub>2</sub>-Belastung in Deutschland insgesamt auf ähnlich niedrigem Niveau wie in den beiden letzten Jahren geblieben. 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 SO<sub>2</sub>-Emissionen (siehe Abbildung 7 und Abbildung 8). In den neuen Ländern werden mittlerweile nahezu vergleichbare SO<sub>2</sub>-Konzentrationen wie in den alten Bundesländern 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 SO<sub>2</sub>-Konzentrationen aufweisen, die Konzentrationen im Zuge der weiteren Reduzierungen der SO<sub>2</sub>-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 SO<sub>2</sub>-Konzentrationen zwischen Mitte der 80er Jahre und 2002 um mehr als einen Faktor 10 abgenommen. Die SO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Deutschland werden auch in Zukunft kaum noch zurückgehen, da hier das SO<sub>2</sub>-Minderungspotential weitgehend ausgeschöpft ist.

In Tabelle 4 sind die Grenz- und Alarmwerte für Schwefeldioxid gemäß EU-Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22.4.1999 dargestellt. Bei den in diesen Richtlinien festgelegten Grenzwerten handelt es sich um Mindestanforderungen. Die Mitgliedsstaaten können auch strengere Grenzwerte festlegen, beispielsweise zum Schutz der Gesundheit besonders gefährdeter Personengruppen wie Kinder und Krankenhauspatienten. Im UBA-Messnetz wurde im Jahr 2002 keiner der Grenz- oder Alarmwerte überschritten.

Tabelle 4: Grenz- und Alarmwerte für Schwefeldioxid gemäß EU-Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22.4.1999 und der 22. BImSchV vom 11.09.2002

	<b>Mittelungszeitraum</b>	<b>Grenzwert</b>	<b>Toleranzmarge a) bei Inkrafttreten b) jährlicher Reduzierung</b>	<b>Zeitpunkt, bis zu dem der Grenzwert zu erreichen ist</b>
<b>Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit</b>	1 Stunde	350 µg/m³ dürfen nicht öfter als 24mal im Kalenderjahr überschritten werden	a) 150 µg/m³ (43%) b) 30 µg/m³ (20 Prozentpunkte)	1. Januar 2005
<b>Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit</b>	24 Stunden	125 µg/m³ dürfen nicht öfter als 3mal im Kalenderjahr überschritten werden	keine	1. Januar 2005
<b>Grenzwert für den Schutz von Ökosystemen</b>	Kalenderjahr und Winter (1.10.-31.3.)	20 µg/m³	keine	19. Juli 2001
<b>Alarmschwelle für den Schutz der menschl. Gesundheit</b>	3 aufeinander folgende Stunden	500 µg/m³		sofort

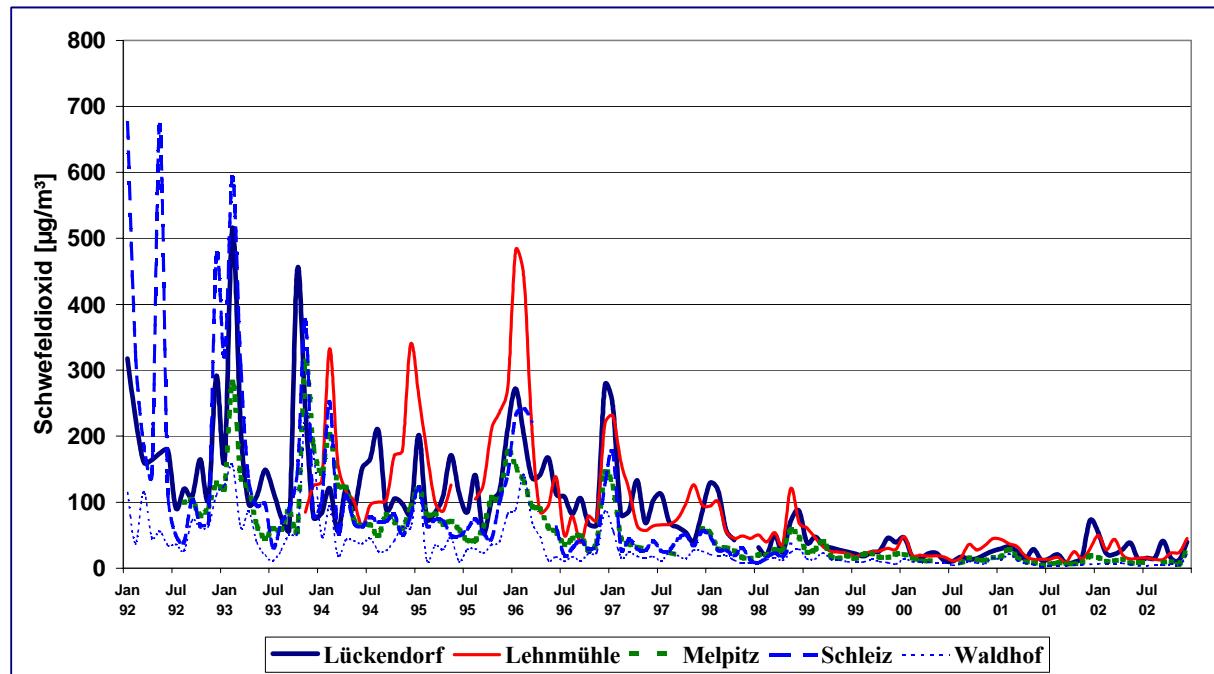


Abbildung 3: Monatliche 98-Perzentile der Halbstundenwerte von Schwefeldioxid, 1992 bis 2002 in Lückendorf, Lehnsmühle, Melpitz, Schleiz und Waldhof, kontinuierliches Messverfahren

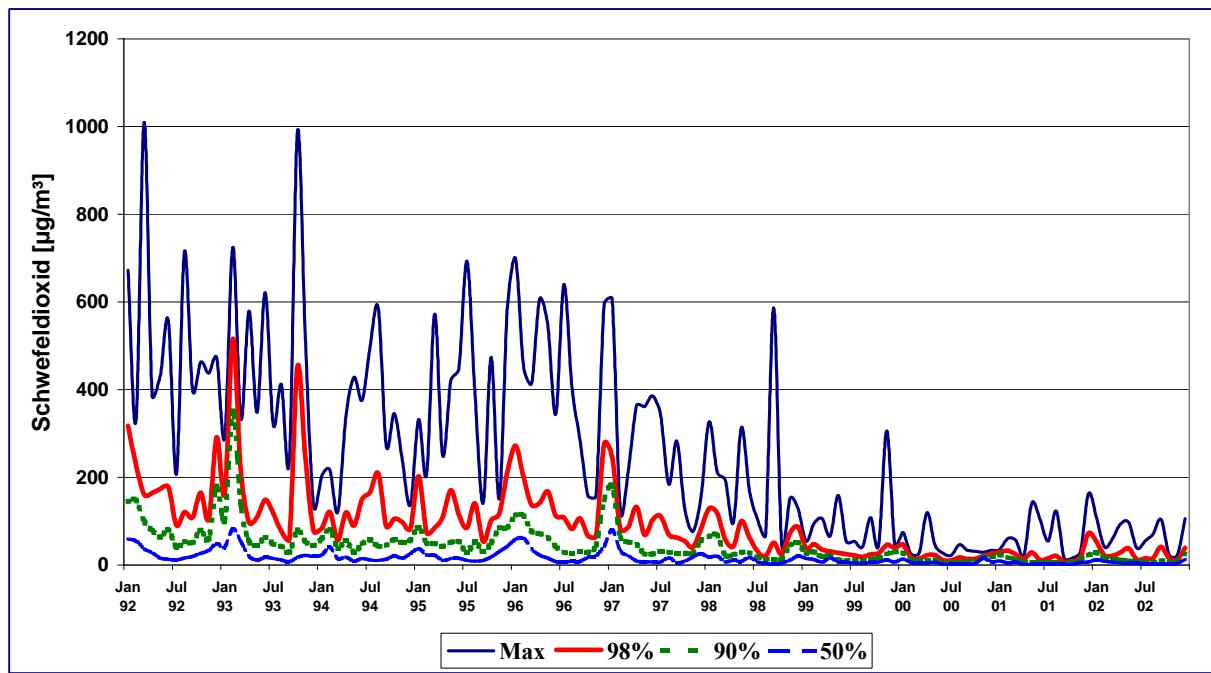


Abbildung 4: Maximale Halbstundenwerte sowie 98-, 90- und 50-Perzentile der Schwefeldioxidkonzentrationen in Lückendorf zwischen 1992 und 2002.

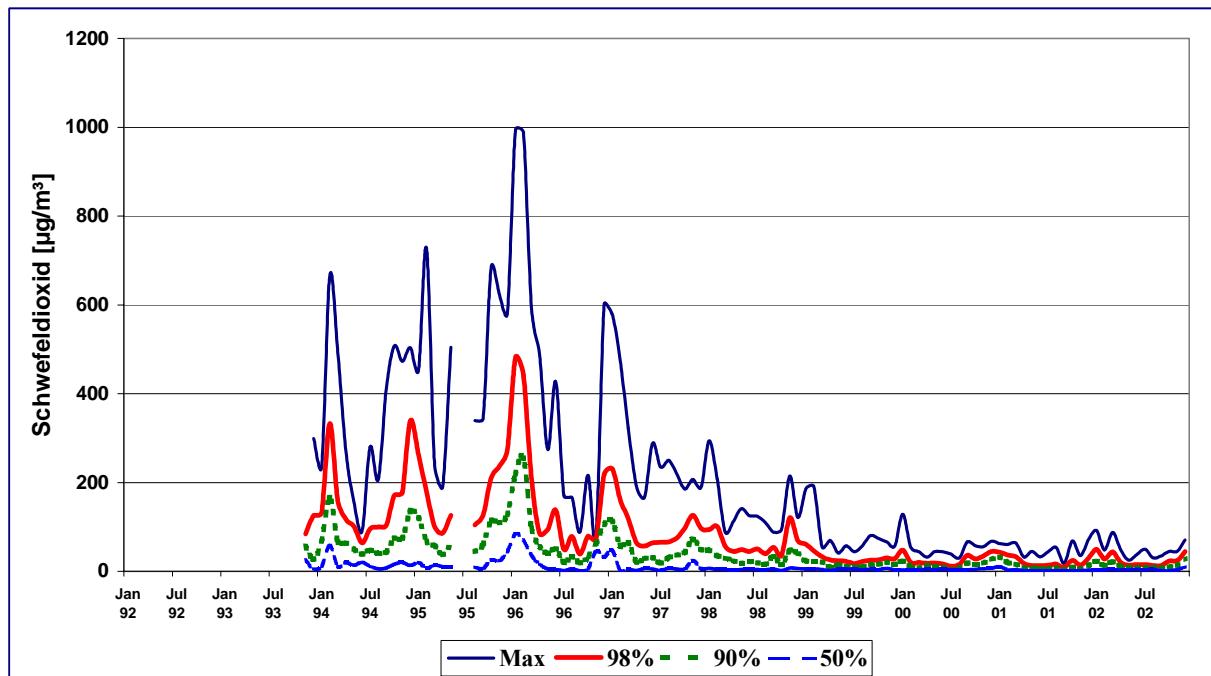


Abbildung 5: Maximale Halbstundenwerte sowie 98-, 90- und 50-Perzentile der Schwefeldioxidkonzentrationen in Lehnsmühle zwischen 1993 und 2002.

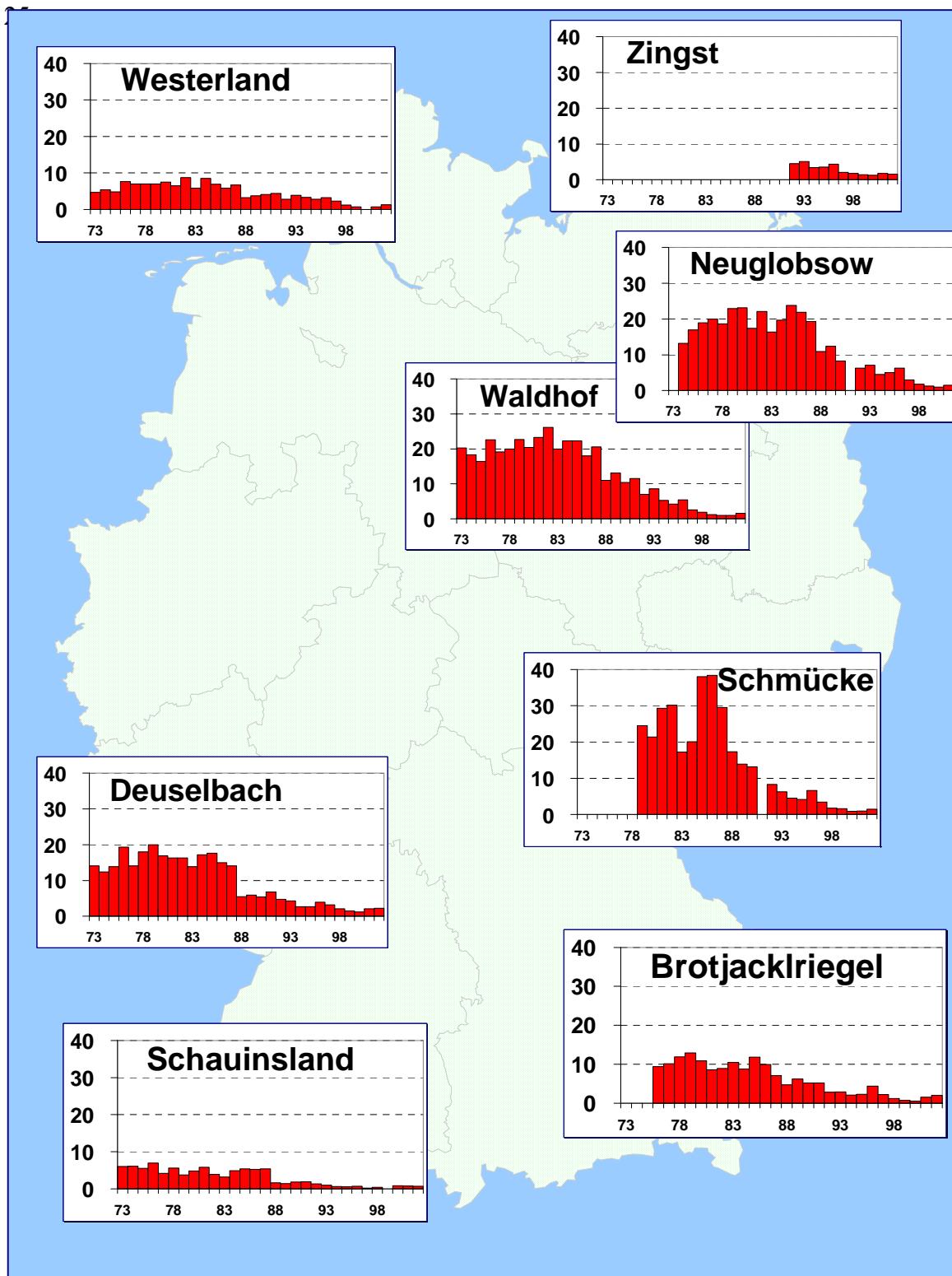


Abbildung 6: Jahresmittel der Schwefeldioxidkonzentrationen von 1973 bis 2002 in µg/m<sup>3</sup> an den personellen Messstellen des UBA, 1973-1999: nasschemisches TCM-Verfahren, ab 2000 für Westerland, Zingst, Neuglobsow, Deuselbach und Schauinsland: Filterpack-Methode (siehe Ref. 14) für Waldhof, Schmücke und Brotjacklriegel: Trace Level Gerät

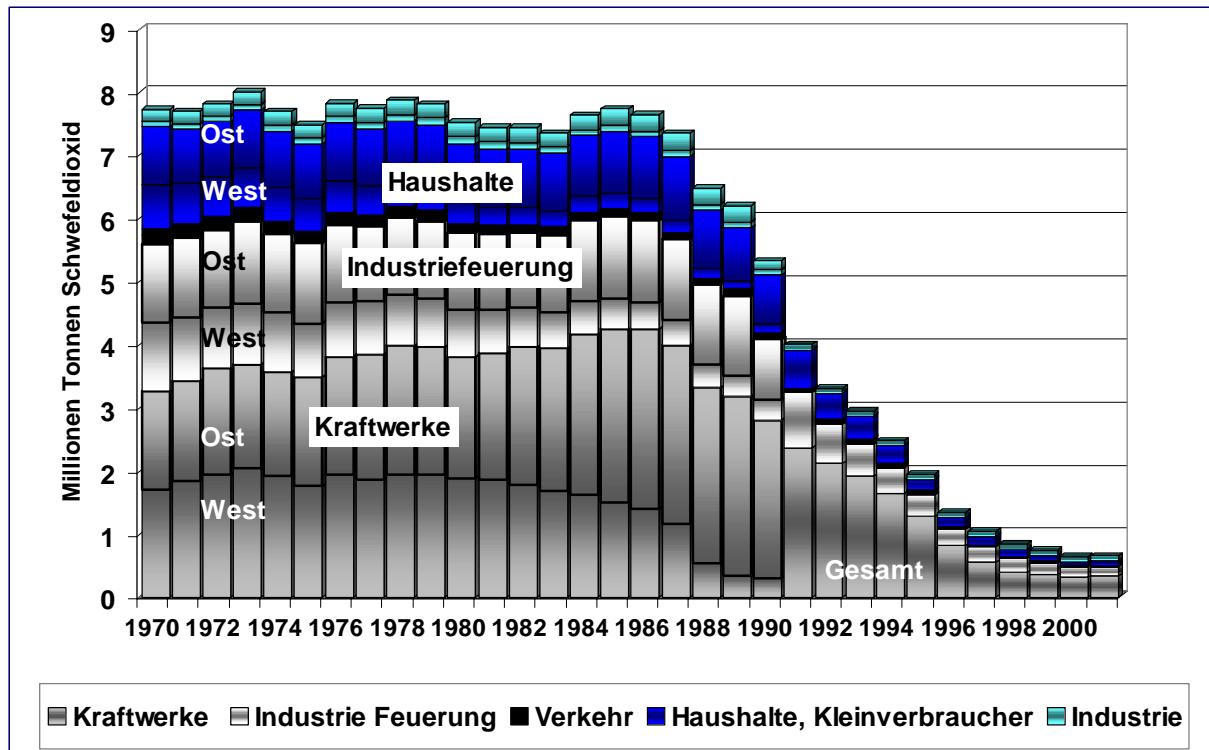


Abbildung 7: Jährliche Schwefeldioxid-Emissionen in Deutschland von 1970 bis 2001  
(Ref. 1, 2)

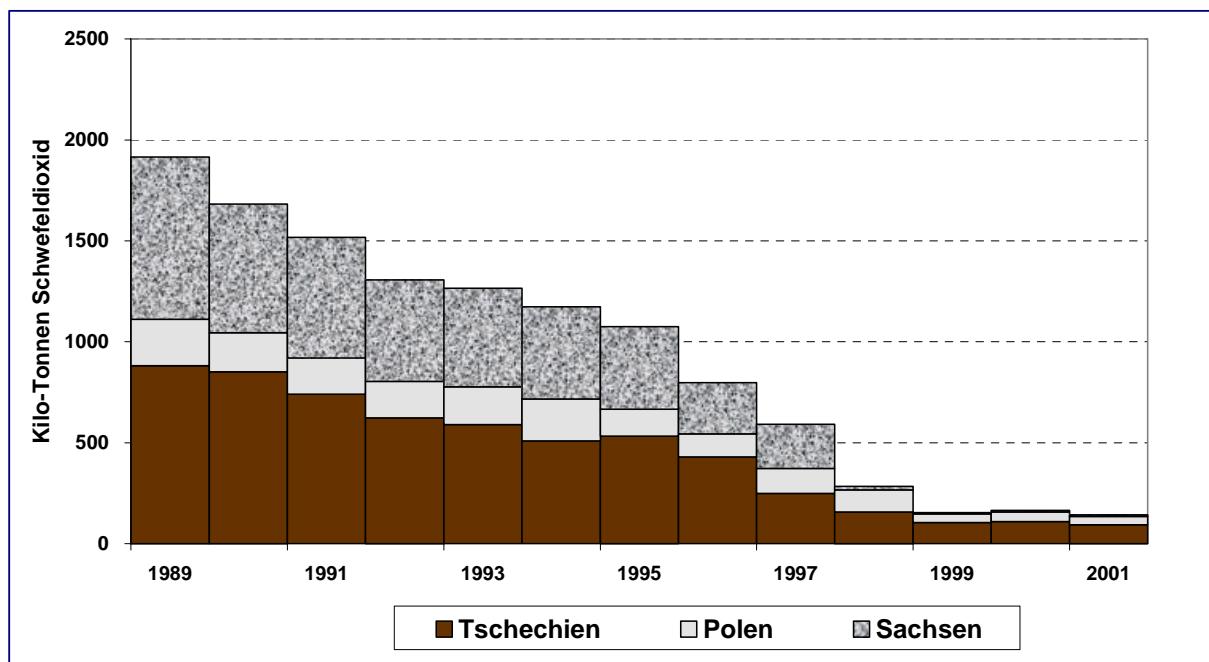


Abbildung 8: Jährliche Schwefeldioxid-Emissionen in Tschechien, Polen und Sachsen von 1989 bis 2000, (Ref. 3)

Tabelle 5: Monats- und Jahresmittel, Schwefeldioxid für 2002 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	2.1	1.1	1.6	1.9	1.6	1.4	1.4	1.2	1.1	1.3	1.8	3.7	1.7
ZG	1.9	1.4	3.0	1.8	1.7	1.2	1.0	1.7	1.2	1.3	2.6	6.1	2.1
HG	3.3	1.8	2.3	2.3	2.5	2.3	2.1	2.3	1.9	2.5	2.6	5.2	2.5
AU	4.9	5.7	-	-	-	-	-	-	1.7	1.5	1.7	4.6	-
UE	4.8	3.6	4.2	3.3	3.5	4.0	1.9	2.5	1.5	1.6	2.5	5.0	3.2
NG	1.7	1.0	1.3	1.5	1.2	1.0	0.9	1.4	1.0	1.5	2.2	7.5	1.9
SH	4.0	2.4	3.7	2.9	3.2	2.6	2.0	2.8	2.0	1.7	3.1	8.9	3.3
BA	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5	1.6	1.5	4.7	-
WA	1.9	1.3	1.5	1.5	0.9	0.8	0.7	0.8	0.6	1.3	1.5	6.5	1.6
GI	4.3	3.4	4.4	-	3.5	3.9	2.4	2.7	2.6	2.4	2.7	5.1	3.4
FA	4.3	4.3	4.3	3.8	4.7	3.2	3.9	3.8	1.9	2.1	2.7	9.9	4.1
MP	4.1	3.1	3.6	3.9	2.6	2.9	2.7	-	2.0	2.7	2.0	8.9	3.5
LF	4.9	5.2	6.1	3.3	3.6	1.6	2.2	3.0	4.6	2.1	1.9	7.6	3.9
LM	7.8	5.8	8.5	5.0	4.6	5.3	3.9	5.2	3.0	3.9	5.7	13.3	6.0
LU	14.3	9.7	7.6	6.2	5.4	4.2	3.6	3.1	5.5	3.3	3.9	13.5	6.7
SM	1.5	1.8	1.7	2.2	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.3	1.1	3.9	1.5
RE	5.2	7.2	5.6	5.2	4.6	2.8	3.0	5.3	2.6	2.3	2.9	6.4	4.4
DE	4.7	2.9	3.9	2.8	1.9	2.1	2.1	1.8	2.3	2.2	2.0	3.1	2.7
EB	3.8	3.0	3.4	3.3	2.7	3.9	3.9	4.1	4.5	5.2	4.4	4.7	3.9
OE	-	-	-	-	2.0	2.2	2.2	1.6	3.2	2.8	2.7	2.0	2.3
FB	2.0	1.7	1.7	2.6	1.4	1.5	1.5	1.4	-	1.5	1.5	2.0	1.7
BR	2.9	2.5	3.0	2.7	1.2	1.2	1.3	1.1	2.0	1.9	1.3	2.6	2.0
RS	3.7	3.0	3.6	2.1	1.4	-	-	1.4	1.4	1.4	1.4	1.6	2.1
SC	1.0	1.1	1.2	1.7	0.8	1.2	0.7	2.0	1.1	0.8	0.8	0.5	1.1

Tabelle 6: Monatsmaxima der Halbstundenwerte, Schwefeldioxid für 2002 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	13	17	16	8	9	10	9	9	12	16	14	28
ZG	8	9	24	16	11	15	7	23	9	10	21	50
HG	19	10	20	29	16	19	17	23	15	24	14	22
AU	18	19	-	-	-	-	-	-	8	8	7	33
UE	30	16	20	25	21	47	33	18	11	15	23	39
NG	10	14	10	14	21	14	10	21	17	49	15	44
SH	23	18	15	18	35	18	11	21	12	43	67	72
BA	-	-	-	-	-	-	-	-	8	16	9	29
WA	10	10	11	16	10	7	5	9	20	15	11	35
GI	31	29	17	-	28	22	23	21	17	22	26	18
FA	61	33	15	17	18	24	46	51	22	33	26	47
MP	60	17	30	24	16	17	28	-	17	25	18	38
LF	16	16	18	31	11	8	14	17	13	12	13	34
LM	92	49	88	49	25	38	50	31	35	45	45	71
LU	108	41	61	94	97	39	54	71	104	23	22	105
SM	11	16	17	14	11	8	6	9	10	7	5	19
RE	50	62	48	60	27	12	27	40	26	22	31	27
DE	69	30	38	36	14	13	14	23	25	19	25	18
EB	67	50	41	12	15	18	20	24	31	32	26	19
OE	-	-	-	-	15	17	14	20	21	11	12	7
FB	14	9	7	28	6	9	10	7	-	9	8	12
BR	13	16	19	24	8	20	16	9	13	11	11	12
RS	11	13	9	10	4	-	-	1	9	4	4	6
SC	6	9	8	10	7	6	7	8	7	6	3	3

Tabelle 7: Monatliche 50-Perzentile der Halbstundenwerte von SO<sub>2</sub> für 2002 in µg/m<sup>3</sup>, bezogen auf 20 °C, kont. Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	1.5	0.9	1.0	1.5	1.4	1.1	1.1	1.0	0.8	1.0	1.4	2.3
ZG	1.6	1.1	2.1	1.1	1.1	0.8	0.7	1.2	0.9	1.0	1.7	2.8
HG	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	3.1
AU	4.6	5.5	-	-	-	-	-	-	1.4	1.4	1.4	1.4
UE	3.7	3.3	3.3	1.4	3.1	3.7	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	3.4
NG	1.1	0.5	0.5	0.4	0.1	0.5	0.5	0.6	0.4	0.6	1.1	5.8
SH	3.1	1.4	3.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	6.8
BA	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4	1.4	1.4	1.4
WA	1.5	0.7	0.8	0.6	0.4	0.4	0.1	0.1	0.1	0.9	1.2	3.4
GI	3.4	3.0	3.7	-	3.0	3.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	4.1
FA	3.1	3.5	4.0	3.3	4.5	3.2	3.5	3.3	1.4	1.4	1.4	7.7
MP	2.9	1.4	3.0	3.1	1.4	1.4	1.4	-	1.4	1.4	1.4	6.3
LF	4.4	4.5	6.2	1.4	3.9	1.4	1.4	3.0	4.3	1.4	1.4	5.6
LM	3.4	3.6	4.2	3.3	3.8	4.6	3.2	4.5	1.4	1.4	3.5	10.2
LU	11.6	8.7	6.5	4.5	3.1	3.9	1.4	1.4	1.4	1.4	3.1	12.9
SM	1.1	0.5	1.0	0.7	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.9	0.9	2.0
RE	3.7	5.5	3.9	3.2	4.5	1.4	1.4	4.1	1.4	1.4	1.4	4.4
DE	3.1	1.6	3.0	1.9	1.2	1.6	1.4	1.3	1.8	1.5	1.4	2.4
EB	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	3.6	3.4	3.7	4.0	4.5	3.8	3.9
OE	-	-	-	-	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	2.9	1.4
FB	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	-	1.4	1.4	1.4
BR	2.2	1.7	2.5	1.6	0.8	1.0	0.9	0.8	1.6	1.5	0.9	2.0
RS	4.1	3.2	4.0	1.4	1.4	-	-	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
SC	0.7	0.7	1.1	1.3	0.5	1.0	0.6	1.0	0.8	0.6	0.6	0.4

Tabelle 8: Monatliche 98-Perzentile der Halbstundenwerte von SO<sub>2</sub> für 2002 in µg/m<sup>3</sup>, bezogen auf 20 °C, kont. Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	6	4	8	6	4	4	4	3	3	6	5	16
ZG	5	4	12	8	6	4	4	7	4	5	9	24
HG	10	6	10	10	9	9	9	9	7	11	7	17
AU	14	13	-	-	-	-	-	-	5	4	5	18
UE	15	10	15	11	13	11	7	9	4	4	12	18
NG	8	5	8	8	9	6	4	6	6	10	10	24
SH	13	8	11	11	17	9	6	10	7	5	12	29
BA	-	-	-	-	-	-	-	-	4	5	4	18
WA	6	7	7	7	5	4	4	5	4	6	4	21
GI	16	11	12	-	13	11	10	11	9	10	11	14
FA	15	17	11	12	13	9	11	14	8	8	10	36
MP	16	10	11	14	8	9	9	-	9	10	7	29
LF	13	13	12	13	7	5	7	8	9	7	8	24
LM	50	28	44	20	14	15	15	13	13	23	24	45
LU	53	22	21	29	38	12	15	16	41	15	13	40
SM	5	12	8	9	4	4	4	5	5	5	4	13
RE	24	27	27	26	13	8	13	17	15	10	18	20
DE	22	12	16	8	9	7	8	7	8	10	11	8
EB	20	12	15	9	10	10	10	9	11	15	10	12
OE	-	-	-	-	6	6	7	5	11	7	6	6
FB	7	5	5	12	1	3	4	1	-	1	3	7
BR	9	9	7	12	4	4	5	4	8	6	5	8
RS	7	6	7	8	3	-	-	1	1	1	1	4
SC	3	4	4	6	3	4	2	7	3	3	2	2

Tabelle 9: Jährliche Perzentile der Halbstundenwerte von Schwefeldioxid für 2002 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	0.4	0.5	0.6	0.8	1.2	1.9	3.3	4.6	6.7	28.1
ZG	0.1	0.3	0.4	0.5	0.8	1.3	2.3	4.1	6.3	11.2	49.7
HG	1	1	1	1	1	1	3	6	8	11	29
AU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
UE	1	1	1	1	1	1	4	6	9	13	47
NG	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.7	1.9	4.8	8.3	13.0	49.2
SH	1	1	1	1	1	1	4	7	10	16	72
BA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WA	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.7	1.8	3.6	5.7	11.9	34.6
GI	1	1	1	1	1	3	4	7	9	12	31
FA	1	1	1	1	1	3	5	8	12	17	61
MP	1	1	1	1	1	1	4	7	11	17	60
LF	1	1	1	1	1	3	5	8	10	13	34
LM	1	1	1	1	1	4	7	14	21	31	92
LU	1	1	1	1	1	4	8	15	21	30	108
SM	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.7	1.7	3.8	5.8	9.0	18.8
RE	1	1	1	1	1	3	5	9	14	19	62
DE	0.1	0.4	0.6	0.7	1.1	1.7	3.3	5.5	7.3	10.8	69.1
EB	1	1	1	1	1	3	5	7	9	12	67
OE	1	1	1	1	1	1	3	4	6	7	21
FB	1	1	1	1	1	1	1	1	4	6	28
BR	0	0	1	1	1	1	2	4	5	8	24
RS	1	1	1	1	1	1	1	5	5	6	13
SC	0.1	0.1	0.1	0.3	0.4	0.7	1.4	2.3	3.0	4.6	10.1

Tabelle 10: Jahresmittel von Schwefeldioxid in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 1985 bis 2002, 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	-	
1992	4	5	-	-	7	8	13	16	8	17	-	13	7	10	31	10	22	-	
1993	6	5	-	-	13	9	11	13	10	15	-	12	13	11	29	11	21	-	
1994	4	5	7	-	6	7	9	8	7	10	-	8	8	7	17	-	16	-	
1995	3	6	-	-	6	7	9	7	7	10	-	8	-	6	-	-	16	-	
1996	4	7	5	-	6	9	10	9	10	12	-	10	-	10	-	-	18	-	
1997	3	4	5	-	3	4	7	5	4	7	-	5	-	7	-	-	11	-	
1998	3	4	4	-	-	3	6	-	3	5	-	-	-	5	-	-	6	-	
1999	4	4	5	3	-	-	4	-	4	-	4	-	-	4	-	-	5	-	
2000	2.2	3.3	-	3.2	-	-	3.8	-	4.4	-	4.3	-	2.0	3.2	-	3.9	-	4.3	-
2001	1.5	2.2	2.5	3.8	-	-	3.8	-	2.5	-	3.1	-	-	2.2	-	3.7	-	4.0	-
2002	1.7	2.1	2.5	-	-	-	3.2	-	1.9	-	3.3	-	-	1.6	-	3.4	-	4.1	-
Station	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	EB	AS	OE	BR	FB	RT	SC	RS	ZU
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	-	13	-	-	5	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	9	-	-	6	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	10	-	-	6	-	-
1988	-	-	14	-	-	-	-	-	29	9	-	9	-	6	-	9	3	-	-
1989	-	-	13	-	-	-	-	-	34	9	-	10	-	6	-	7	3	-	-
1990	-	-	15	25	-	-	-	-	29	6	-	9	-	6	-	8	4	-	-
1991	-	-	13	30	-	-	-	58	35	7	-	9	-	4	-	7	4	-	-
1992	-	20	10	17	-	40	14	38	25	5	-	7	-	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	-	-	3	-	-
1996	17	12	-	-	35	33	16	22	-	8	-	-	-	8	-	-	3	-	-
1997	10	6	-	-	18	25	7	10	-	7	-	-	-	-	-	-	2	-	-
1998	5	4	-	-	11	14	4	5	-	4	-	-	-	4	-	-	3	-	-
1999	5	4	-	-	7	9	4	-	5	4	-	-	-	3	-	-	2	-	-
2000	4.0	2.9	-	-	6.3	5.9	2.6	-	3.7	3.9	-	2.4	-	3.9	1.9	-	2.2	-	-
2001	3.4	3.1	-	-	5.0	5.6	1.4	-	4.4	2.7	2.5	-	-	2.2	1.9	-	1.1	-	-
2002	3.5	3.9	-	-	6.0	6.7	1.5	-	4.4	2.7	3.9	-	2.3	2.0	1.7	-	1.1	2.1	-

Tabelle 11: Jahresmittel von Schwefeldioxid für 1971 bis 2002 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , für 1971 bis 1999 nasschemisches TCM-Messverfahren, danach Filterpack-Methode (grau hinterlegt)

Station	WE	ZG	HG	HW	SW	NG	AN	BA	WA	LI	LF	ME	SM	DE	AS	BR	RT	SC
1968	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1969	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1970	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
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	-	
1980	8	-	-	15	-	25	-	21	20	-	-	25	28	17	14	11	14	
1981	7	-	-	14	-	19	-	21	23	-	-	29	37	16	14	9	14	
1982	9	-	-	18	-	27	-	23	26	-	-	26	32	16	13	9	11	
1983	6	-	-	12	-	19	-	16	20	-	44	24	18	14	13	11	3	
1984	9	-	-	15	-	22	24	24	22	-	52	21	20	17	14	9	11	
1985	7	-	-	13	-	25	34	16	22	45	65	31	39	18	23	12	17	
1986	6	-	-	8	23	24	28	15	18	41	47	28	41	15	17	10	15	
1987	7	-	-	-	19	20	24	20	21	36	71	25	30	14	14	7	16	
1988	3	-	-	-	19	12	24	9	11	23	33	10	19	6	6	5	2	
1989	4	-	-	-	18	14	21	10	13	31	27	7	15	6	6	6	1	
1990	4	-	-	-	16	10	20	8	10	30	25	6	16	5	6	5	2	
1991	4	-	-	-	-	-	-	12	12	-	-	9	-	7	8	5	2	
1992	3	5	-	-	-	6	-	4	7	-	-	7	8	5	5	3	1.3	
1993	3.9	5.1	-	-	-	7.1	-	-	8.6	-	-	11	6.3	4.3	4.2	2.9	2.5	
1994	3.3	3.4	-	-	-	4.5	-	-	5.3	-	-	-	4.5	2.7	-	2.1	-	
1995	2.8	3.6	-	-	-	5.0	-	-	4.2	-	-	-	4.2	2.7	-	2.3	-	
1996	3.2	4.4	-	-	-	6.3	-	-	5.4	-	-	-	6.6	3.9	-	4.4	-	
1997	2.3	2.1	-	-	-	3.0	-	-	2.6	-	-	-	3.4	3.2	-	2.2	-	
1998	1.2	1.8	-	-	-	1.8	-	-	1.9	-	-	-	1.8	2.1	-	1.2	-	
1999	0.7	1.4	-	-	-	1.3	-	-	1.2	-	-	-	1.6	1.5	-	0.7	-	
2000	0.7	1.3	-	-	-	1.0	-	-	1.0	-	-	-	0.9	1.2	-	0.5	-	
2001	-	1.8	-	-	-	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	
2002	1.3	1.6	-	-	-	1.7	-	-	-	-	-	-	2.2	-	-	-	0.7	

## 2.1.2 Stickoxide ( $\text{NO}_x$ )

$\text{NO}_x$  ist die Summe aus NO und  $\text{NO}_2$ .  $\text{NO}_x$  wird primär als NO hauptsächlich bei Verbrennungsprozessen freigesetzt und in der Atmosphäre teilweise zu  $\text{NO}_2$  oxidiert, im Wesentlichen durch Ozon ( $\text{O}_3$ ). Abhängig von der Sonnenstrahlung stellt sich innerhalb weniger Minuten ein Gleichgewicht zwischen NO,  $\text{NO}_2$  und  $\text{O}_3$  ein, das bei geringen NOx-Konzentrationen, hohen  $\text{O}_3$ -Konzentrationen und hoher Strahlung weitgehend auf der Seite des  $\text{NO}_2$  liegt, d.h. das  $\text{NO}_x$  besteht unter diesen Bedingungen überwiegend aus  $\text{NO}_2$  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  $\text{NO}_2$  meistens der Fall. So lagen beispielsweise an den personell besetzten UBA-Stationen im Jahresmittel (1997-2002) zwischen 88 und 98% des  $\text{NO}_x$  als  $\text{NO}_2$  vor (siehe Abbildung 9). An den Containerstationen lagen im gleichen Zeitraum zwischen 72 und 97% des  $\text{NO}_x$  als  $\text{NO}_2$  vor, wobei die niedrigeren Werte an Stationen beobachtet wurden, die durch regionale Quellen hauptsächlich aus dem Straßenverkehr beeinflusst werden. Noch wesentlich niedriger ist der  $\text{NO}_2$ -Anteil in einer Stadt wie beispielsweise Frankfurt/Main. In einer überwiegenden Wohngegend (Westend) lagen im Jahresmittel (1997-2002) 43.5% des NOx als  $\text{NO}_2$  vor, an einer verkehrsreichen Station (Hauptwache) nur etwa 38.0%.

In Tabelle 13 und Tabelle 14 sind für  $\text{NO}_2$  und NO die Monats- und Jahresmittel für 2002, sowie deren maximale monatliche Halbstundenwerte (Tabelle 15 und Tabelle 16) zusammengestellt. Die höchsten  $\text{NO}_2$ -Jahresmittel wurden an den Stationen Gittrup mit  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , gefolgt von Öhringen mit  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , die niedrigsten mit  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an der Bergstation Schauinsland im Schwarzwald gemessen. Die deutlich höchsten NO-Jahreswerte ( $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) wurden ebenfalls an der verkehrsbeeinflussten Station Gittrup (Nordrhein-Westfalen) festgestellt, die niedrigsten Werte wurden an den Bergstationen Schauinsland und Brotjacklriegel (Bayerischer Wald) mit  $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bzw.  $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  beobachtet. Die höchsten  $\text{NO}_2$ -Halbstundenwerte (Tabelle 15) wurden mit  $92 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an der Station Deuselbach gemessen, die höchsten NO-Halbstundenwerte mit  $146 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an der Station Gittrup. (Tabelle 16). Beide Maxima traten im Januar auf.

Die monatlichen 50-Perzentilwerte für  $\text{NO}_2$  und NO sind in Tabelle 17 und Tabelle 18, die entsprechenden 98-Perzentile in Tabelle 19 und Tabelle 20 zu finden. In Tabelle 21 und Tabelle 22 sind die jährlichen Perzentilwerte für  $\text{NO}_2$  und NO zusammen mit den Maxima und Minima der Halbstundenwerte zusammengestellt. Bei  $\text{NO}_2$  und vor allem bei NO liegen die Messwerte für eine Reihe von Stationen beim 25-Perzentil ( $\text{NO}_2$ ) und z.T. sogar beim 90-Perzentil (NO) unterhalb der Nachweigrenze, die in Tabelle 21 und Tabelle 22 anstelle gemessener Konzentrationen angegeben wird. Zu beachten ist dabei, dass die Nachweigrenzen 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  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{NO}_2$  wurde an keiner UBA-Station auch nur annähernd erreicht. Der höchste Wert für das 98-Perzentil betrug  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Die mit dem nasschemischen Saltzman-Verfahren seit 1968 ermittelten  $\text{NO}_2$ -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. Im Jahr 2002 wurde dieses Verfahren durch die von EMEP empfohlene Fritten-Methode abgelöst. Die Analysen dazu werden für das Messnetz zentral an der Station Brotjacklriegel durchgeführt.

In Tabelle 23 und Tabelle 24 sind die durch kontinuierliche Messungen bestimmten Jahresmittelwerte (1987-2002) für NO<sub>2</sub> (Tabelle 24) und NO (Tabelle 23) zusammengestellt, während die Tabelle 25 die mittels Saltzman-Verfahren nasschemisch ermittelten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte enthält (1969-2002). Diese sind in Abbildung 12 graphisch dargestellt. Im Gegensatz zu SO<sub>2</sub> ist die NO<sub>2</sub>-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 NO<sub>2</sub>-Jahresmittel festzustellen, wahrscheinlich durch die vergleichsweise stärkeren Beiträge des Ferntransportes zu den gemessenen NO<sub>2</sub>-Werten.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass sich die erhebliche Reduzierung der NO<sub>x</sub>-Emissionen in Deutschland um mehr als 40% zwischen 1990 und 2002-im Gegensatz zu SO<sub>2</sub>- (siehe Abbildung 11) nicht in einer entsprechenden Verminderung der NO<sub>x</sub>-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 NO<sub>x</sub>-Konzentrationen in Deutschland dürfte der hohe Beitrag des Ferntransportes aus den europäischen Nachbarstaaten sowie möglicherweise auch die Nichtberücksichtigung der NO<sub>x</sub>-Emissionen aus der Landwirtschaft (vor allem aus gedüngten Böden) in den UBA-Emissionsinventaren sein. Ein weiterer möglicher Grund könnte ein höherer NO<sub>x</sub>-Ausstoß aus LKWs als bisher angenommen sein (Ref. 4).

In Tabelle 12 sind die Grenz- und Alarmwerte für Stickstoffdioxid/Stickoxide gemäß EU-Richtlinie 1999/30/EG und der 22. BImSchV vom 11.09.2002 dargestellt. Bei den in diesen Richtlinien festgelegten Grenzwerten handelt es sich um Mindestanforderungen. Die Mitgliedsstaaten können auch strengere Grenzwerte festlegen, beispielsweise zum Schutz der Gesundheit besonders gefährdeter Personengruppen wie Kinder und Krankenhauspatienten. Im UBA-Messnetz wurde in 2002 keiner der Grenz- oder Alarmwerte überschritten.

Tabelle 12: Grenz- und Alarmwerte für Stickoxide gemäß EU-Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22.4.1999 und 22. BImSchV vom 11.09.2002

	Mittelungszeitraum	Grenzwert	Toleranzmarge a) bei Inkrafttreten b) jährlicher Reduzierung	Zeitpunkt, bis zu dem der Grenzwert zu erreichen ist
<b>Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit</b>	1 Stunde	200 µg/m³ NO₂ dürfen nicht öfter als 18mal im Kalenderjahr überschritten werden	a) 100 µg/m³ (43%) b) 10 µg/m³ (10 Prozentpunkte)	1. Januar 2010
<b>Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit</b>	Kalenderjahr	40 µg/m³ NO₂	a) 20 µg/m³ (50%) b) 2 µg/m³ (10 Prozentpunkte)	1. Januar 2010
<b>Grenzwert für den Schutz der Vegetation</b>	Kalenderjahr	30 µg/m³ NO <sub>x</sub>	keine	19. Juli 2001
<b>Alarmschwelle für den Schutz der menschl. Gesundheit</b>	3 aufeinander folgende Stunden	400 µg/m³ NO <sub>2</sub>		sofort

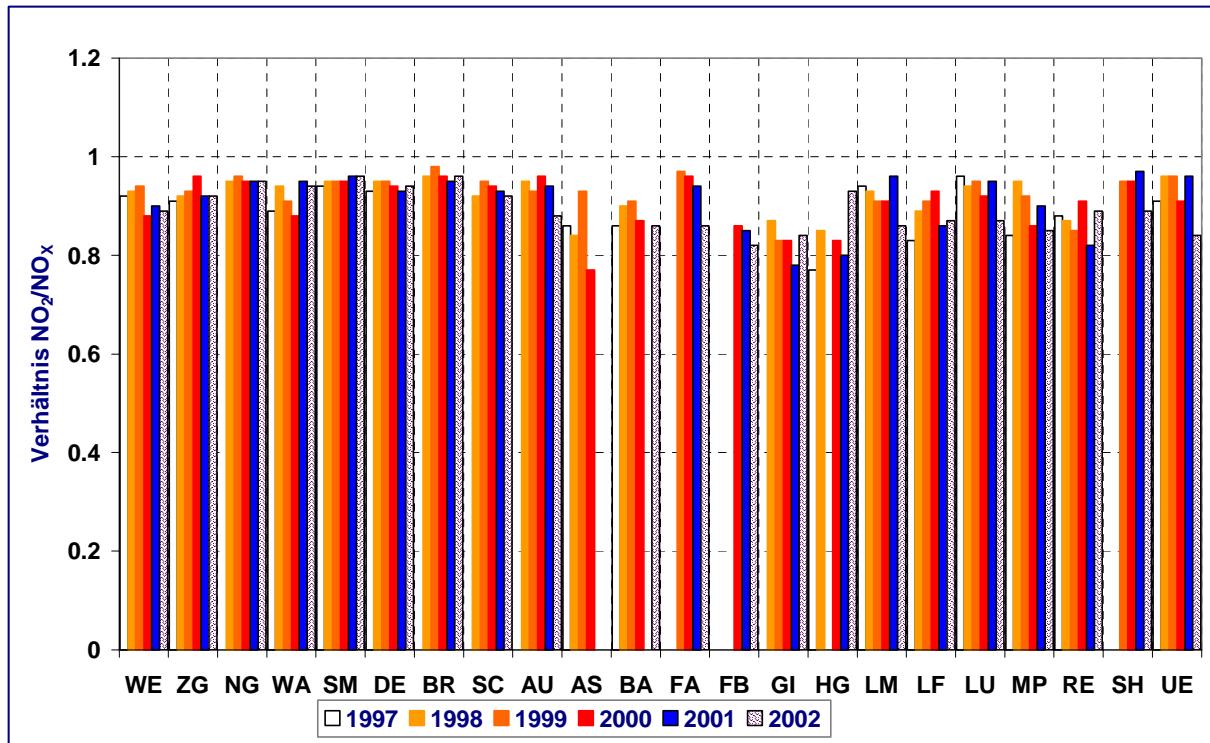


Abbildung 9: Mittleres jährliches Verhältnis der Konzentrationen von NO<sub>2</sub> zu NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>, jeweils in ppb) für den Zeitraum 1997 – 2002.

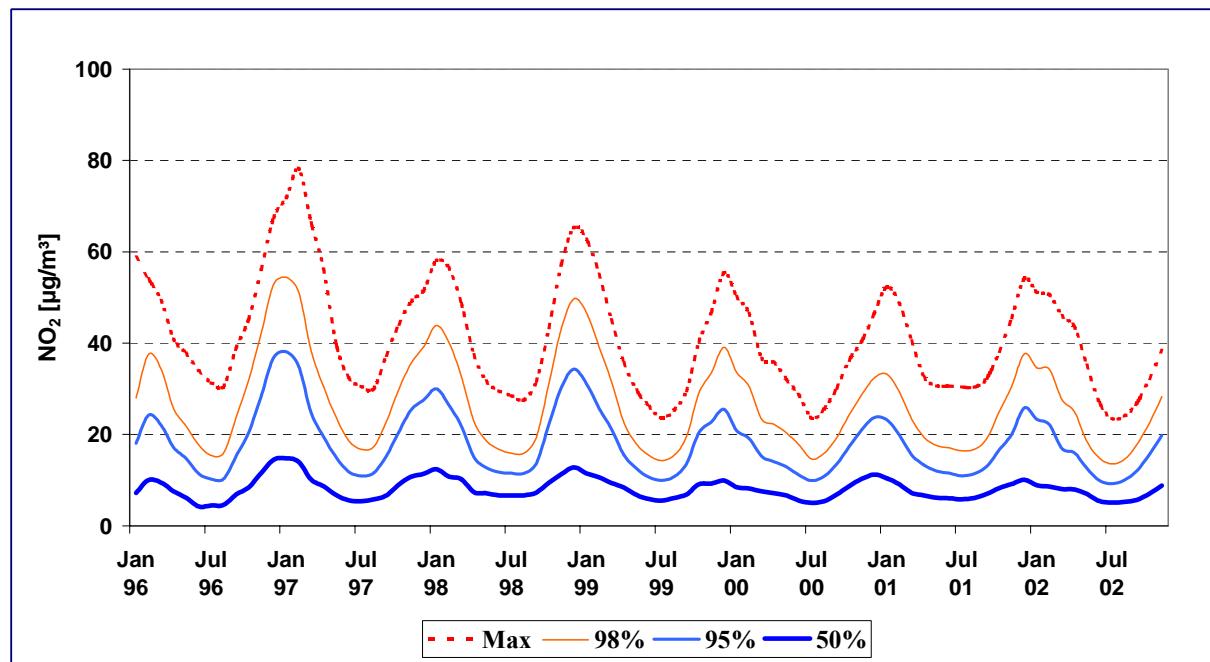


Abbildung 10: Monatliche Perzentile von Stickstoffdioxid von Januar 1996 bis Dezember 2002, gemittelt über die 8 personell besetzten Messstellen, kontinuierliches Messverfahren, Trace Level Geräte.

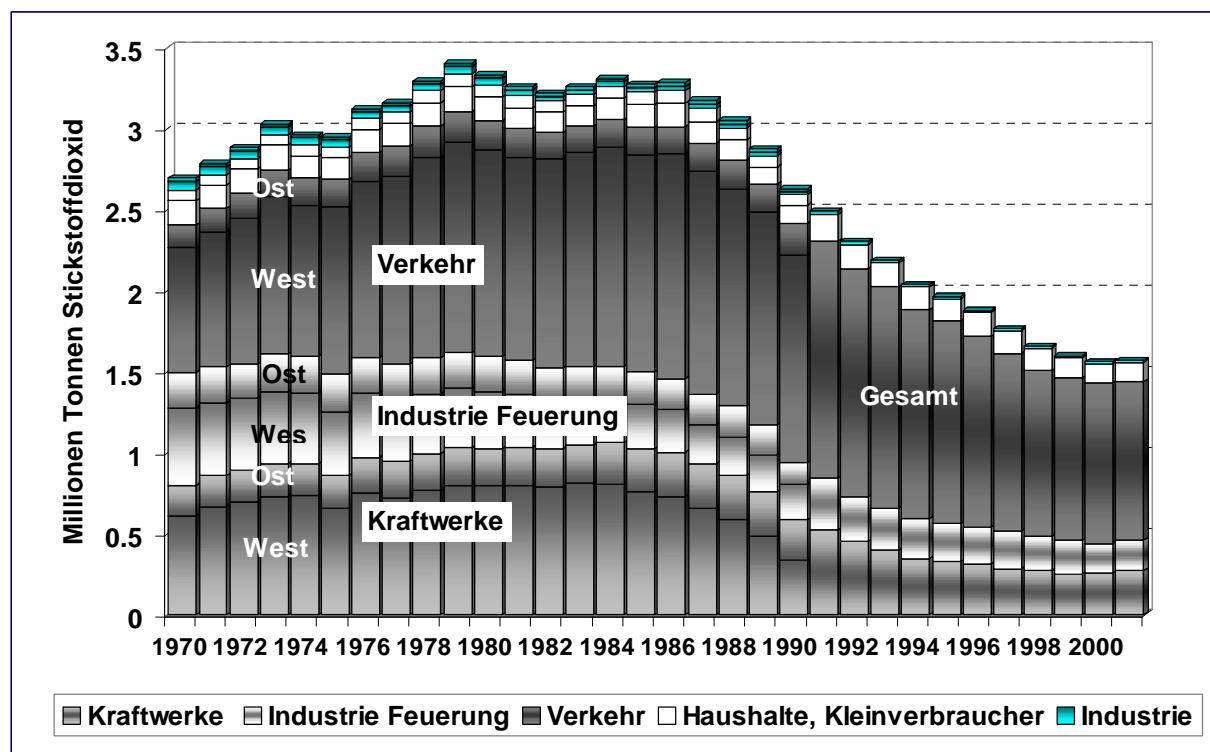


Abbildung 11: Jährliche Stickstoffdioxid-Emissionen (berechnet als NO<sub>2</sub>) in Deutschland von 1970 bis 2001 (Ref. 1, 2)

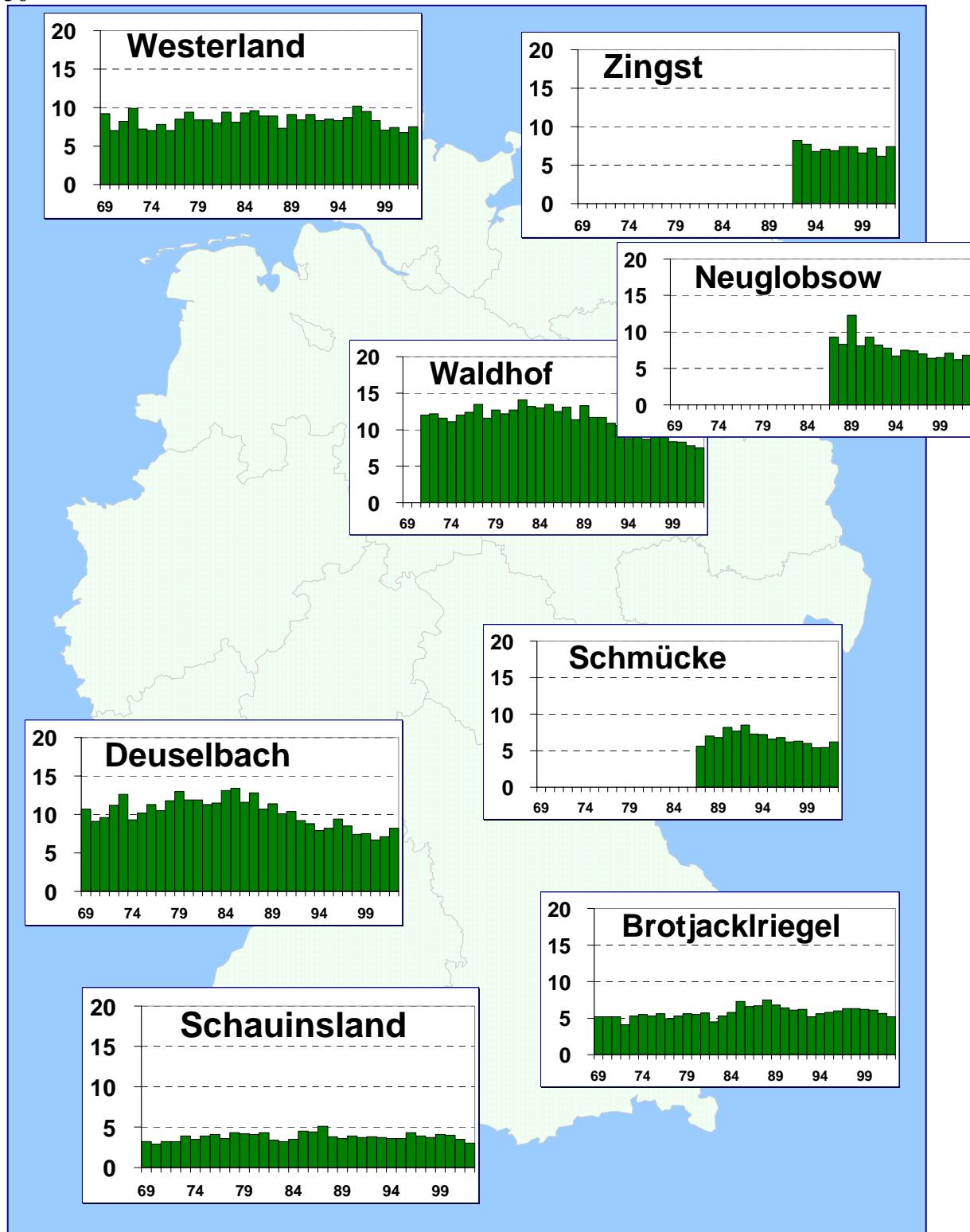


Abbildung 12: Jahresmittel von Stickstoffdioxid für 1969 bis 2002 in µg/m<sup>3</sup> an den personellen Messstellen des UBA, 1969 bis 2001:nasschemisches Saltzman-Messverfahren, ab 2002 Fritten-Methode

Tabelle 13: Monats- und Jahresmittel, Stickstoffdioxid für 2002 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	5	7	8	5	3	3	4	3	7	12	11	7
ZG	16	8	13	12	13	8	7	6	7	6	10	9	9
HG	-	7	10	-	-	-	6	7	5	10	18	16	10
AU	23	11	14	17	9	7	7	9	10	13	19	18	13
UE	18	9	10	8	5	4	5	7	6	10	13	14	9
NG	21	-	9	9	6	5	6	6	7	9	14	16	10
SH	19	7	6	8	6	3	4	4	4	6	12	14	8
BA	24	12	13	13	10	7	6	9	10	12	19	20	13
WA	21	10	12	10	8	-	6	7	8	10	16	18	11
GI	31	14	-	24	17	15	14	18	18	19	27	-	20
FA	17	6	8	7	7	5	5	7	7	9	15	19	9
MP	24	12	14	15	10	6	8	-	9	10	16	20	13
LF	18	14	15	13	7	6	6	8	10	12	20	23	12
LM	15	9	12	10	7	5	5	5	7	9	15	20	10
LU	12	-	10	10	7	5	5	5	7	9	13	-	8
SM	14	11	11	12	7	7	7	7	-	7	12	16	10
RE	21	14	12	12	9	7	8	9	11	12	14	17	12
DE	21	-	-	13	7	7	6	7	9	10	12	17	11
EB	10	7	13	13	6	5	4	-	7	12	14	16	10
OE	34	14	15	14	8	11	13	13	14	19	25	21	17
FB	9	5	7	9	8	8	8	6	8	7	11	11	8
BR	11	10	12	10	7	5	-	-	-	-	8	10	9
RS	21	-	11	7	5	4	4	3	5	7	12	16	9
SC	3	4	8	10	5	6	5	4	6	5	3	5	5

Tabelle 14: Monats- und Jahresmittel, Stickstoffmonoxid für 2002 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	3.1	0.3	0.6	0.6	0.5	0.3	0.3	0.4	0.3	1.1	2.1	0.9	0.9
ZG	1.5	0.5	0.8	0.9	0.9	0.5	0.7	0.5	0.4	0.4	0.5	0.3	0.7
HG	-	1.3	2.7	-	-	-	1.3	1.4	1.2	1.5	2.1	1.5	1.6
AU	4.7	2.2	2.0	2.0	1.5	1.4	1.5	1.5	2.3	4.2	7.0	2.4	2.7
UE	2.2	1.4	1.5	1.5	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	2.1	2.5	2.3	1.7
NG	1.9	-	0.4	0.3	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4	1.0	0.5	0.5
SH	3.0	1.4	1.5	1.3	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.6	2.2	1.6	1.6
BA	4.2	2.4	1.5	1.4	1.3	1.2	1.3	1.5	1.5	2.6	5.3	4.9	2.5
WA	1.7	0.4	0.4	0.3	0.4	-	0.3	0.3	0.6	0.9	2.5	1.8	0.8
GI	11.3	2.1	-	2.9	2.1	1.9	1.9	2.8	4.1	5.0	9.6	-	4.5
FA	1.8	1.2	1.3	1.8	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	2.6	2.1	1.6
MP	2.5	1.4	1.8	1.9	2.8	1.6	1.6	-	2.3	2.3	5.7	3.6	2.5
LF	4.7	1.4	1.6	1.4	1.3	1.2	1.3	1.4	1.8	1.5	3.5	4.8	2.2
LM	1.6	1.2	1.5	1.3	1.2	1.2	1.3	1.2	1.3	1.3	1.9	3.6	1.6
LU	1.3	-	1.3	1.3	1.3	1.4	1.2	1.3	1.3	1.3	1.7	-	1.4
SM	0.5	0.3	0.5	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	-	0.6	0.4	2.1	0.5
RE	2.4	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.4	1.8	1.5	2.3	4.1	1.8
DE	1.7	-	-	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.7	1.9	0.7
EB	1.6	1.3	1.4	1.4	1.2	1.3	1.2	-	1.5	1.7	1.4	2.1	1.5
OE	12.7	2.1	2.5	1.9	1.7	1.6	1.9	1.9	2.1	3.9	7.0	6.7	3.9
FB	1.6	1.7	1.8	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	1.5	1.7	1.9	1.5
BR	0.4	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	-	-	-	-	0.3	0.9	0.4
RS	3.6	-	1.8	1.4	1.4	1.3	1.4	1.4	1.5	1.8	3.3	5.7	2.2
SC	0.2	0.3	0.6	0.6	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4	0.2	0.5	0.3

Tabelle 15: Monatsmaxima der Halbstundenwerte, Stickstoffdioxid für 2002 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kont. Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	57	58	60	39	30	21	22	25	28	49	34	48
ZG	46	33	70	122	81	42	33	36	32	24	31	37
HG	-	54	83	-	-	-	46	73	38	88	57	41
AU	63	65	69	63	36	34	33	32	43	51	60	56
UE	65	35	54	52	25	31	43	40	40	46	39	52
NG	60	-	37	28	16	18	19	16	19	31	41	46
SH	70	41	34	32	18	19	15	13	17	50	47	45
BA	67	57	49	39	35	18	33	39	37	46	47	49
WA	65	62	59	39	27	-	16	28	33	38	42	49
GI	76	73	-	93	63	65	54	55	62	57	54	-
FA	58	35	44	51	29	16	25	32	39	39	45	52
MP	68	42	48	37	30	20	36	-	39	33	43	56
LF	69	51	44	43	35	38	48	53	50	53	52	52
LM	69	32	65	29	35	35	25	37	26	53	50	59
LU	47	-	48	34	32	22	21	41	33	41	41	-
SM	65	44	39	38	27	16	18	18	-	21	37	52
RE	67	51	42	46	32	35	45	40	58	43	54	44
DE	92	-	-	42	30	35	27	25	27	33	49	54
EB	54	43	77	33	25	33	32	-	30	40	49	52
OE	82	58	76	68	44	61	69	59	63	58	74	66
FB	49	21	28	17	25	15	16	11	23	23	42	36
BR	59	33	47	27	30	16	-	-	-	-	45	40
RS	70	-	55	32	32	13	22	31	30	36	50	47
SC	44	18	35	44	27	22	25	17	17	24	37	30

Tabelle 16: Monatsmaxima der Halbstundenwerte, Stickstoffmonoxid für 2002 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kont. Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	64	14	20	9	13	6	5	11	7	36	39	16
ZG	29	7	13	19	10	12	11	9	5	6	11	4
HG	-	6	44	-	-	-	16	28	8	15	30	11
AU	67	38	33	40	32	30	19	25	65	62	129	57
UE	29	25	17	29	8	10	13	16	19	49	34	26
NG	24	-	18	5	3	4	14	14	8	10	22	8
SH	40	19	10	12	1	4	8	6	3	25	28	25
BA	28	11	15	16	10	4	8	24	16	30	57	51
WA	22	12	6	3	9	-	4	5	19	12	50	32
GI	146	23	-	48	43	43	18	72	62	69	88	-
FA	23	7	14	10	11	18	10	10	18	70	24	21
MP	21	17	34	29	29	18	20	-	56	47	62	62
LF	32	8	10	21	12	8	11	13	32	20	56	52
LM	22	5	17	10	4	6	14	4	11	8	32	50
LU	10	-	5	11	11	26	6	8	6	7	25	-
SM	12	9	7	6	4	2	3	2	-	5	5	42
RE	36	27	15	8	9	14	23	18	44	19	38	45
DE	28	-	-	10	4	6	13	3	9	9	32	50
EB	13	5	8	6	2	15	7	-	49	56	14	44
OE	132	66	61	40	17	11	23	29	36	49	82	95
FB	11	4	5	3	4	3	2	3	3	4	19	38
BR	6	19	11	8	4	3	-	-	-	-	8	41
RS	35	-	28	12	14	15	17	16	14	23	56	62
SC	7	5	16	8	5	4	7	6	7	12	11	17

Tabelle 17: Monatliche 50-Perzentile der Halbstundenwerte von Stickstoffdioxid für 2002 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	10	3	4	7	5	3	2	4	2	5	9	9
ZG	12	7	9	10	10	7	6	4	6	5	8	9
HG	-	5	6	-	-	-	2	4	2	2	15	16
AU	18	9	10	15	8	6	6	8	8	11	18	17
UE	14	7	7	6	4	2	4	6	6	9	12	13
NG	14	-	8	8	5	5	5	6	6	7	13	14
SH	14	6	4	7	5	2	2	4	2	4	11	12
BA	21	10	11	12	9	7	5	8	9	9	19	19
WA	16	8	10	9	7	6	5	6	7	8	15	16
GI	30	10	-	19	15	13	13	16	16	17	27	-
FA	12	5	6	6	7	5	5	7	7	8	14	16
MP	20	11	13	14	10	6	7	-	9	8	15	19
LF	15	13	13	12	6	5	5	6	8	10	18	22
LM	10	7	9	9	7	5	5	5	7	7	13	18
LU	11	-	9	10	6	5	5	5	6	9	11	-
SM	10	9	10	12	6	6	6	7	-	7	10	14
RE	16	11	11	12	8	6	7	7	9	10	12	15
DE	17	-	-	12	6	6	6	6	8	9	10	15
EB	6	6	11	12	5	5	2	-	6	11	12	13
OE	31	9	13	11	6	9	11	11	10	15	24	19
FB	7	5	6	8	8	8	8	6	7	7	9	10
BR	9	8	12	9	6	5	-	-	-	-	7	8
RS	17	-	9	7	2	2	2	2	5	5	9	14
SC	2	3	6	9	4	5	5	4	5	4	3	3

Tabelle 18: Monatliche 50-Perz. der Halbstundenwerte von NO für 2002 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kont. Messverf.

Tabelle 19: Monatliche 98-Perzentile der Halbstundenwerte von Stickstoffdioxid für 2002 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	49	18	37	18	12	10	10	11	13	31	30	25
ZG	42	23	47	42	39	22	19	20	19	16	25	20
HG	-	27	53	-	-	-	26	28	20	65	46	36
AU	58	41	45	42	21	22	21	23	30	39	46	40
UE	59	27	35	24	15	14	16	19	18	30	31	38
NG	55	-	28	18	11	10	11	11	14	21	34	39
SH	63	23	23	20	12	10	11	10	10	24	37	39
BA	60	36	40	31	24	15	19	25	26	37	35	41
WA	51	46	40	22	17	16	12	14	24	31	38	44
GI	64	55	-	69	41	37	38	40	47	47	46	-
FA	50	26	25	27	17	10	14	16	18	24	35	46
MP	60	31	33	28	17	14	17	-	22	24	35	45
LF	51	39	35	31	22	19	19	25	28	31	43	46
LM	55	25	40	21	14	13	14	13	18	26	37	44
LU	35	-	27	20	18	11	12	15	20	25	33	-
SM	50	29	29	23	13	13	14	13	-	17	30	45
RE	54	34	27	30	20	16	20	23	34	28	38	38
DE	62	-	-	26	15	14	15	17	20	25	34	42
EB	40	20	34	25	14	13	14	-	19	26	36	37
OE	73	47	51	45	28	35	36	35	44	50	54	49
FB	31	15	17	13	14	12	12	9	14	17	32	28
BR	32	25	30	18	17	12	-	-	-	-	23	32
RS	54	-	33	19	21	10	11	10	17	24	34	41
SC	14	12	24	27	15	14	12	9	12	20	11	23

Tabelle 20: Monatliche 98-Perz. der Halbstundenwerte von NO für 2002 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kont. Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	23.4	2.1	5.7	3.1	2.4	2.2	1.9	2.0	2.1	10.2	23.0	5.2
ZG	17.8	2.2	4.3	7.6	5.4	1.9	3.2	3.0	1.8	2.8	3.2	2.1
HG	-	2.8	16.7	-	-	-	2.6	3.9	1.2	4.7	11.2	4.7
AU	40.3	15.9	12.8	11.7	4.0	3.0	4.8	5.8	14.4	35.0	52.2	14.7
UE	13.4	3.9	5.7	5.2	2.9	3.4	3.6	4.2	4.0	9.1	12.2	10.0
NG	15.1	-	4.3	1.8	0.7	1.5	1.4	1.8	1.2	3.0	9.3	4.4
SH	21.4	3.5	4.4	2.2	1.2	1.2	2.4	2.0	1.9	6.0	12.9	4.4
BA	22.7	5.6	5.8	4.1	3.5	2.2	2.6	5.4	4.8	17.3	34.9	40.1
WA	14.9	2.6	3.2	1.8	2.5	1.9	1.6	2.6	4.5	7.4	18.7	20.4
GI	60.4	10.4	-	19.0	11.2	7.9	10.0	20.4	34.7	33.0	51.5	-
FA	7.8	1.2	2.2	4.4	2.5	2.1	2.4	2.8	4.9	4.6	15.0	12.3
MP	13.7	3.9	8.6	8.1	11.1	6.9	6.0	-	12.3	11.4	34.4	22.1
LF	15.5	3.3	6.1	3.8	3.6	2.2	2.6	4.2	9.5	5.3	26.8	33.0
LM	7.4	1.2	4.9	2.4	2.0	1.2	2.6	1.2	2.5	3.0	9.1	25.9
LU	3.6	-	2.3	2.9	3.1	2.0	1.9	2.3	3.6	3.2	8.8	-
SM	3.9	2.5	3.6	2.3	1.7	1.1	1.4	0.9	-	3.1	2.5	21.6
RE	13.1	4.4	4.6	3.9	2.5	1.2	2.8	4.3	7.6	5.6	12.6	31.2
DE	15.6	-	-	3.4	1.8	1.4	1.8	1.4	3.4	4.5	6.5	16.5
EB	7.0	2.9	3.3	3.5	1.2	1.2	1.2	-	4.7	7.1	4.1	9.4
OE	77.6	9.4	16.7	9.8	9.3	5.4	9.5	8.2	10.8	28.3	41.4	50.4
FB	4.9	2.8	3.2	1.2	2.0	2.0	1.9	2.3	1.2	2.9	8.8	9.8
BR	2.6	1.7	2.0	1.6	1.4	0.9	-	-	-	-	3.0	8.9
RS	18.9	-	7.3	4.7	4.2	3.0	3.4	4.1	4.9	7.6	24.6	38.0
SC	1.3	2.4	4.9	4.4	2.0	1.1	2.5	1.0	2.1	3.4	1.6	6.3

Tabelle 21: Jährliche Perzentile der Halbstundenwerte von Stickstoffdioxid für 2002 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	0.5	0.8	2.0	4.7	8.5	16.1	23.5	33.0	59.5
ZG	0.2	1.3	1.8	2.6	4.5	7.4	11.6	18.1	24.1	34.2	122.3
HG	2	2	2	2	2	6	14	25	31	41	88
AU	2	2	2	2	6	10	17	27	35	45	69
UE	2	2	2	2	2	6	12	20	26	35	65
NG	0.5	2.2	2.7	3.3	4.5	6.7	11.0	19.1	26.6	36.4	59.7
SH	2	2	2	2	2	5	9	17	24	37	70
BA	2	2	2	2	6	10	17	27	32	41	67
WA	1.2	2.3	2.9	3.6	5.4	8.2	13.9	22.3	30.7	40.0	64.8
GI	2	2	4	6	10	17	26	37	45	54	93
FA	2	2	2	2	4	7	12	20	27	35	58
MP	2	2	2	5	7	11	17	24	31	42	68
LF	2	2	2	2	6	10	17	27	33	41	69
LM	2	2	2	2	5	7	12	21	27	36	69
LU	2	2	2	2	5	7	11	16	20	26	48
SM	0.2	2.1	3.2	4.0	5.6	8.0	12.4	18.2	23.8	32.1	65.3
RE	2	2	2	4	6	10	15	23	28	37	67
DE	1.2	2.5	3.1	3.8	5.3	7.8	12.9	21.3	29.2	39.2	92.3
EB	2	2	2	2	4	8	13	19	24	31	77
OE	2	2	2	4	7	13	22	35	45	55	82
FB	2	2	2	5	6	7	9	13	16	21	49
BR	0.2	1.5	2.3	3.2	4.6	7.2	11.2	16.1	20.1	26.1	58.5
RS	2	2	2	2	2	6	11	21	29	36	70
SC	0.2	0.9	1.3	1.6	2.4	4.1	6.5	9.8	12.7	18.2	43.6

Tabelle 22: Jährliche Perzentile der Halbstundenwerte von Stickstoffmonoxid für 2002 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	0.6	1.7	3.1	8.5	64.1
ZG	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.6	1.2	2.1	4.0	29.0
HG	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.9	3.5	6.8	43.6
AU	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	4.0	10.3	21.2	129.4
UE	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.5	4.2	7.3	49.4
NG	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.9	1.9	4.8	23.6
SH	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.9	6.2	40.1
BA	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.9	3.9	8.2	16.8	57.4
WA	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	1.7	3.7	8.8	50.4
GI	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.8	10.9	21.8	37.5	145.6
FA	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.1	3.3	6.1	70.0
MP	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	4.7	8.5	15.7	62.1
LF	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	3.7	6.3	13.3	56.3
LM	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.7	6.4	50.4
LU	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.2	3.9	26.1
SM	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	1.1	1.8	3.6	42.2
RE	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.4	4.5	9.4	44.5
DE	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	1.4	3.0	6.5	50.2
EB	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.5	4.5	56.2
OE	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.0	7.7	17.1	34.3	131.7
FB	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.1	2.4	3.3	37.6
BR	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.7	1.2	2.3	40.7
RS	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	3.4	7.3	14.6	62.3
SC	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	1.1	2.7	17.0

Tabelle 23: Jahresmittel von Stickstoffmonoxid, 1987 - 2002 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren, seit 1996 Trace-Level-Geräte an den personell besetzten 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	-	
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	-	
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	-	
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	-	
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	-	
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	-	
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	-	
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	-	
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	
2002	0.9	0.7	1.6	2.7	-	-	1.7	-	0.5	-	1.6	-	2.5	0.8	-	4.5	-	1.6	
Station	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	EB	AS	OE	BR	FB	RT	SC	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	-	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	-	-	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	-	-	1.0	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	-	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	-	2.4	0.3	-	
1999	2.0	1.6	-	-	1.3	1.4	0.4	-	1.8	0.6	-	-	-	0.3	-	-	0.3	0.2	
2000	2.8	1.5	-	-	1.6	1.3	0.4	-	1.4	0.6	-	2.9	-	0.3	1.3	-	0.3	0.2	
2001	2.1	1.9	-	-	1.3	1.5	0.4	-	1.8	0.8	1.3	-	-	0.2	1.4	-	0.3	0.2	
2002	2.5	2.2	-	-	1.6	1.4	0.5	-	1.8	0.7	1.5	-	3.9	0.4	1.5	-	0.3	2.2	

Tabelle 24: Jahresmittel von Stickstoffdioxid, 1987 - 2002 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	-	
1992	-	8	-	-	18	9	7	17	9	10	-	12	24	12	12	26	12	-	
1993	-	8	-	-	19	9	8	17	8	11	-	13	17	14	9	25	13	-	
1994	-	8	-	-	16	14	10	13	7	13	-	14	8	14	-	22	12	-	
1995	-	12	-	-	13	14	8	14	8	-	-	17	12	13	15	18	11	-	
1996	12	10	11	-	16	14	10	16	8	14	-	15	12	16	18	17	12	-	
1997	11	12	12	-	14	14	10	14	-	12	-	16	14	17	-	30	11	-	
1998	12	13	11	-	-	11	9	-	10	13	-	-	15	15	11	29	10	-	
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	
2002	7	9	10	13	-	-	9	-	10	-	8	-	13	11	-	20	-	9	
Station	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	EB	AS	OE	BR	FB	RT	SC	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	-	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	-	6	-	-	
1996	12	11	20	15	15	11	8	15	9	16	-	18	-	5	-	7	-	-	
1997	9	12	25	18	11	9	12	16	11	13	-	19	-	-	-	19	6	-	
1998	11	11	17	16	11	10	11	13	12	12	-	12	-	8	-	14	6	-	
1999	10	10	-	-	10	9	10	-	11	11	-	-	-	8	-	5	-	-	
2000	12	11	-	-	10	7	10	-	12	9	-	15	-	8	9	-	5	-	
2001	12	12	-	-	10	8	9	-	11	11	9	-	-	8	7	-	5	-	
2002	13	12	-	-	10	8	10	-	12	11	10	-	17	9	8	-	5	9	

Tabelle 25: Jahresmittel von Stickstoffdioxid für 1968 bis 2002 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , nasschemisches Saltzman-Messverfahren von 1968 bis 2001, ab 2002 Frittenmethode (grau hinterlegt)

Stationen	Wester-land	Zingst	Neuglob-sow	Waldhof	Schmücke	Deusel-bach	Brotjacklir.	Schau-insland
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	-	-
2002	7.5	7.4	6.8	7.5	6.2	8.2	5.2	3.0

## 2.1.3 Ozon ( $O_3$ )

Ozon wird im Gegensatz zu  $SO_2$  und  $NO_x$  nicht direkt in die Atmosphäre emittiert, sondern bei Sonnenstrahlung aus den so genannten Ozonvorläufern ( $NO_x$ , VOC, CO,  $CH_4$ ) innerhalb der Atmosphäre gebildet.

In Tabelle 28 sind die Monats- und Jahresmittel der Ozon-Konzentrationen und in der Tabelle 29 die maximalen monatlichen Stundenwerte zusammengestellt. Die Jahresmittel nehmen mit zunehmender Stationshöhe zu. Die höchsten Jahreswerte wurden auch im Jahr 2002 an den Bergstationen Schauinsland ( $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Brotjacklriegel ( $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Schmücke ( $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und Forellenbach ( $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) gemessen. Auffallend ist der hohe Jahreswert an der Nordseestation Westerland ( $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 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  $107 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Monat Juni an der Bergstationen Schauinsland beobachtet, gefolgt von Brotjacklriegel mit  $105 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die maximalen Stundenwerte wurden in den Monaten Juni, Juli und August 2002 gemessen (Tabelle 29, siehe auch Kapitel 3.3). Die höchsten Stundenwerte wurden an den Station Raisting ( $204 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Juni), Schauinsland ( $203 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Juni), Schorfheide ( $202 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Juli), Falkenberg ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Juli) und Neuglobsow ( $199 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Juli) registriert. Zum Vergleich: Der höchste Ozonwert in Deutschland wurde mit  $292 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an der Station Gießen in Hessen beobachtet.

In der Tabelle 30 sind die monatlichen 50-Perzentilwerte, in Tabelle 31 die monatlichen 98-Perzentilwerte und in Tabelle 32 die jährlichen Perzentilwerte für 2002 zusammen mit den Minima und Maxima der Ozonstundenwerte zusammengestellt. Das höchste 98-Jahresperzentil wurde mit  $163 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auf dem Schauinsland gemessen, gefolgt von Erbeskopf (Vergleichsstation zu Deuselbach) ( $161 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Brotjacklriegel ( $158 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Schmücke ( $155 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und Aukrug ( $154 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), d.h., 98% aller Ozonwerte lagen unterhalb dieser Werte. In Abbildung 13 sind monatliche Maxima, 98-, 90- und 50-Perzentile von 1994 bis 2002 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  $>180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $>240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sowohl im Mittel über alle UBA-Stationen als auch im Mittel über alle deutschen Stationen abgenommen.

Wie aus Tabelle 33, Abbildung 17 und Abbildung 14 zu sehen ist, sind dagegen die Ozon-Jahresmittel zwischen 1990 und 2002 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 infolge des Titrationseffektes verringert wird. Hinzu kommt sehr wahrscheinlich auch der Anstieg des nordhemisphärischen Ozon-Hintergrundes, der ebenfalls zu einer Zunahme der Ozon-Mittelwerte führt (Ref. 5).

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 weniger durch die Spitzenwerte (Ref. 6). Die EU-Zielwerte für den

Schutz von menschlicher Gesundheit und Vegetation (*Ref. 7, 19*), die auf den neuesten Erkenntnissen auf dem Gebiet der Wirkungsforschung basieren, sind in Tabelle 26 aufgeführt (*33. BImSchV*).

Tabelle 26: EU-Zielwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit und Vegetation (*Ref. 7, 8*), Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 12.2.2002 über den Ozongehalt der Luft (*Ref. 19*)

<b>Schutz der menschlichen Gesundheit</b>	Zielwert 2010:	120 µg/m <sup>3</sup> (gleitendes 8-h-Mittel) darf an höchstens 25 Tagen pro Kalenderjahr überschritten werden, gemittelt über 3 Jahre
	Langfristziel ab 2010:	120 µg/m <sup>3</sup> (gleitendes 8-h-Mittel) darf nicht überschritten werden
	Informationsschwelle:	180 µg/m <sup>3</sup> (1-h-Mittel)
	Alarmschwelle:	240 µg/m <sup>3</sup> (1-h-Mittel, während 3 aufeinander folgenden Stunden)
<b>Schutz der Vegetation</b>	Zielwert 2010:	18000 µg/m <sup>3</sup> h (AOT40, Mai bis Juli), gemittelt über 5 Jahre
	Langfristziel ab 2010:	6000 µg/m <sup>3</sup> 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 Langfrist-Zielwertes von 120 µg/m<sup>3</sup> (gleitendes 8-h-Mittel) ist festzustellen, dass dieser Wert an den Stationen im Messnetz des UBA (ohne Station Zugspitze) im Jahr 2002 an 2 bis 52 Tagen überschritten worden ist. An 12 von 23 UBA-Stationen wurde der ab 2010 zulässige Zielwert an mehr als den zulässigen 25 Tagen/Jahr überschritten. Dies betrifft vor allem die Bergstationen.

In Tabelle 27 ist die Zahl der Überschreitungen von 120 µg/m<sup>3</sup> Ozon (8-h-Mittel) zum Schutz der menschlichen Gesundheit für alle Stationen im UBA-Messnetz für die Jahre 1990 bis 2002 angegeben, 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.
- Die 2010 zulässige Zahl an Überschreitungen des Zielwertes von 25 Tagen/Jahr im 3-Jahresmittel wurde an den 8 personell besetzten Stationen zwischen 1990 und 2002 nur an den beiden norddeutschen Küstenstationen Zingst und Westerland in keinem Jahr erreicht oder überschritten. Die höchste Zahl an Überschreitungen wurde im Jahr 2002 auf dem Brotjacklriegel und dem Schauinsland mit 52 bzw. 51 Tagen mit Überschreitungen/Jahr beobachtet.

- Zwischen 1990 und 2002 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 27: 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 2002. Fett gedruckt: Überschreitungen des 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	2002
ZG	1		10	9	10	9	14	15	13	10	7	10	5	11
UE	1		6	7	9	14	19	19	16	11	10	10	10	12
WE	12	13	7	5	12	14	18	17	15	17	13	14	11	24
AU	15									23	14	14	4	14
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	9
TE	46		10	8	12	16	18	15	9	9	4			
HG	50							20	14	15	13	18	8	16
BA	52	20	17	20	<b>31</b>	<b>34</b>	<b>29</b>	22	16	17	15	17	12	9
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	<b>29</b>
SH	70										<b>30</b>	<b>30</b>	<b>26</b>	<b>43</b>
FA	73									22	21	21	14	<b>28</b>
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>	<b>34</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	14
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>	<b>34</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>	<b>29</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>	<b>26</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	10
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>	24
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>	21
MU	622						<b>42</b>	<b>29</b>	<b>31</b>	<b>26</b>	<b>36</b>			
EB	816												<b>29</b>	<b>41</b>
FB	858												<b>33</b>	<b>41</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>	<b>47</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>	<b>52</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>	<b>51</b>
ZU	2963					<b>95</b>	<b>114</b>	<b>96</b>	<b>119</b>	<b>111</b>	<b>104</b>	<b>97</b>		

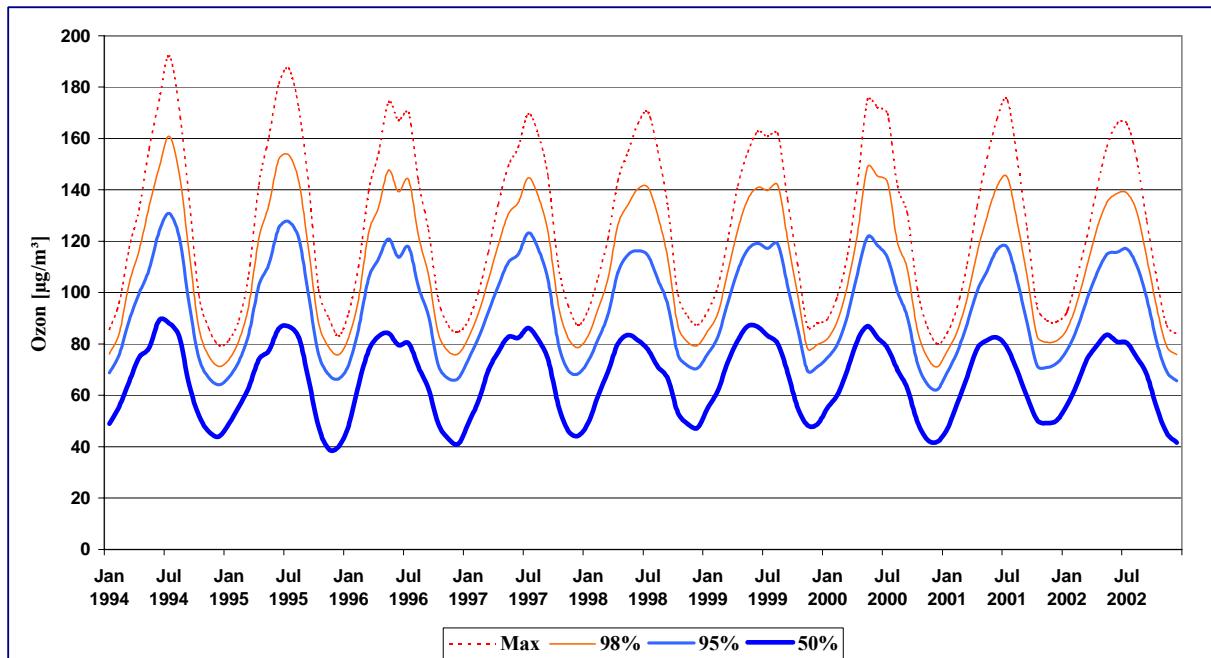


Abbildung 13: Monatliche Maxima, 98-, 90- und 50-Perzentile für Ozon von 1994 bis 2002, gemittelt über die 8 personell besetzten UBA-Messstellen.

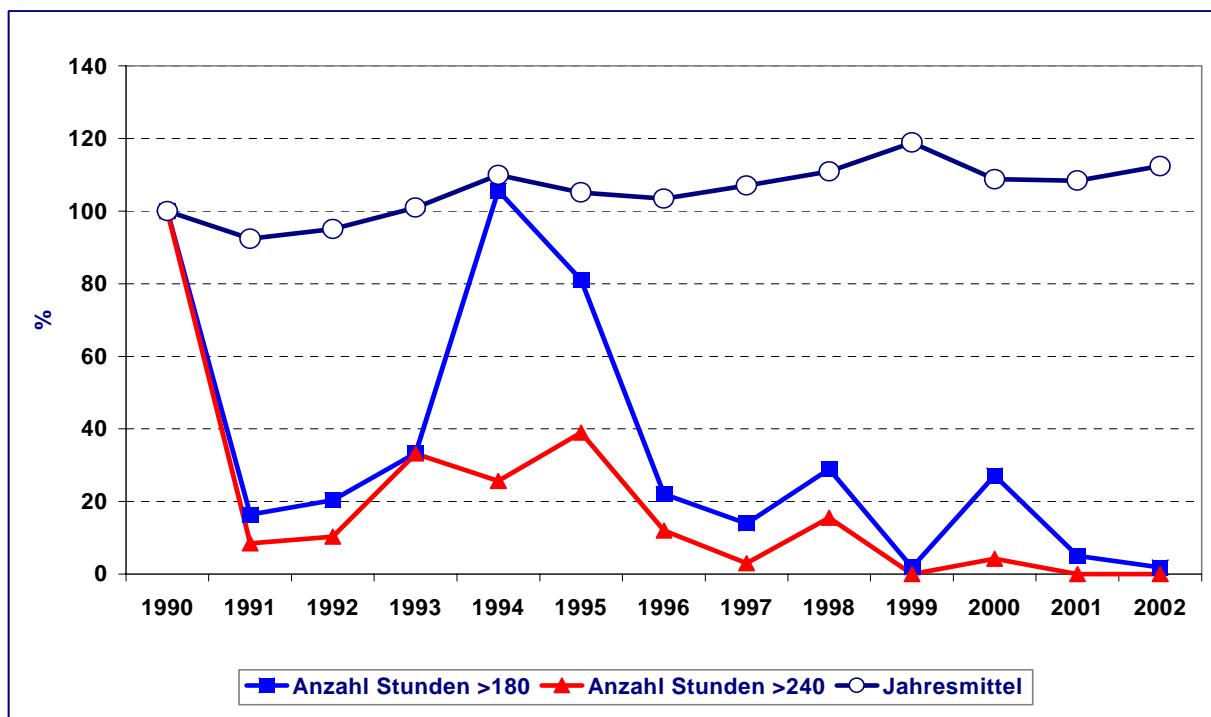


Abbildung 14: Zahl der jährlichen Stunden mit Ozonwerten  $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $> 240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sowie Jahresmittel, gemittelt über alle UBA-Stationen und normiert auf 1990

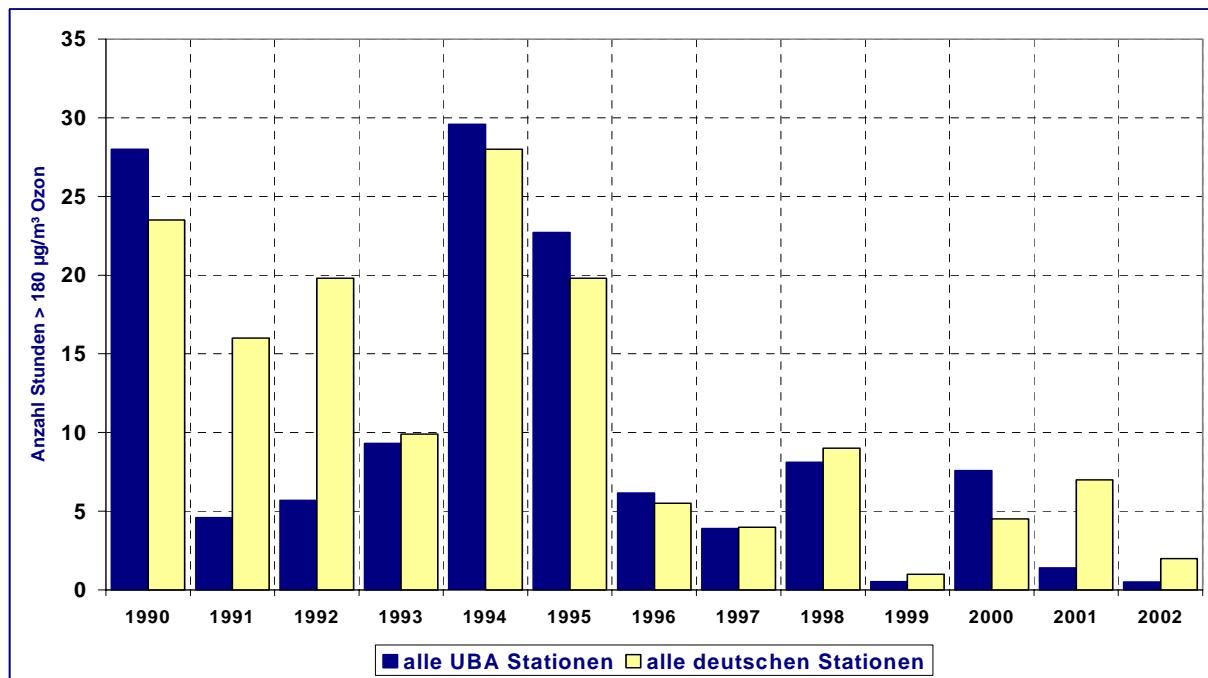


Abbildung 15: Zahl der jährlichen Stunden mit Ozonwerten  $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , gemittelt über alle UBA-Stationen (dunkelgrau) und alle deutschen Stationen (hellgrau)

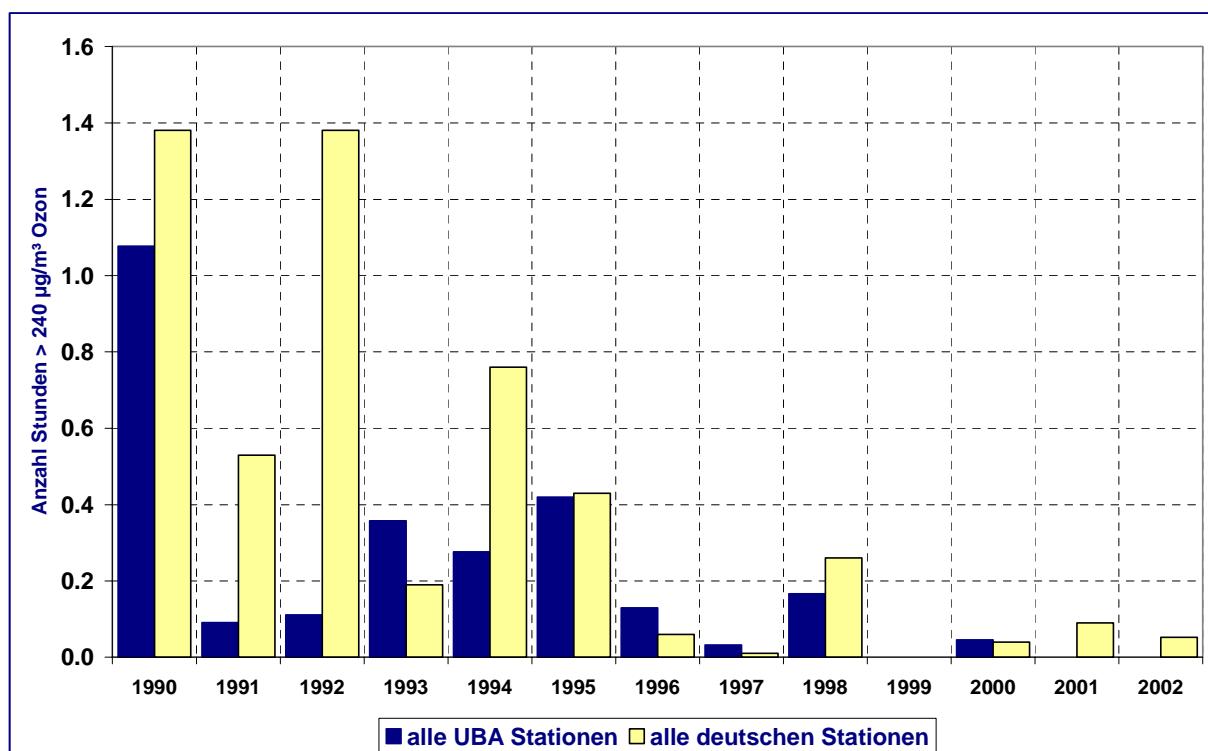


Abbildung 16: Zahl der jährlichen Stunden mit Ozonwerten  $> 240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , gemittelt über alle UBA-Stationen (dunkelgrau) und alle deutschen Stationen (hellgrau)

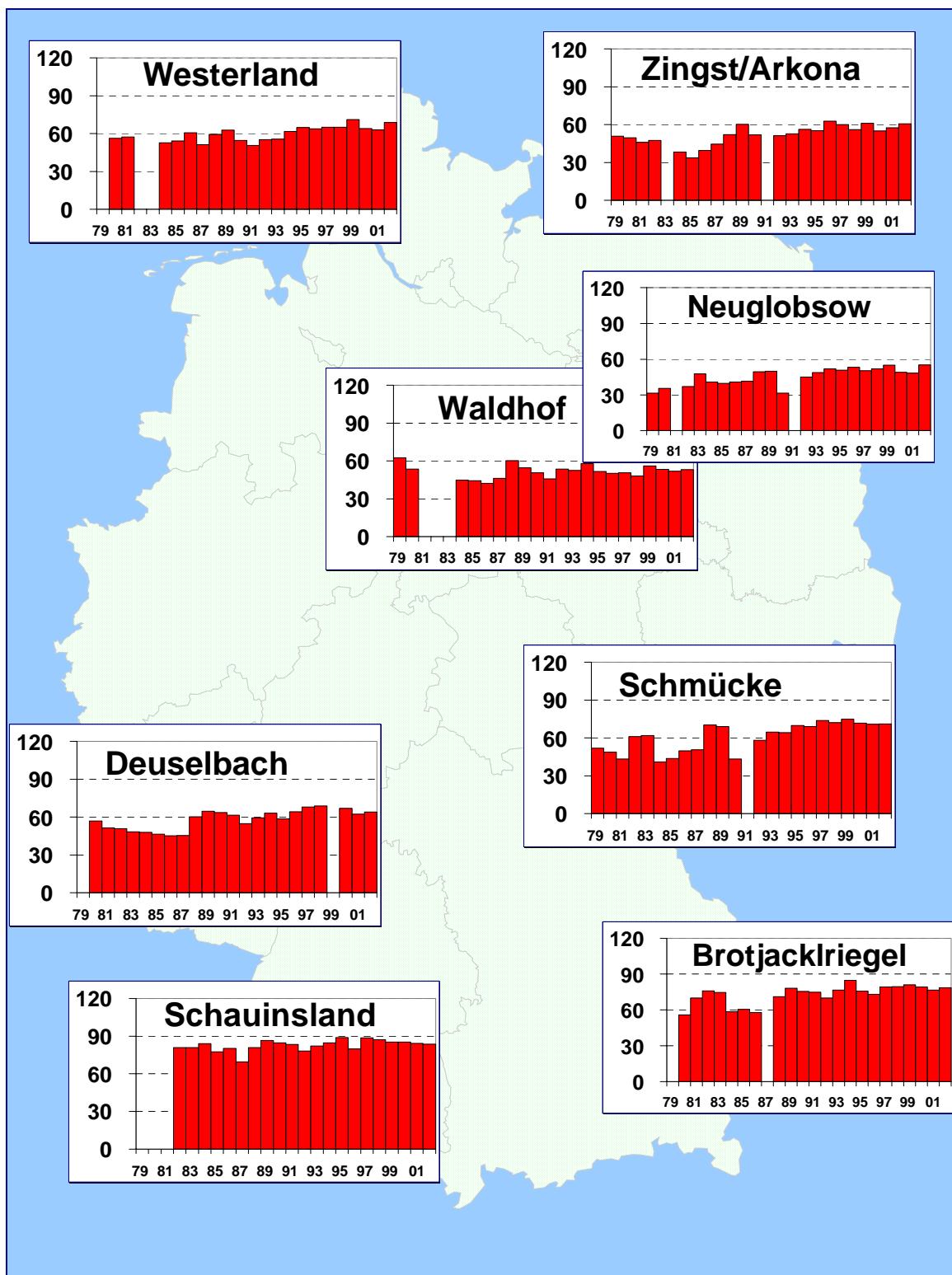


Abbildung 17: Jahresmittel von Ozon für 1979 bis 2002 in µg/m<sup>3</sup> an den personellen Messstellen des UBA

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

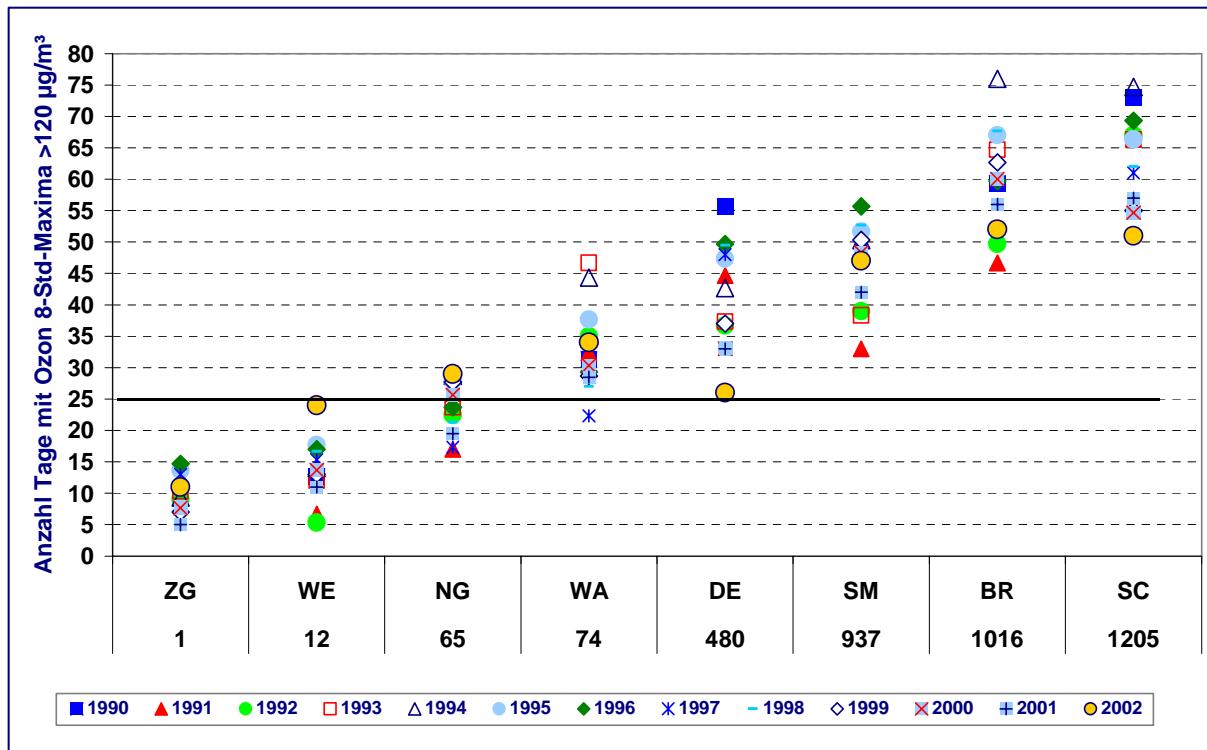


Abbildung 18: Anzahl der Tage/Jahr mit Überschreitungen von gleitenden 8-h-Mitteln >120 µg/m<sup>3</sup> Ozon an den 8 personell besetzten Messstellen des Umweltbundesamtes zwischen 1990 und 2002, nach Stationshöhe sortiert (Höhenangaben über NN unter der Stationsbezeichnung).

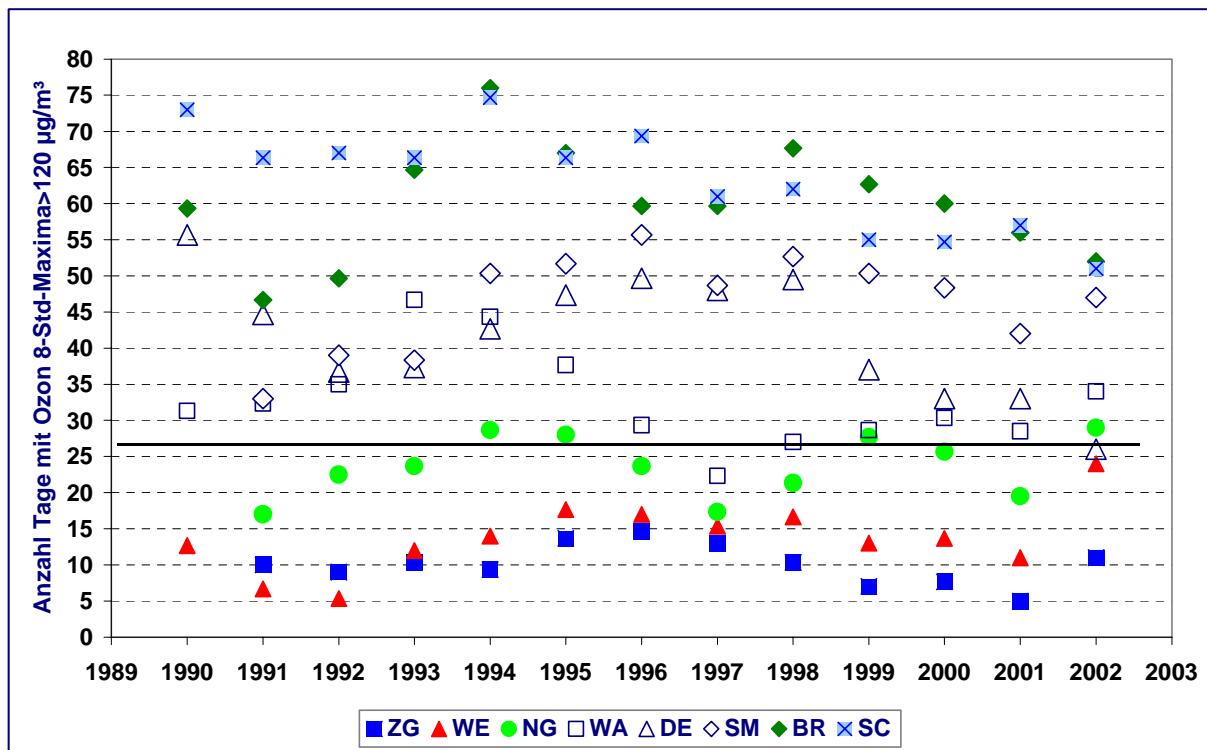


Abbildung 19: Anzahl der Tage/Jahr mit Überschreitungen von gleitenden 8-h-Mitteln >120 µg/m<sup>3</sup> Ozon an den 8 personell besetzten Messstellen des Umweltbundesamtes zwischen 1990 und 2002, nach Jahren sortiert.

### 2.1.3.2 Zielwerte für den Schutz der Vegetation

Als Ziel- bzw. Langfristzielwerte für den Schutz der Vegetation gegen bodennahes Ozon werden so genannte 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, gemittelt über 5 Jahre.

Die während des letzten Jahrzehnts im Messnetz des UBA ermittelten AOT 40-Werte sind in Abbildung 20 und Abbildung 22 dargestellt. Bezuglich der Einhaltung des Zielwertes von  $18000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$  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. Bezuglich 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 dem Zielwert für den Gesundheitsschutz ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zulässig mit 25 Überschreitungen des gleitenden 8-h-Mittels,) ist bei den Zielwerten für den Schutz der Vegetation (AOT40) eine sehr starke Variation von Jahr zu Jahr zu beobachten. In Abbildung 21 ist der Verlauf der kumulativen Beiträge zum AOT40-Wert für 1994 bis 2002 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.

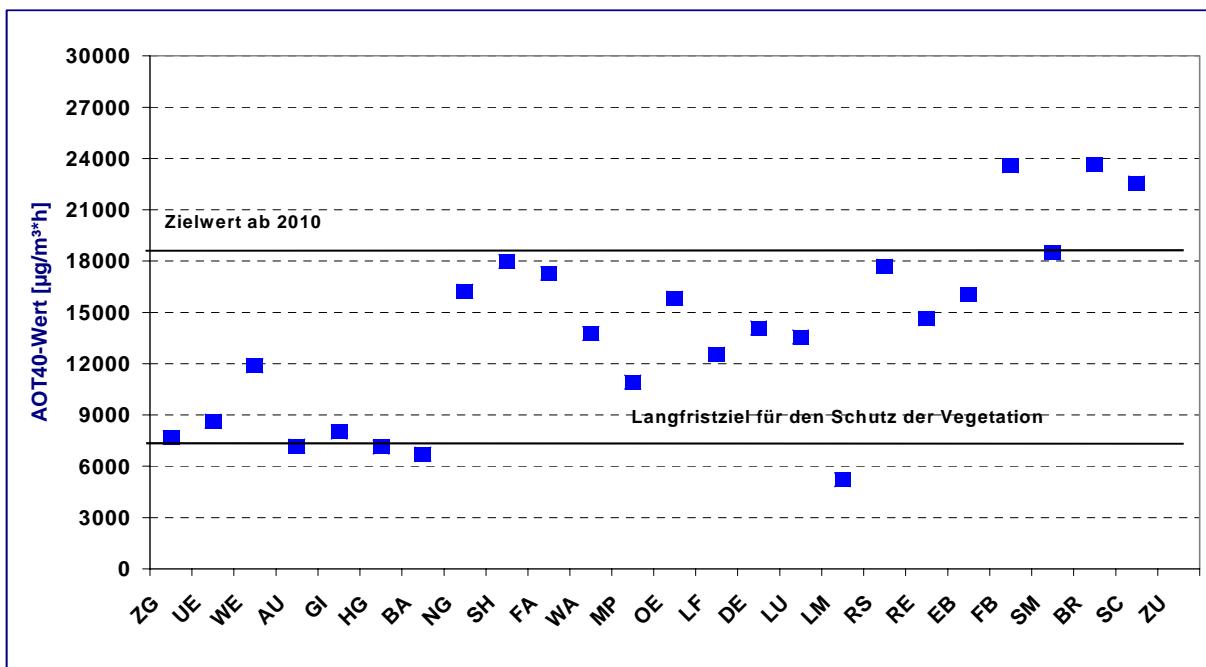


Abbildung 20: AOT40-Werte zum Schutz der Vegetation an allen Stationen des UBA für 2002

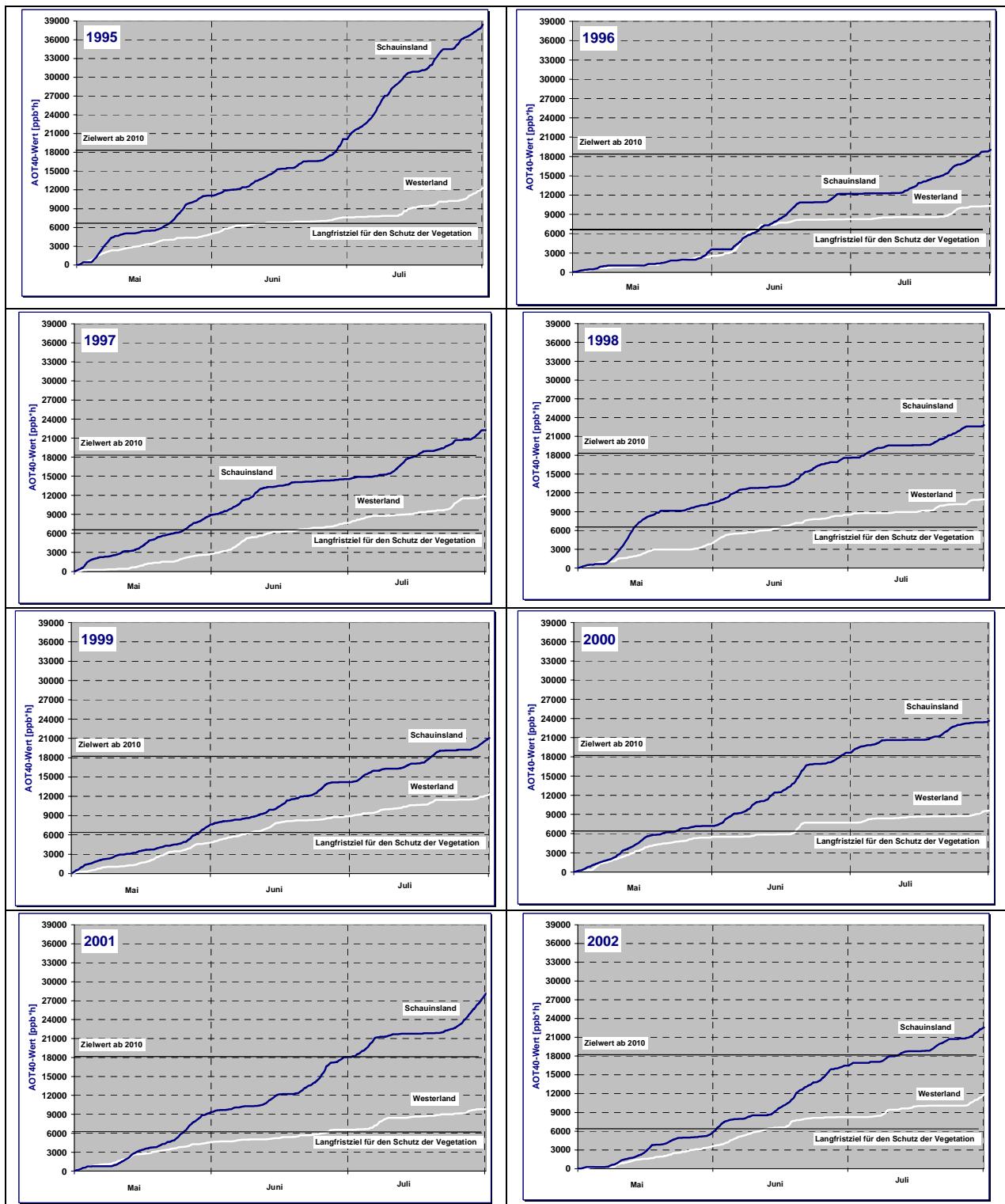


Abbildung 21: Verlauf der kumulativen Beiträge zum AOT40-Wert im Vergleich zum Zielwert bzw. Langfristziel zum Schutz der Vegetation für 1994 bis 2002 in Westerland und auf dem Schauinsland

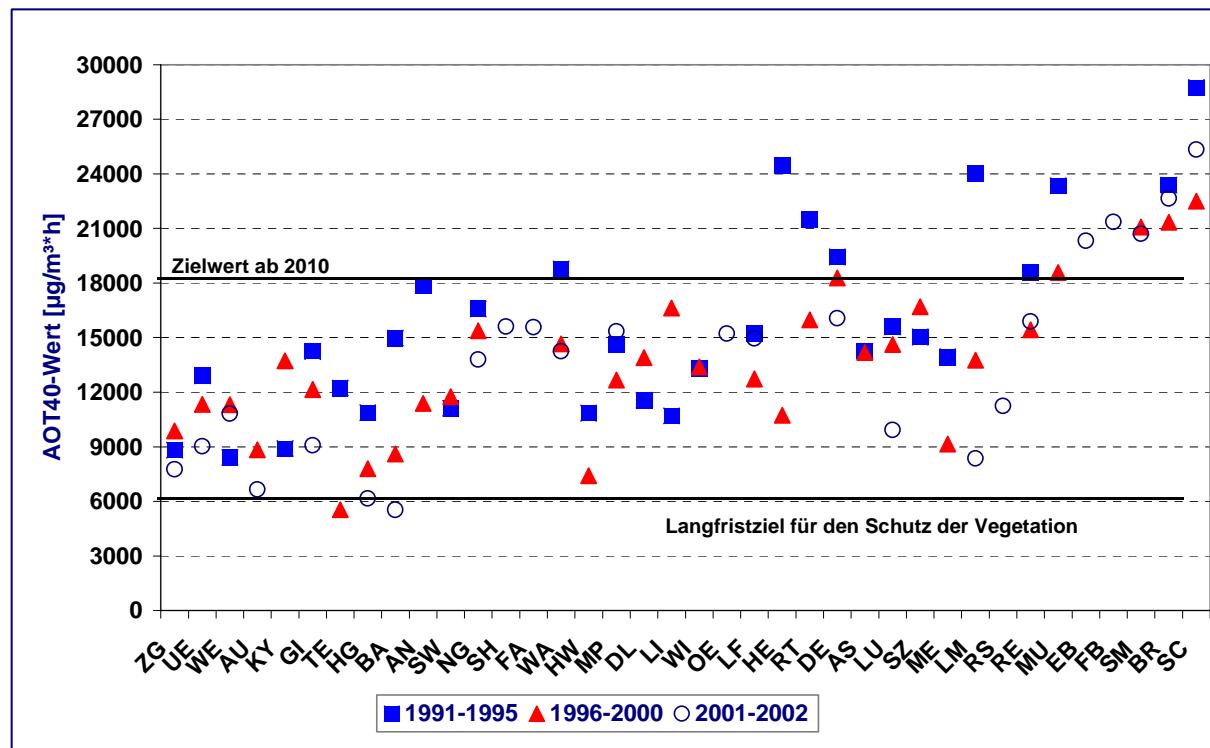


Abbildung 22: AOT40-Werte an allen Stationen des UBA, sortiert nach Stationshöhe

Tabelle 28: Monats- und Jahresmittel, Ozon für 2002 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bez. auf 20 °C, berechnet aus Stundenmitteln

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	44	76	80	80	81	87	78	82	79	57	40	43	69
ZG	38	59	64	75	75	78	67	77	69	49	37	41	61
HG	36	65	66	76	73	81	74	85	79	59	37	37	65
AU	29	49	54	58	59	65	60	62	47	33	19	26	47
UE	36	53	62	73	73	74	66	73	56	37	28	32	55
NG	43	62	63	68	86	67	61	67	57	36	24	30	55
SH	32	48	52	66	75	72	68	72	57	38	26	32	53
BA	31	52	51	62	54	59	56	56	43	34	17	19	44
WA	36	57	59	72	68	71	65	68	52	39	24	26	53
GI	25	40	-	61	55	62	55	54	40	29	19	18	41
FA	39	59	63	63	73	75	66	66	56	40	23	25	54
MP	35	51	50	55	56	57	59	61	45	38	22	21	45
LF	43	61	63	75	71	74	71	75	54	46	30	20	57
LM	45	50	-	55	57	59	62	61	46	43	37	34	50
LU	38	51	64	75	78	80	74	-	-	47	36	30	58
SM	58	61	77	85	88	94	86	97	74	51	47	36	71
RE	55	-	78	71	71	78	75	75	55	44	36	28	61
DE	49	-	70	83	79	83	76	73	62	50	46	35	64
EB	60	64	68	79	77	91	83	87	73	54	49	38	69
OE	-	57	59	75	72	74	57	-	54	36	23	22	53
FB	58	67	-	90	89	97	91	85	74	54	50	41	73
BR	66	68	82	93	95	105	97	94	79	60	57	48	79
RS	40	56	51	62	64	71	64	57	47	39	32	24	50
SC	79	74	85	96	93	107	94	93	83	70	67	59	84

Tabelle 29: Monatsmaxima der Stundenwerte, Ozon für 2002 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , bezogen auf 20 °C, berechnet aus Stundenmitteln

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	93	105	111	137	135	194	176	157	123	100	93	84
ZG	79	90	110	149	127	140	144	155	137	97	87	80
HG	85	102	97	130	117	195	157	156	132	98	94	86
AU	71	81	170	143	124	166	177	164	127	78	70	64
UE	75	82	103	138	122	137	155	161	132	78	76	73
NG	94	104	119	141	162	154	199	151	140	82	73	75
SH	77	82	108	131	138	166	202	176	148	95	73	75
BA	81	86	88	135	127	137	167	137	138	73	63	67
WA	88	88	141	138	144	170	169	168	156	86	74	71
GI	74	75	-	124	121	185	168	167	136	70	74	64
FA	85	93	125	127	156	158	200	146	139	97	72	71
MP	81	84	127	124	140	154	155	161	138	81	69	65
LF	86	91	133	134	143	162	172	152	145	84	73	67
LM	87	68	-	93	122	129	149	127	112	89	82	89
LU	76	81	119	121	157	152	142	-	-	88	74	67
SM	104	92	129	134	153	188	163	156	151	88	93	87
RE	96	-	158	155	152	155	154	128	140	83	73	72
DE	83	-	140	138	158	175	157	155	117	94	79	77
EB	96	89	130	132	167	190	160	156	119	98	87	76
OE	-	92	131	133	151	178	157	-	137	85	74	70
FB	94	96	-	135	176	168	145	133	124	109	90	88
BR	104	99	130	137	177	178	152	135	129	100	90	87
RS	89	94	113	135	164	204	143	140	121	102	84	80
SC	100	99	130	145	164	203	165	139	127	97	91	92

Tabelle 30: Monatliche 50-Perzentile der Stundenwerte von Ozon für 2002 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	49	79	84	83	81	86	75	80	80	55	41	44
ZG	40	61	67	74	75	77	63	75	69	53	35	40
HG	43	66	74	78	73	80	71	85	78	64	39	35
AU	30	52	56	57	61	64	58	61	49	32	16	25
UE	37	54	63	74	73	73	64	71	58	37	26	30
NG	41	61	67	68	85	69	56	67	58	38	20	28
SH	31	49	55	66	75	74	62	71	58	39	23	30
BA	29	55	52	60	52	54	48	52	38	33	14	19
WA	37	59	60	72	69	71	59	67	52	40	20	25
GI	21	41	-	67	57	57	52	49	37	28	15	14
FA	39	59	64	65	69	75	58	60	54	38	23	23
MP	36	53	53	56	55	55	52	59	41	39	17	18
LF	45	61	65	76	70	69	65	72	52	45	31	18
LM	48	50	-	55	55	57	56	58	44	44	39	35
LU	38	51	63	75	79	79	72	-	53	48	37	30
SM	57	62	74	86	87	93	79	99	72	52	49	37
RE	58	68	78	70	68	75	73	75	54	47	39	25
DE	51	-	71	82	77	80	69	72	62	51	48	33
EB	63	66	67	78	75	89	77	87	72	57	52	40
OE	-	61	59	77	70	71	51	66	51	37	20	17
FB	60	67	-	91	90	97	92	87	75	55	54	39
BR	66	68	80	94	97	106	99	98	79	63	58	51
RS	38	63	56	62	64	71	61	58	43	35	29	15
SC	81	76	84	96	91	106	89	92	83	72	69	66

Tabelle 31: Monatliche 98-Perzentile der Stundenwerte von Ozon für 2002  
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	88	99	105	127	112	128	137	134	117	97	89	81
ZG	74	83	92	131	118	112	118	129	118	81	75	75
HG	80	88	91	119	107	125	134	132	112	91	87	83
AU	67	74	102	121	100	127	154	138	110	75	61	59
UE	68	74	90	119	114	118	129	138	112	71	65	66
NG	86	96	111	126	149	132	136	137	125	76	66	68
SH	70	74	92	122	133	140	152	156	135	79	65	68
BA	71	77	84	117	105	127	142	114	103	69	57	61
WA	75	82	109	131	125	143	145	149	123	80	62	65
GI	66	66	-	111	104	136	137	122	96	62	61	56
FA	79	85	102	117	128	138	144	135	126	79	56	65
MP	73	77	95	118	117	131	142	136	125	75	59	60
LF	77	84	109	130	121	136	150	140	114	77	62	61
LM	64	64	-	90	97	110	123	115	102	67	64	73
LU	72	75	107	117	121	132	130	-	87	80	66	62
SM	96	83	117	129	134	155	150	135	128	80	76	73
RE	90	99	127	124	136	135	137	121	113	71	67	65
DE	75	-	121	132	132	151	141	125	104	81	72	69
EB	92	82	121	125	147	161	147	133	109	84	75	71
OE	-	84	108	128	134	140	142	141	122	78	64	66
FB	90	90	-	131	146	146	137	123	113	86	84	80
BR	100	90	113	126	152	158	141	128	121	91	87	85
RS	84	87	103	110	139	145	132	118	112	86	76	73
SC	96	93	125	128	144	163	143	132	122	93	84	87

Tabelle 32: Jährliche Perzentile der Stundenwerte von Ozon für 2002 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	6	15	29	53	72	88	99	108	122	194
ZG	1	7	16	26	44	63	77	92	103	115	155
HG	1	2	12	27	49	69	82	93	103	117	195
AU	1	1	1	4	25	48	65	83	96	116	177
UE	1	6	12	19	35	55	73	90	102	114	161
NG	1	3	7	12	31	53	77	97	112	126	199
SH	1	2	5	11	28	51	72	98	116	133	202
BA	1	1	3	10	25	42	61	78	91	107	167
WA	1	1	4	11	31	52	73	94	109	128	170
GI	1	2	5	6	18	38	60	80	94	112	185
FA	1	2	8	15	32	52	73	94	110	125	200
MP	1	1	2	7	22	44	64	84	103	120	161
LF	1	2	9	19	38	56	74	93	107	125	172
LM	1	8	16	24	37	49	60	78	90	103	149
LU	1	7	17	25	39	56	75	95	107	117	157
SM	1	12	25	36	52	69	89	111	123	135	188
RE	1	7	14	22	41	60	80	100	112	123	158
DE	1	12	21	31	47	62	80	99	112	125	175
EB	1	16	27	38	53	67	83	103	118	130	190
OE	1	1	3	10	28	52	74	98	113	127	178
FB	1	13	24	36	54	72	92	111	120	130	176
BR	3	23	34	45	61	77	98	115	123	134	178
RS	1	1	4	8	23	49	73	93	107	123	204
SC	1	28	46	58	70	82	97	115	124	136	203

Tabelle 33: Jahresmittel von Ozon für 1982 bis 2002 in µg/m³, 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	-	
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	-	
1996	64	63	-	-	52	49	58	52	53	52	-	48	45	-	49	42	55	-	
1997	65	60	64	-	52	52	58	52	50	50	-	53	45	51	52	42	57	-	
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	
2002	69	61	65	47	-	-	55	-	55	-	53	-	44	53	-	41	-	54	
Stat.	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	EB	AS	OE	BR	FB	RT	SC	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	-	-	-	68	-	-	70	-	-
1988	-	-	42	-	-	-	70	-	56	64	-	33	-	71	-	50	81	-	-
1989	-	-	40	61	-	-	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	-	84	55	50	64	53	-	63	-	45	-	86	-	63	85	-	-
1995	52	54	55	52	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	-	103
1997	47	51	47	53	61	61	74	57	63	68	-	43	-	79	-	56	89	-	102
1998	49	58	55	57	59	62	72	61	64	69	-	44	-	80	-	54	87	-	105
1999	50	60	-	-	62	64	75	-	63	78	-	52	-	81	-	-	85	-	103
2000	47	55	-	-	61	61	72	-	62	67	-	49	-	79	74	-	85	-	99
2001	48	61	-	-	54	52	71	-	66	62	75	-	-	77	69	-	84	-	101
2002	45	57	-	-	50	58	71	-	61	64	69	-	53	79	73	-	84	50	-

## 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 34) 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. Auf der Zugspitze erfolgt die Probenahme seit 1. Juli 2002 nachts um 2:00 Uhr, um tourismusbezogene Emissionsquellen möglichst auszuschließen. Die Probenahmzeit 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 34: VOC-Messprogramm des Umweltbundesamtes:

<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-Xylool</b>
<b>trans-2-Buten</b>	<b>2-Methylpentan</b>	<b>o-Xylool</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 36 bis Tabelle 40 sind die Monats- und Jahresmittel der VOC und in Tabelle 41 bis Tabelle 45 die maximalen monatlichen Werte im Jahr 2002 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 und 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 und Abbildung 25 zeigen für die Stationen Zingst, Waldhof, Schmücke und Brotjacklriegel den gegenläufigen mittleren Jahresgang (1998-2002 bzw. 2000-2002) 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 1993 und 2002 wurden an den Stationen Zingst, Waldhof, Schmücke und Brotjacklriegel folgende Jahresmittel für VOC gesamt bestimmt (VOC-Werte von 1993-1997 beim NILU analysiert (Ref. 20):

Tabelle 35: Jahresmittel VOC gesamt von 1993 bis 2002 in ppt

Jahr	Zingst	Waldhof	Schmücke	Brotjacklriegel
1993		10310		
1994		8347		
1995		7638		
1996		7953		
1997		6921		
1998		6908	5946	
1999		6126	5249	
2000	5649	5830	5421	5030
2001	5886	6008	5150	5164
2002	5723	6179	5902	4983

Die entsprechenden Monatsmittel aller Stationen für diesen Zeitraum sind in Abbildung 23 zu sehen. Für eine Trendaussage ist die Zeitspanne von nur 5 Jahren noch zu kurz.

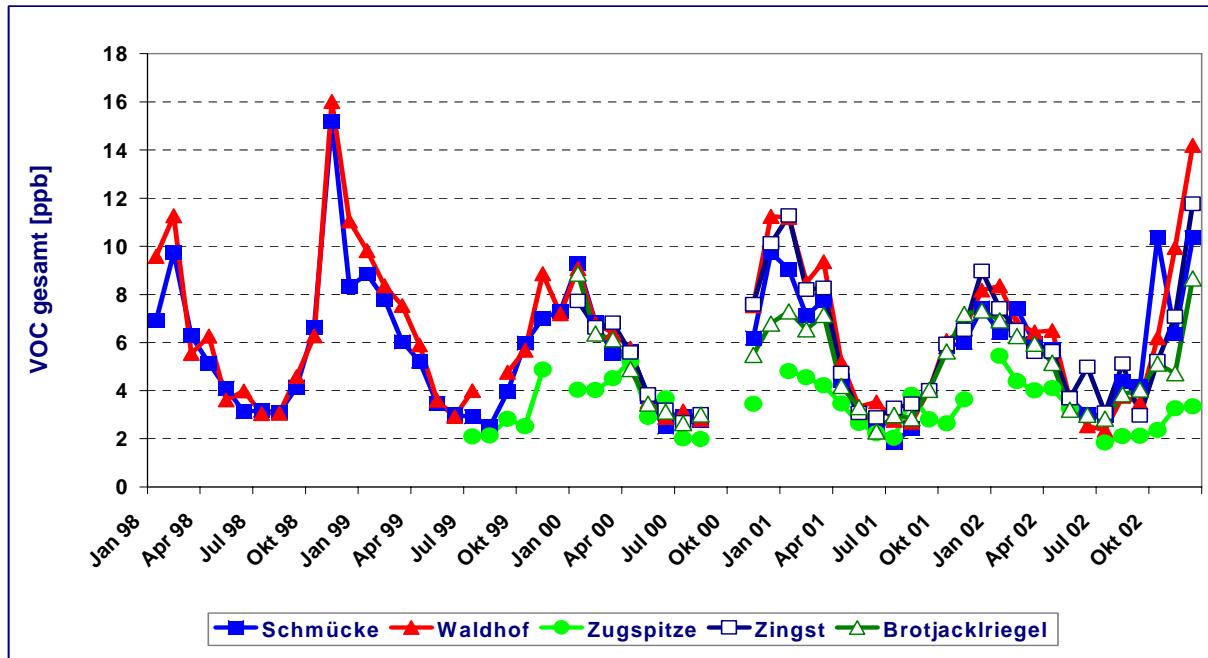


Abbildung 23: Monatsmittel VOC gesamt in Waldhof, Zingst, auf der Schmücke, dem Brotjacklriegel und der Zugspitze von 1998 bis 2002

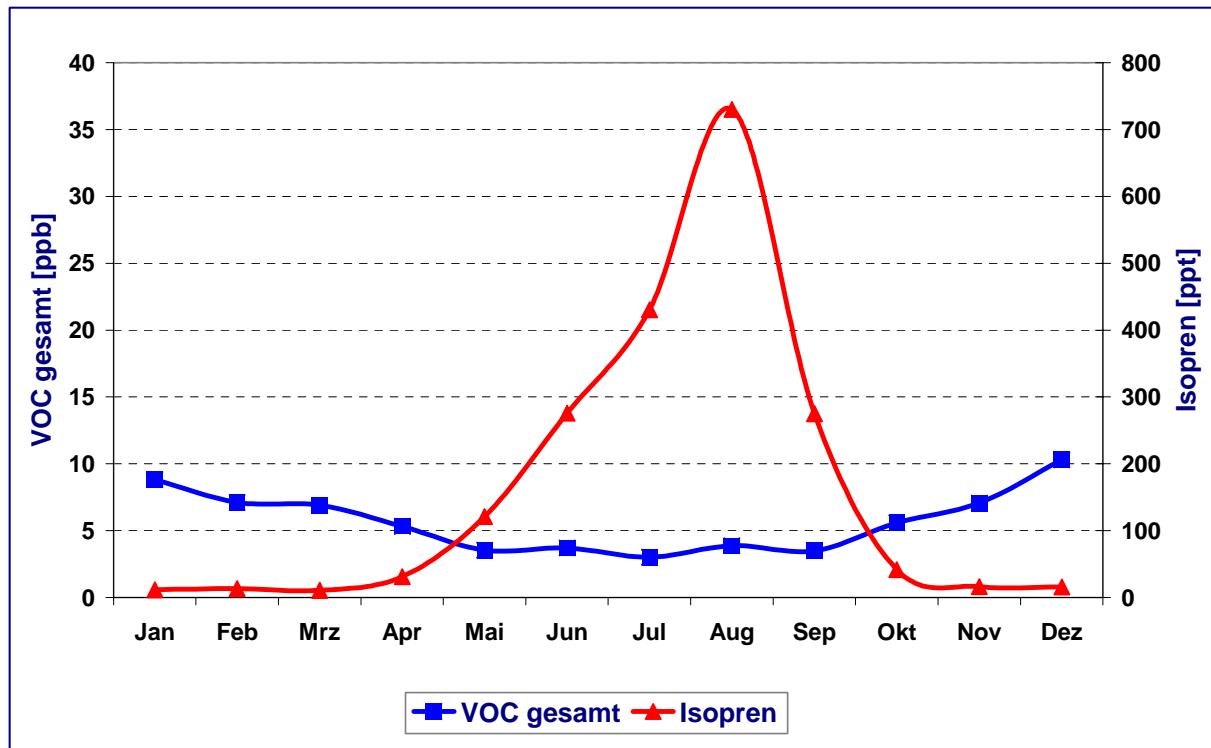


Abbildung 24: Mittlerer Jahresgang von VOC gesamt und Isopren in Zingst für 2000-2002.

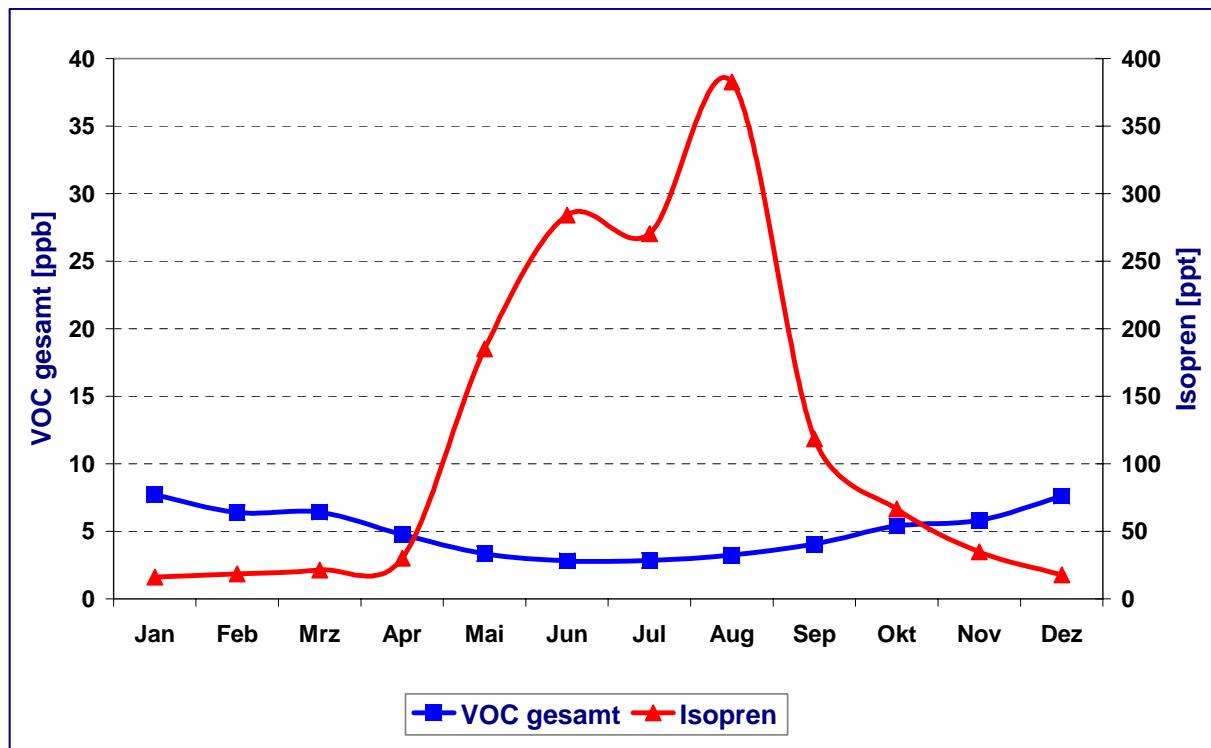


Abbildung 25: Mittlerer Jahresgang von VOC gesamt und Isopren auf dem Brotjacklriegel für 2000-2002.

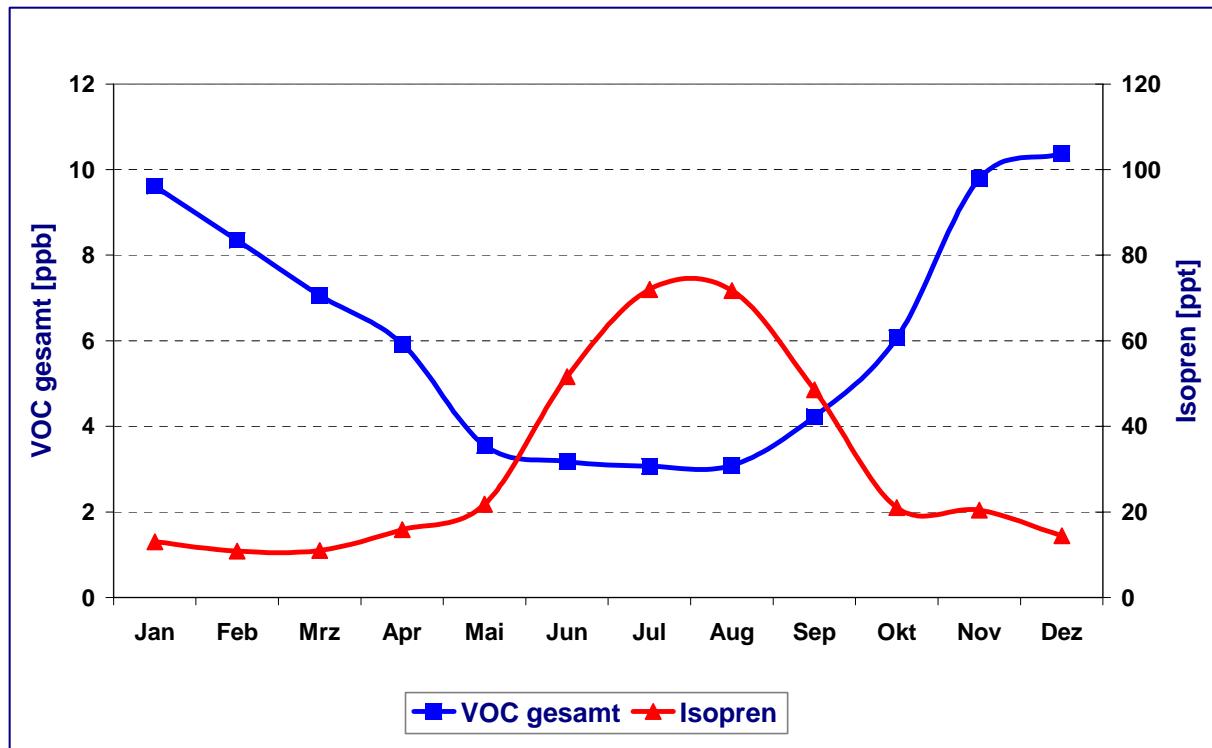


Abbildung 26: Mittlerer Jahresgang von VOC gesamt und Isopren in Waldhof für 1998-2002.

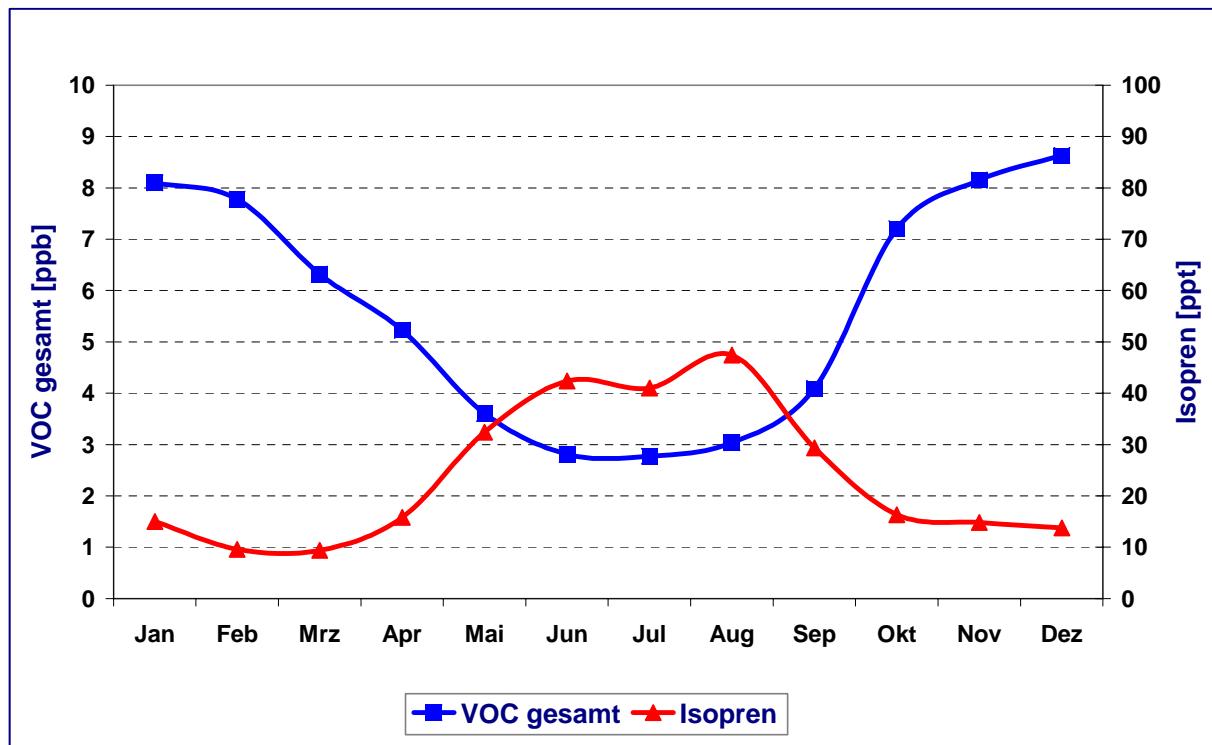


Abbildung 27: Mittlerer Jahresgang von VOC gesamt und Isopren auf der Schmücke für 1998-2002.

Tabelle 36: Monats- und Jahresmittel, VOC in Zingst für 2002 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Ethan	1859	2090	2093	2185	1420	1117	925	1723	946	1623	1750	2565	1686
Ethen	894	438	372	372	251	197	272	315	157	588	1062	1909	565
Propan	1137	1139	872	814	412	246	349	485	240	751	884	1474	729
Propen	176	111	135	61	63	55	78	72	46	102	163	305	113
Ethin	1005	751	733	890	443	219	219	410	225	653	1073	2005	717
i-Butan	279	267	172	164	101	131	91	94	47	180	219	398	177
n-Butan	500	516	310	280	171	244	161	163	77	312	391	659	312
trans-2-Buten	7	6	6	8	6	15	8	6	4	5	8	8	7
1-Buten	39	30	20	20	22	22	26	22	14	24	35	71	29
i-Buten	118	91	73	85	93	91	107	280	109	110	113	166	119
cis-2-Buten	9	7	7	8	8	17	8	9	5	5	11	11	9
i-Pentan	270	219	139	136	141	680	119	109	103	163	235	364	220
n-Pentan	174	156	92	91	67	182	70	67	37	118	148	237	119
Butadien 1,3	19	10	6	4	6	4	6	7	4	10	18	40	11
tr-2-Penten	5	2	4	3	5	40	5	4	3	3	5	5	7
cis-2-Penten	4	3	3	2	3	23	3	4	2	2	4	5	5
2-Methylpentan	88	65	38	45	35	222	36	27	34	51	76	123	69
3-Methylpentan	47	36	20	25	18	114	20	14	22	29	42	71	38
Isopren	9	22	12	26	120	367	306	974	392	45	11	15	191
n-Hexan	62	75	28	37	22	84	25	-	14	38	47	87	48
n-Heptan	28	21	16	13	10	14	12	10	15	18	24	45	19
Benzol	247	182	171	199	90	134	94	198	68	186	266	557	199
Toluol	263	167	181	100	95	551	82	91	374	118	229	441	223
Ethylbenzol	36	21	20	10	19	28	11	5	8	18	59	40	22
m/p-Xylool	86	50	50	22	33	60	23	9	10	35	137	93	49
o-Xylool	28	14	19	8	12	18	11	5	6	15	34	34	17
Pentene	37	27	26	26	30	192	31	34	22	26	37	48	44
VOC gesamt	7417	6511	5614	5630	3686	4992	3086	5126	2971	5222	7072	11766	5723

Tabelle 37: Monats- und Jahresmittel, VOC in Waldhof für 2002 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Ethan	2160	2155	2167	2364	1499	1122	842	1439	1220	1730	2168	3054	1824
Ethen	1034	492	462	665	248	227	219	270	296	782	1638	2798	763
Propan	1244	1146	1050	887	442	258	251	450	455	833	1248	1632	821
Propen	187	146	147	77	54	58	69	65	60	153	266	390	139
Ethin	1119	787	815	1030	350	203	185	361	362	741	1438	2491	824
i-Butan	295	269	241	173	93	65	70	100	99	219	357	425	199
n-Butan	554	498	408	310	162	108	122	160	175	349	625	717	347
trans-2-Buten	10	6	6	7	5	4	7	5	4	5	9	8	6
1-Buten	45	33	26	23	19	19	20	19	18	27	54	80	32
i-Buten	116	97	93	89	92	82	106	299	109	106	136	161	125
cis-2-Buten	9	8	6	8	6	4	9	7	6	6	12	11	8
i-Pentan	284	219	212	150	154	77	61	109	130	245	385	382	205
n-Pentan	199	175	153	115	79	56	73	65	106	192	262	283	146
Butadien 1,3	25	14	9	5	4	4	5	4	4	17	39	52	15
tr-2-Penten	6	4	2	4	3	2	3	3	2	3	5	4	3
cis-2-Penten	4	3	2	3	2	2	3	2	1	3	7	4	3
2-Methylpentan	97	69	62	44	29	23	34	27	40	72	132	131	64
3-Methylpentan	52	38	33	24	16	12	19	14	21	42	72	74	35
Isopren	13	9	9	9	16	57	65	116	50	18	16	18	33
n-Hexan	72	54	44	35	23	21	22	-	19	56	79	103	48
n-Heptan	35	24	25	16	15	7	12	9	13	22	36	47	22
Benzol	269	194	188	247	89	43	77	140	125	215	349	679	219
Toluol	298	202	167	138	207	67	94	74	117	218	347	398	197
Ethylbenzol	49	30	25	17	13	3	12	6	15	33	55	50	26
m/p-Xylool	116	74	53	30	17	1	25	5	25	62	133	110	54
o-Xylool	36	22	19	9	6	0	9	3	13	25	46	43	19
Pentene	39	29	25	27	21	21	27	23	22	29	51	58	31
VOC gesamt	8359	6791	6444	6499	3656	2538	2351	3772	3503	6196	9953	14195	6179

Tabelle 38: Monats- und Jahresmittel, VOC auf der Schmücke für 2002 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Ethan	1721	2172	2033	2152	1407	1157	915	1559	1301	1473	1509	2298	1639
Ethen	702	745	520	376	219	270	285	383	337	794	788	2036	623
Propan	921	1107	856	783	401	289	306	470	718	737	842	1213	718
Propen	130	155	89	53	64	61	85	88	75	160	168	280	117
Ethin	887	1015	845	916	412	272	248	389	430	781	833	1637	721
i-Butan	225	286	214	169	110	77	88	114	104	234	250	324	182
n-Butan	406	515	368	294	210	152	151	211	188	337	447	544	316
trans-2-Buten	9	7	5	8	8	5	7	6	6	10	9	11	8
1-Buten	33	31	23	20	24	19	24	23	19	36	41	61	30
i-Buten	121	97	91	75	108	84	110	285	117	122	142	164	124
cis-2-Buten	10	8	7	10	11	5	9	9	5	11	11	13	9
i-Pentan	222	244	178	154	145	132	139	173	156	288	240	310	198
n-Pentan	135	154	102	98	70	87	166	188	118	217	173	194	142
Butadien 1,3	17	16	9	4	8	5	7	5	10	19	20	39	13
tr-2-Penten	5	5	3	5	9	3	4	5	6	9	5	6	6
cis-2-Penten	5	4	2	4	6	3	4	3	5	6	5	7	5
2-Methylpentan	76	76	55	47	47	36	36	45	50	100	77	99	62
3-Methylpentan	40	44	30	25	25	19	19	25	29	57	42	55	34
Isopren	11	10	8	10	31	51	38	80	35	-	21	-	28
n-Hexan	48	56	32	31	22	24	23	-	31	52	45	67	39
n-Heptan	27	25	22	16	16	13	12	16	16	26	27	32	21
Benzol	243	242	192	206	102	71	74	132	141	214	203	411	186
Toluol	236	234	157	136	131	109	112	126	143	294	250	303	186
Ethylbenzol	41	32	22	25	17	9	22	21	24	1171	36	47	126
m/p-Xylool	97	79	53	41	37	20	56	40	51	2627	90	104	283
o-Xylool	27	25	20	14	12	3	17	13	26	518	29	38	64
Pentene	40	34	25	29	41	26	30	38	39	55	43	52	38
VOC gesamt	6425	7410	5959	5690	3679	2992	2977	4387	4165	10358	6335	10348	5902

Tabelle 39: Monats- und Jahresmittel, VOC auf dem Brotjacklriegel für 2002 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Ethan	1746	1887	2064	1952	1335	1015	929	1206	1109	1373	1292	2123	1500
Ethen	891	527	513	373	214	220	200	376	340	565	655	1320	518
Propan	902	1052	832	677	336	233	262	345	340	534	531	1056	589
Propen	157	87	70	58	44	61	54	82	77	89	135	233	96
Ethin	1113	894	963	825	423	296	259	358	467	741	620	1294	688
i-Butan	233	285	182	140	72	73	69	87	92	136	145	297	150
n-Butan	411	440	294	248	113	113	141	142	141	227	240	515	251
trans-2-Buten	7	6	6	7	5	11	5	5	6	9	9	12	7
1-Buten	39	28	21	20	16	24	19	21	21	27	34	56	27
i-Buten	110	85	78	80	71	93	90	243	135	98	145	114	112
cis-2-Buten	8	8	8	7	7	8	5	6	8	9	10	14	8
i-Pentan	247	200	177	158	103	119	108	141	242	287	179	339	193
n-Pentan	149	123	122	96	60	67	61	75	120	164	114	188	112
Butadien 1,3	16	10	8	3	3	3	4	5	8	11	13	24	9
tr-2-Penten	5	4	3	4	4	2	5	4	12	9	7	12	6
cis-2-Penten	3	4	2	3	3	2	3	2	7	6	6	8	4
2-Methylpentan	79	60	51	42	30	33	32	35	112	80	56	101	60
3-Methylpentan	41	34	26	22	16	15	18	20	67	46	31	58	33
Isopren	15	15	19	28	106	386	324	396	148	40	34	18	128
n-Hexan	49	41	35	26	18	20	20	-	50	42	33	67	37
n-Heptan	30	19	16	15	9	11	11	11	24	25	17	30	18
Benzol	263	203	222	185	96	72	74	114	123	187	151	317	167
Toluol	259	162	144	122	84	88	91	117	292	294	151	284	175
Ethylbenzol	29	23	20	16	11	7	11	10	20	26	21	37	19
m/p-Xylool	68	40	39	30	17	18	30	14	40	58	54	88	41
o-Xylool	26	12	13	6	3	1	6	11	18	20	16	25	13
Pentene	39	30	25	29	25	23	25	28	61	43	47	56	36
VOC gesamt	6925	6268	5949	5164	3212	3000	2842	3847	4054	5131	4730	8669	4983

Tabelle 40: Monats- und Jahresmittel, VOC auf der Zugspitze für 2002 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Ethan	-	-	-	-	-	-	721	798	861	1008	1221	1238	1153
Ethen	-	-	-	-	-	-	144	164	165	126	261	251	225
Propan	-	-	-	-	-	-	153	149	197	291	446	485	384
Propen	-	-	-	-	-	-	56	50	48	38	72	69	63
Ethin	-	-	-	-	-	-	174	169	232	246	322	409	452
i-Butan	-	-	-	-	-	-	54	55	52	64	126	104	121
n-Butan	-	-	-	-	-	-	65	61	65	98	180	161	135
trans-2-Buten	-	-	-	-	-	-	8	5	5	5	7	6	9
1-Buten	-	-	-	-	-	-	19	16	17	15	21	26	22
i-Buten	-	-	-	-	-	-	105	249	109	82	102	106	117
cis-2-Buten	-	-	-	-	-	-	6	4	5	5	10	8	8
i-Pentan	-	-	-	-	-	-	67	63	60	75	91	75	108
n-Pentan	-	-	-	-	-	-	42	56	39	83	58	62	98
Butadien 1,3	-	-	-	-	-	-	8	3	4	4	6	4	7
tr-2-Penten	-	-	-	-	-	-	3	3	3	3	4	4	6
cis-2-Penten	-	-	-	-	-	-	3	2	0	2	3	3	4
2-Methylpentan	-	-	-	-	-	-	17	13	24	16	26	41	34
3-Methylpentan	-	-	-	-	-	-	10	7	13	9	15	26	20
Isopren	-	-	-	-	-	-	16	22	13	7	9	9	16
n-Hexan	-	-	-	-	-	-	10	-	13	12	20	56	24
n-Heptan	-	-	-	-	-	-	9	12	24	9	12	10	14
Benzol	-	-	-	-	-	-	45	52	66	65	89	91	88
Toluol	-	-	-	-	-	-	65	104	65	61	89	60	98
Ethylbenzol	-	-	-	-	-	-	8	7	7	6	11	6	11
m/p-Xylool	-	-	-	-	-	-	19	18	16	18	33	14	32
o-Xylool	-	-	-	-	-	-	3	1	5	3	9	2	8
Pentene	-	-	-	-	-	-	23	28	21	22	30	30	35
VOC gesamt	-	-	-	-	-	-	1847	2110	2122	2369	3267	3349	3279

Tabelle 41: Monatsmaxima, VOC in Zingst für 2002 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ethan	3107	2731	2569	2975	1841	1486	1306	3131	1366	2486	2029	3788
Ethen	2472	1085	918	851	631	341	548	474	326	1372	1790	4516
Propan	1982	1600	1058	1282	749	439	641	909	369	1220	1223	1954
Propen	572	218	600	117	146	82	108	106	77	211	282	622
Ethin	1833	1300	1371	1537	1225	360	416	612	457	1226	1649	3981
i-Butan	555	464	247	258	261	562	151	149	98	437	282	513
n-Butan	929	844	399	444	434	1058	280	277	158	556	594	832
trans-2-Buten	16	8	12	14	12	71	12	14	5	10	11	13
1-Buten	96	59	33	29	31	34	39	45	17	46	54	144
i-Buten	199	145	93	112	124	121	140	472	235	280	145	415
cis-2-Buten	19	10	12	13	12	84	14	21	8	8	16	21
i-Pentan	518	423	248	214	346	3482	167	181	434	296	356	471
n-Pentan	346	260	133	165	172	946	125	111	106	222	224	334
Butadien 1,3	63	22	14	7	20	6	15	17	7	21	30	98
tr-2-Penten	12	4	7	7	18	258	8	15	4	5	10	9
cis-2-Penten	9	5	7	7	9	147	4	10	6	5	6	11
2-Methylpentan	184	137	71	124	107	1368	49	59	167	101	126	152
3-Methylpentan	99	70	38	73	56	683	29	28	122	59	66	94
Isopren	24	46	31	65	316	868	1156	1390	848	176	18	26
n-Hexan	131	127	40	89	46	402	42	-	27	82	74	140
n-Heptan	59	35	38	20	23	40	19	15	70	38	35	62
Benzol	469	297	316	329	163	638	242	410	132	398	461	1204
Toluol	667	336	722	160	252	2467	139	172	2879	226	378	930
Ethylbenzol	117	54	62	17	35	83	19	16	18	41	224	65
m/p-Xylool	281	130	179	46	97	254	31	26	18	67	528	151
o-Xylool	95	43	85	21	34	89	14	18	21	33	128	48
Pentene	68	46	49	40	66	1180	36	54	26	39	49	79

Tabelle 42: Monatsmaxima, VOC in Waldhof für 2002 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ethan	3453	3856	2985	3329	2366	1342	1203	2007	1930	2741	2696	6077
Ethen	2931	1491	1182	2261	381	388	401	417	870	2594	2643	6163
Propan	2427	2329	1893	1325	717	414	419	769	1089	1552	2135	3011
Propen	473	458	729	146	89	108	120	109	133	472	414	751
Ethin	2685	1427	1173	2167	520	357	274	505	827	1440	2148	4921
i-Butan	563	612	536	268	155	135	153	214	273	631	550	845
n-Butan	1081	1180	830	491	329	192	302	328	499	779	1159	1370
trans-2-Buten	22	14	13	11	8	8	15	11	6	11	17	12
1-Buten	106	90	65	33	24	27	37	23	24	61	81	173
i-Buten	236	174	123	103	118	92	143	791	186	187	181	282
cis-2-Buten	26	23	10	20	10	7	15	15	15	12	22	16
i-Pentan	613	546	422	242	683	151	103	207	487	894	598	737
n-Pentan	429	457	359	185	180	152	185	130	491	731	396	612
Butadien 1,3	86	42	29	12	8	10	10	5	8	68	63	105
tr-2-Penten	15	11	6	8	6	3	9	5	6	10	20	5
cis-2-Penten	8	7	7	8	6	7	6	9	4	8	11	7
2-Methylpentan	238	173	129	79	74	46	79	69	148	227	242	261
3-Methylpentan	119	94	78	47	40	27	51	42	84	147	124	151
Isopren	27	15	13	17	27	108	95	203	195	65	30	26
n-Hexan	165	117	98	63	48	58	43	-	41	175	140	232
n-Heptan	83	48	43	28	67	17	22	15	40	66	69	104
Benzol	646	364	269	596	130	76	123	199	265	426	511	1546
Toluol	770	473	400	271	1223	134	184	97	405	784	596	673
Ethylbenzol	133	68	60	32	63	21	30	22	66	128	117	88
m/p-Xylool	325	192	147	72	59	4	61	23	106	170	310	166
o-Xylool	109	66	54	30	21	0	41	21	41	78	108	86
Pentene	81	53	46	38	27	30	51	46	28	61	90	113

Tabelle 43: Monatsmaxima, VOC auf der Schmücke für 2002 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ethan	2379	3508	2538	3294	1998	1393	1127	2370	2132	1918	2023	3660
Ethen	1691	2160	1014	891	439	670	828	627	764	2046	1850	6400
Propan	1374	1987	1249	1414	684	414	550	764	2704	1296	1129	2067
Propen	247	469	199	84	122	124	177	150	155	368	344	659
Ethin	1875	2468	1268	1716	632	422	334	644	773	1504	1557	2984
i-Butan	349	566	378	304	257	124	200	174	179	611	498	602
n-Butan	617	1045	633	527	578	234	302	313	334	568	1159	1013
trans-2-Buten	11	16	7	11	22	6	12	17	11	22	13	30
1-Buten	53	57	34	28	39	26	50	35	33	65	72	120
i-Buten	179	125	118	94	222	96	176	315	191	186	210	342
cis-2-Buten	18	21	11	13	25	10	16	15	9	23	15	27
i-Pentan	405	564	274	268	357	230	242	272	330	638	450	539
n-Pentan	221	340	153	197	136	168	313	281	234	690	399	387
Butadien 1,3	33	39	15	7	22	8	13	8	29	53	41	101
tr-2-Penten	12	9	4	10	28	5	8	7	21	42	7	9
cis-2-Penten	9	9	5	6	18	7	8	5	12	-	9	11
2-Methylpentan	143	178	84	88	105	60	70	72	145	261	153	185
3-Methylpentan	75	104	46	49	55	31	42	39	93	147	82	98
Isopren	16	21	10	25	54	129	112	115	45	-	-	-
n-Hexan	81	122	57	64	43	35	57	-	96	102	87	125
n-Heptan	51	52	40	33	38	19	22	23	41	47	53	58
Benzol	497	581	281	408	156	101	109	207	324	387	369	743
Toluol	491	563	259	203	229	162	196	212	341	518	436	623
Ethylbenzol	79	87	30	36	32	22	48	44	59	8803	63	106
m/p-Xylool	181	189	71	61	81	64	101	71	173	19602	165	228
o-Xylool	60	60	30	36	39	11	37	63	81	3665	59	103
Pentene	62	57	36	40	102	41	60	47	97	210	69	77

Tabelle 44: Monatsmaxima, VOC auf dem Brotjacklriegel für 2002 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ethan	2089	2394	2509	2532	1799	1371	1287	1757	1560	1933	1631	3153
Ethen	1627	803	855	541	338	337	270	642	858	1087	1060	2402
Propan	1320	1598	1210	963	608	355	368	490	640	744	641	1775
Propen	306	115	84	86	54	86	68	143	190	155	205	570
Ethin	2046	1457	1661	1136	659	360	376	483	761	1498	1053	2038
i-Butan	325	702	280	207	133	125	100	157	268	215	184	584
n-Butan	601	678	488	426	207	200	373	245	312	361	421	963
trans-2-Buten	8	9	8	11	8	27	8	12	14	18	13	22
1-Buten	61	34	28	25	19	33	25	38	43	40	41	112
i-Buten	154	116	109	124	108	118	130	322	208	132	238	188
cis-2-Buten	15	16	13	10	14	21	9	16	16	24	14	25
i-Pentan	545	280	287	312	174	183	168	229	431	693	271	639
n-Pentan	286	162	189	150	103	104	119	127	344	357	151	324
Butadien 1,3	30	12	16	5	5	4	6	11	22	24	18	67
tr-2-Penten	9	8	6	6	7	4	6	6	58	19	18	20
cis-2-Penten	6	7	5	7	8	5	4	6	35	10	10	11
2-Methylpentan	166	86	84	68	47	59	53	57	472	201	79	204
3-Methylpentan	87	47	42	40	26	28	28	33	304	109	46	111
Isopren	25	25	54	42	264	996	1578	968	381	89	90	40
n-Hexan	85	57	57	44	30	31	33	-	195	67	48	127
n-Heptan	61	23	25	21	13	32	16	19	35	53	20	55
Benzol	519	319	376	250	160	117	123	177	210	299	253	507
Toluol	608	213	212	208	159	143	146	233	1002	903	202	578
Ethylbenzol	94	31	36	32	20	20	22	24	52	55	30	74
m/p-Xylool	256	70	57	61	46	34	70	37	137	124	86	207
o-Xylool	90	31	24	23	15	5	19	30	42	40	21	68
Pentene	53	45	36	36	41	33	33	44	275	67	74	81

Tabelle 45: Monatsmaxima, VOC auf der Zugspitze für 2002 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ethan	-	-	-	-	-	-	886	1061	1378	1577	1596	1654
Ethen	-	-	-	-	-	-	245	312	431	192	400	417
Propan	-	-	-	-	-	-	273	253	334	614	643	1055
Propen	-	-	-	-	-	-	82	61	79	57	113	113
Ethin	-	-	-	-	-	-	288	234	494	543	493	686
i-Butan	-	-	-	-	-	-	90	119	103	145	252	203
n-Butan	-	-	-	-	-	-	112	151	135	231	290	333
trans-2-Buten	-	-	-	-	-	-	25	12	10	7	11	10
1-Buten	-	-	-	-	-	-	26	23	27	19	27	40
i-Buten	-	-	-	-	-	-	151	364	230	92	142	172
cis-2-Buten	-	-	-	-	-	-	23	10	12	11	15	15
i-Pentan	-	-	-	-	-	-	135	121	132	124	147	148
n-Pentan	-	-	-	-	-	-	67	131	83	390	95	173
Butadien 1,3	-	-	-	-	-	-	47	5	13	9	11	6
tr-2-Penten	-	-	-	-	-	-	4	5	5	7	9	10
cis-2-Penten	-	-	-	-	-	-	13	4	3	5	4	11
2-Methylpentan	-	-	-	-	-	-	35	30	65	30	42	169
3-Methylpentan	-	-	-	-	-	-	18	18	35	17	25	115
Isopren	-	-	-	-	-	-	34	46	33	14	13	24
n-Hexan	-	-	-	-	-	-	17	-	24	24	30	288
n-Heptan	-	-	-	-	-	-	15	17	129	12	17	15
Benzol	-	-	-	-	-	-	71	72	132	156	127	155
Toluol	-	-	-	-	-	-	117	356	119	120	154	103
Ethylbenzol	-	-	-	-	-	-	17	16	13	11	22	14
m/p-Xylool	-	-	-	-	-	-	52	34	37	37	54	39
o-Xylool	-	-	-	-	-	-	17	4	12	9	25	11
Pentene	-	-	-	-	-	-	33	43	25	39	43	56

## 2.1.5 PeroxyacetylNitrat (PAN)

Ähnlich wie Ozon wird auch PAN nicht direkt emittiert, sondern es bildet sich aus den Vorläufern ( $\text{NO}_x$ , VOC) unter dem Einfluss der kurzweligen Sonnenstrahlung. PAN ( $\text{CH}_3\text{COO}_2\text{NO}_2$ ) wird seit Mitte 1994 an drei UBA-Stationen Zingst, Waldhof und Schauinsland gemessen. In Tabelle 46 und Tabelle 47 sind die Monatsmittel der PAN-Konzentrationen von 1994 bis 2002 und in Tabelle 48 die Jahresmittel für diesen Zeitraum zusammengestellt. Ähnlich wie bei Ozon treten die höchsten Jahres- (485 ppt) und Monatswerte (642 ppt) an der Bergstation Schauinsland auf. Im Gegensatz zu den mittleren Konzentrationen waren die maximalen Stundenwerte an allen drei Stationen ähnlich. (1 ppt = 0.005  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Im Vergleich zu den Flachlandstationen Zingst und Waldhof sind die Jahres- und Monatsmittel von PAN am Schauinsland in den Frühjahrs- und Sommermonaten wesentlich höher (siehe Abbildung 28). Die mittleren monatlichen Tagesgänge von PAN entsprechen in Waldhof denen von Ozon (siehe Abbildung 29). Auf dem Schauinsland jedoch sind sowohl Jahres- als auch Tagesgang von PAN wesentlich deutlicher als bei Ozon ausgeprägt (siehe Abbildung 30).

Für die stärkeren Konzentrationsunterschiede von PAN gegenüber Ozon zwischen der Bergstation Schauinsland und den Flachlandstationen Zingst und Waldhof sind möglicherweise auch die niedrigeren Temperaturen und damit eine höhere Stabilität von PAN an der Bergstation verantwortlich. Infolge der höheren Stabilität bei niedrigen Temperaturen kann PAN über große Entferungen transportiert werden. Bei Erwärmung zerfällt es wieder in seine Bestandteile, wobei  $\text{NO}_x$  freigesetzt wird. PAN wird, im Gegensatz zum bodennahen Ozon, ausschließlich photochemisch innerhalb der Troposphäre gebildet, wovon ein Teil aus der Stratosphäre stammt.

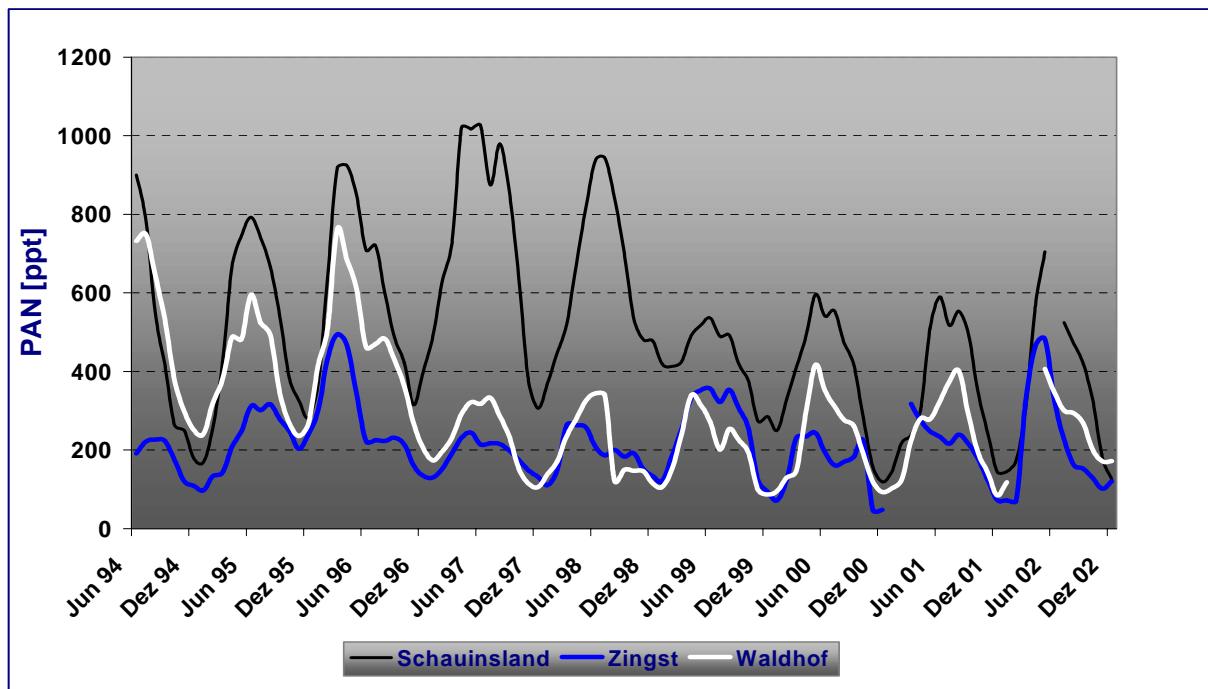


Abbildung 28: Gleitende Monatsmittel von Peroxyacetyl Nitrat von Juni 1994 bis Dezember 2002 an den Stationen Zingst, Waldhof und Schauinsland in ppt.

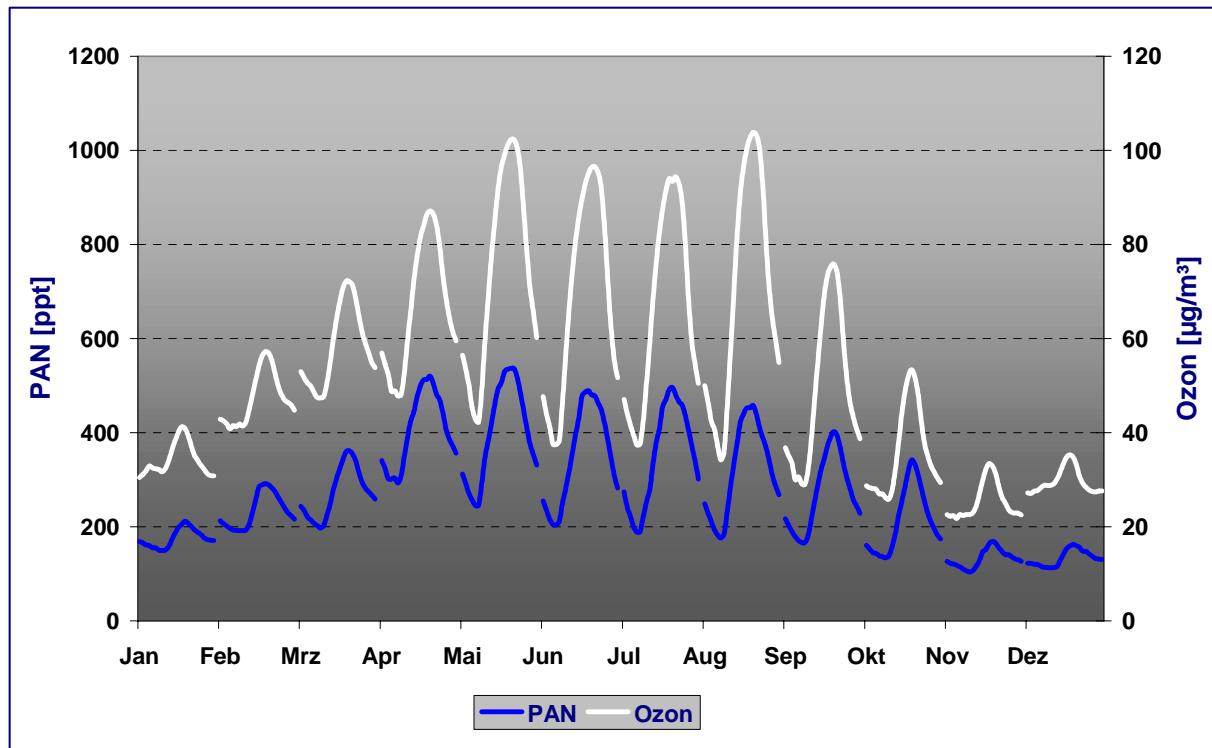


Abbildung 29: Mittlere monatliche Tagesgänge von Peroxyacetylinitrat und Ozon in Waldhof, gemittelt über den Zeitraum 1995 bis 2002.

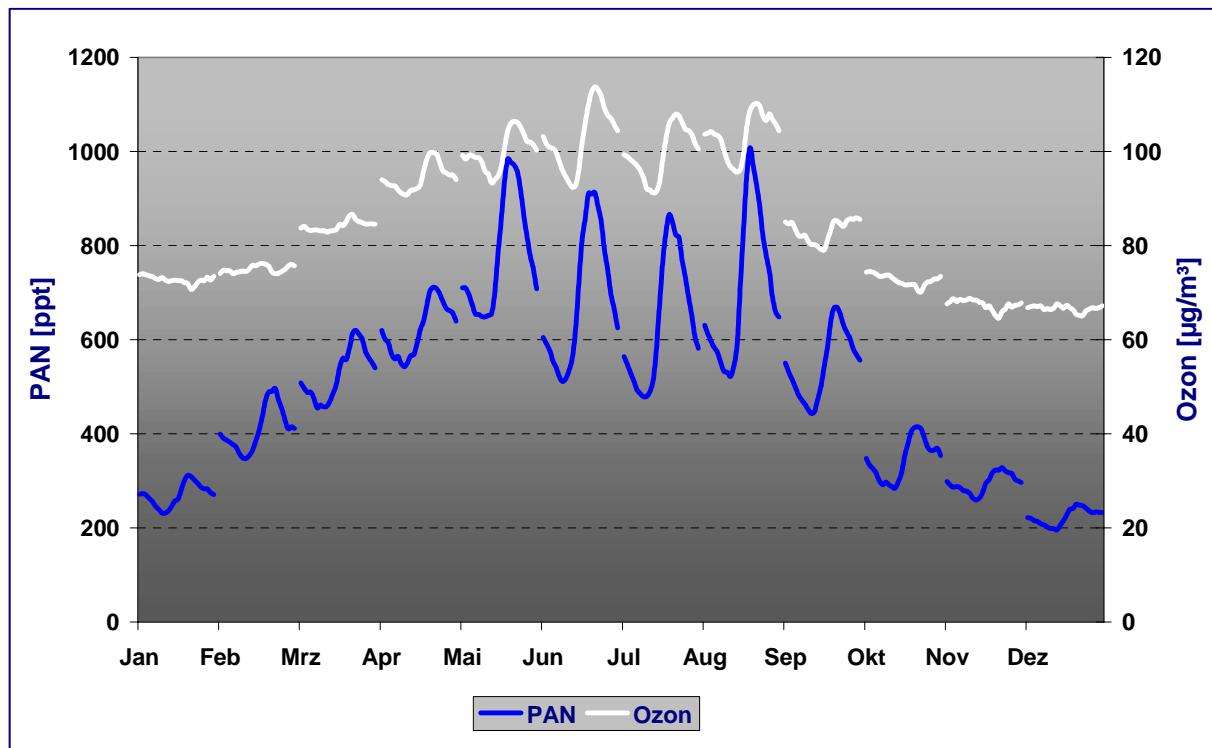


Abbildung 30: Mittlere monatliche Tagesgänge von Peroxyacetylinitrat und Ozon auf dem Schauinsland, gemittelt über den Zeitraum 1995 bis 2002.

Tabelle 46: Monatsmittel von Peroxyacetylinitrat für den Zeitraum 1994 bis 1999 für Zingst, Waldhof und Schauinsland in ppt

	<b>Zingst</b>	<b>Waldhof</b>	<b>Schauins- land</b>		<b>Zingst</b>	<b>Waldhof</b>	<b>Schauins- land</b>
<b>Jan 94</b>	-	-	-	<b>Jan 97</b>	150.4	184.0	522.5
<b>Feb 94</b>	-	-	-	<b>Feb 97</b>	121.9	138.7	664.5
<b>Mrz 94</b>	-	-	-	<b>Mrz 97</b>	185.1	266.2	701.7
<b>Apr 94</b>	-	-	-	<b>Apr 97</b>	270.3	290.5	819.0
<b>Mai 94</b>	-	-	1016.7	<b>Mai 97</b>	236.7	317.9	1541.5
<b>Jun 94</b>	-	-	929.3	<b>Jun 97</b>	227.4	356.5	689.6
<b>Jul 94</b>	191.5	732.1	755.3	<b>Jul 97</b>	178.9	278.3	847.0
<b>Aug 94</b>	251.0	766.1	671.1	<b>Aug 97</b>	245.5	364.8	1087.2
<b>Sep 94</b>	237.6	430.7	209.1	<b>Sep 97</b>	220.4	214.6	1002.2
<b>Okt 94</b>	179.0	395.9	364.1	<b>Okt 97</b>	129.6	121.5	480.1
<b>Nov 94</b>	108.3	309.0	219.3	<b>Nov 97</b>	173.3	120.1	428.8
<b>Dez 94</b>	73.3	190.3	166.0	<b>Dez 97</b>	142.0	101.8	223.5
<b>Jan 95</b>	144.7	254.2	151.1	<b>Jan 98</b>	78.6	94.3	265.3
<b>Feb 95</b>	73.4	275.0	188.4	<b>Feb 98</b>	-	220.1	623.8
<b>Mrz 95</b>	181.3	428.1	427.1	<b>Mrz 98</b>	219.4	197.5	451.3
<b>Apr 95</b>	173.1	434.9	651.8	<b>Apr 98</b>	307.1	288.9	487.1
<b>Mai 95</b>	269.6	597.2	921.6	<b>Mai 98</b>	-	349.4	1076.1
<b>Jun 95</b>	301.8	415.6	665.1	<b>Jun 98</b>	208.2	338.8	890.3
<b>Jul 95</b>	363.9	771.5	789.3	<b>Jul 98</b>	-	-	847.2
<b>Aug 95</b>	238.0	383.9	769.1	<b>Aug 98</b>	164.5	-	1091.8
<b>Sep 95</b>	346.9	321.9	438.7	<b>Sep 98</b>	235.9	121.7	587.4
<b>Okt 95</b>	250.1	329.2	415.3	<b>Okt 98</b>	147.8	178.4	424.3
<b>Nov 95</b>	148.1	153.7	296.2	<b>Nov 98</b>	193.3	141.1	595.2
<b>Dez 95</b>	211.9	223.2	266.5	<b>Dez 98</b>	114.1	118.8	423.9
<b>Jan 96</b>	359.9	424.1	283.1	<b>Jan 99</b>	93.4	84.2	412.8
<b>Feb 96</b>	332.1	596.9	553.6	<b>Feb 99</b>	156.8	115.9	-
<b>Mrz 96</b>	608.2	-	1088.1	<b>Mrz 99</b>	306.8	255.3	-
<b>Apr 96</b>	542.2	924.7	1110.4	<b>Apr 99</b>	296.7	349.1	425.6
<b>Mai 96</b>	256.8	448.3	576.4	<b>Mai 99</b>	391.8	410.3	554.2
<b>Jun 96</b>	233.8	460.1	862.3	<b>Jun 99</b>	367.4	186.5	571.3
<b>Jul 96</b>	176.8	479.5	687.8	<b>Jul 99</b>	309.6	218.1	483.3
<b>Aug 96</b>	264.5	-	612.8	<b>Aug 99</b>	290.0	198.8	414.0
<b>Sep 96</b>	227.0	486.8	494.2	<b>Sep 99</b>	459.0	343.4	578.1
<b>Okt 96</b>	201.7	371.2	352.2	<b>Okt 99</b>	169.3	133.5	263.3
<b>Nov 96</b>	-	231.6	-	<b>Nov 99</b>	135.8	102.3	284.8
<b>Dez 96</b>	117.8	198.3	277.7	<b>Dez 99</b>	64.5	60.4	-

Tabelle 47: Monatsmittel von Peroxyacetylinitrat für den Zeitraum 2000 bis 2002 für Zingst, Waldhof und Schauinsland in ppt

	<b>Zingst</b>	<b>Waldhof</b>	<b>Schauins- land</b>		<b>Zingst</b>	<b>Waldhof</b>	<b>Schauins- land</b>
<b>Jan 00</b>	79.3	97.3	-	<b>Jan 02</b>	71.9	118.1	162.0
<b>Feb 00</b>	-	129.2	249.9	<b>Feb 02</b>	-	-	185.4
<b>Mrz 00</b>	169.3	163.0	407.7	<b>Mrz 02</b>	325.3	-	432.0
<b>Apr 00</b>	291.6	-	569.7	<b>Apr 02</b>	607.2	468.7	704.6
<b>Mai 00</b>	241.6	427.7	491.0	<b>Mai 02</b>	356.9	343.6	-
<b>Jun 00</b>	197.0	406.1	726.0	<b>Jun 02</b>	292.8	349.5	535.3
<b>Jul 00</b>	143.9	219.6	404.9	<b>Jul 02</b>	161.7	252.1	513.1
<b>Aug 00</b>	142.4	307.7	530.3	<b>Aug 02</b>	162.5	334.6	429.1
<b>Sep 00</b>	222.8	301.5	485.0	<b>Sep 02</b>	141.6	200.2	409.8
<b>Okt 00</b>	-	175.0	235.9	<b>Okt 02</b>	114.9	-	243.2
<b>Nov 00</b>	-	91.5	124.7	<b>Nov 02</b>	88.0	-	120.2
<b>Dez 00</b>	47.7	93.7	113.2	<b>Dez 02</b>	153.0	171.5	129.1
<b>Jan 01</b>	-	111.3	177.2				
<b>Feb 01</b>	-	136.0	257.9				
<b>Mrz 01</b>	317.4	312.4	219.1				
<b>Apr 01</b>	232.4	248.5	385.1				
<b>Mai 01</b>	262.9	308.4	634.9				
<b>Jun 01</b>	204.3	340.1	545.0				
<b>Jul 01</b>	227.8	408.5	488.4				
<b>Aug 01</b>	250.5	393.6	618.5				
<b>Sep 01</b>	181.0	187.3	370.9				
<b>Okt 01</b>	175.1	201.3	325.9				
<b>Nov 01</b>	72.7	84.5	161.3				
<b>Dez 01</b>	72.6	-	128.5				

Tabelle 48: Jahresmittel von Peroxyacetylinitrat für den Zeitraum 1994 bis 2002 für Zingst, Waldhof und Schauinsland in ppt

	<b>Zingst</b>	<b>Waldhof</b>	<b>Schauins- land</b>
<b>1995</b>	<b>227</b>	<b>379</b>	<b>499</b>
<b>1996</b>	<b>302</b>	<b>460</b>	<b>629</b>
<b>1997</b>	<b>190</b>	<b>230</b>	<b>747</b>
<b>1998</b>	<b>185</b>	<b>202</b>	<b>637</b>
<b>1999</b>	<b>254</b>	<b>204</b>	<b>451</b>
<b>2000</b>	<b>165</b>	<b>221</b>	<b>384</b>
<b>2001</b>	<b>201</b>	<b>247</b>	<b>352</b>
<b>2002</b>	<b>222</b>	<b>275</b>	<b>355</b>

## 2.1.6 Carbonyle

Seit Januar 2000 werden entsprechend dem EMEP-Protokoll im Messnetz des UBA an den 5 Messstellen Zingst, Waldhof, Schmücke; Brotjacklriegel und auf der Zugspitze im Schneefernerhaus neben den VOC auch Carbonyle erfasst. Die Probenahme erfolgt – ähnlich wie bei den VOC – ebenfalls zweimal pro Woche, jeweils am Montag und Donnerstag von 8:00 bis 16:00 Uhr MEZ. Die Analysen der in Kartuschen gesammelten Proben erfolgt im Berliner Wasserlabor des UBA. Neben Formaldehyd ( $\text{HCOH}$ ), Acetaldehyd ( $\text{CH}_3\text{-COH}$ ) und Aceton ( $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$ ) werden zwar noch 12 andere Carbonyle erfasst. Da diese Werte jedoch sehr häufig unter der Nachweisgrenze des z.Zt. verwendeten Analysengerätes liegen, werden sie hier nicht veröffentlicht. Die Analysen erfolgen als Diphenylhydrazone per Hoch-Druck-Flüssig-Chromatographie (HPLC/ High Pressure Liquid Chromatography).

Von 1993 bis 1999 wurden die Proben aus Waldhof beim NILU analysiert. Danach wurden parallel in Waldhof gezogene Proben sowohl beim UBA als auch beim NILU für den Zeitraum vom 4.10.1999 bis 24.8.2000 bestimmt (Ref. 8). Dabei waren die Messergebnisse der vom UBA analysierten Kartuschen bis einschließlich April 2000 meist höher (siehe Abbildung 31 und Abbildung 32) und vor allem bei Aceton zeigten sich zu Beginn hohe Peaks (siehe Abbildung 33). Dies war durch Undichtigkeiten beim Probenahmesystem der UBA-Kartuschen verursacht worden, da auch Raumluft gezogen worden war. Für die Bildung der Monats- und Jahresmittel sowie der Maxima wurden die Acetonpeaks zuvor verworfen.

Die Abbildung 34 bis Abbildung 36 zeigen den Verlauf der Monatsmittel Formaldehyd, Acetaldehyd und Aceton an den 5 Messstellen für Januar 2000 bis Dezember 2002. Die Kurvenverläufe sind an den 5 Messstellen für die 3 Komponenten jeweils recht ähnlich – das Konzentrationsniveau auf dem Brotjacklriegel liegt bei Formaldehyd und Acetaldehyd jedoch weit unterhalb der 3 anderen Stationen. In Tabelle 49 sind die Jahresmittel von 1993 bis 2002 der 3 Carbonyle für die Station Waldhof angegeben. In Tabelle 50 bis Tabelle 54 sind die Monats- und Jahresmittel der 3 Carbonyle für die 5 Messstellen von 2000 bis 2002 aufgelistet, in Tabelle 55 bis Tabelle 59 die jeweiligen monatlichen Maxima.

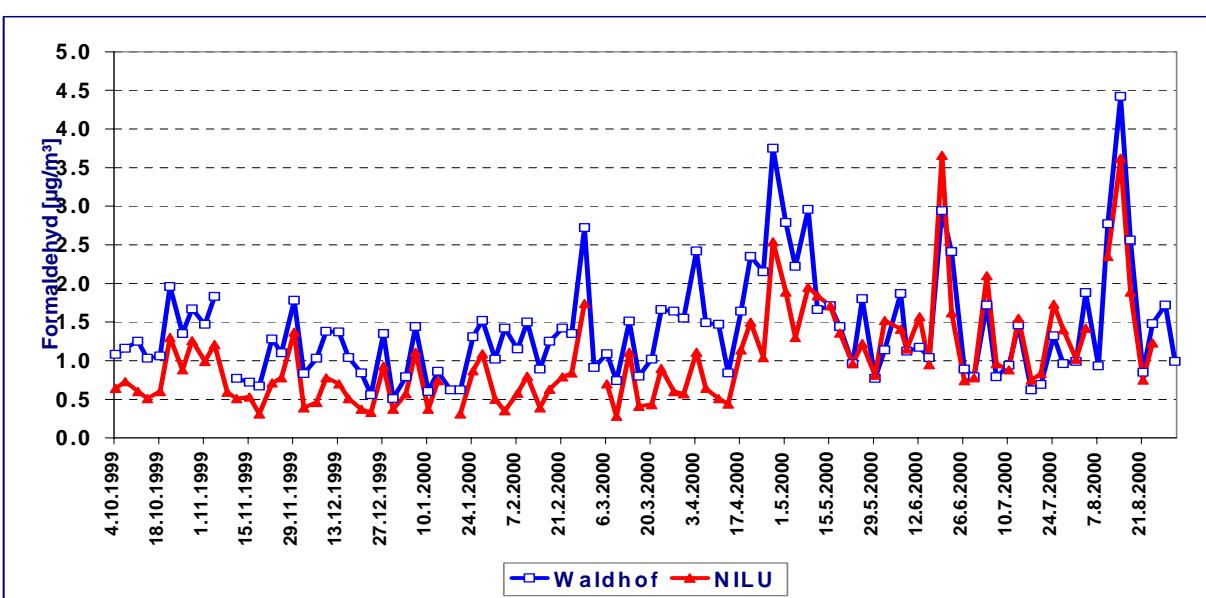


Abbildung 31: Vergleichsmessungen von Formaldehyd in Waldhof mit parallelen Analysen beim UBA und beim NILU vom 4.10.1999 bis 24.8.2000

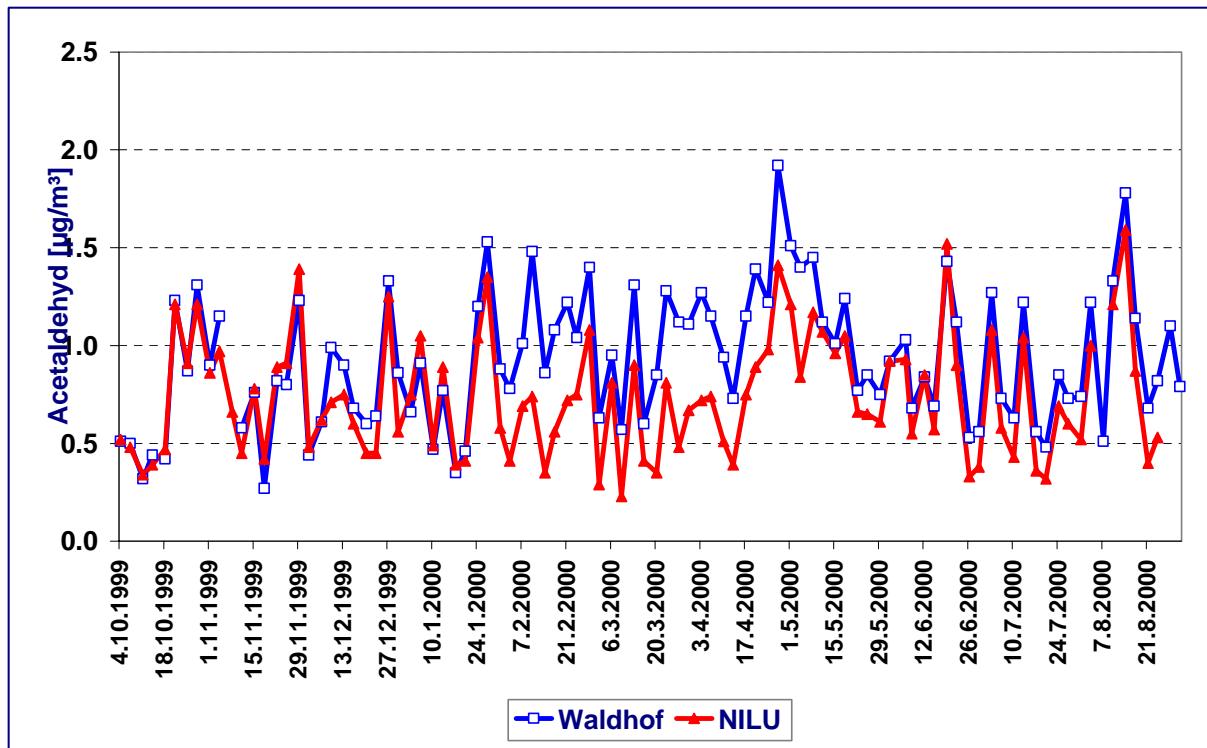


Abbildung 32: Vergleichsmessungen von Acetaldehyd in Waldhof mit parallelen Analysen beim UBA und beim NILU vom 4.10.1999 bis 24.8.2000

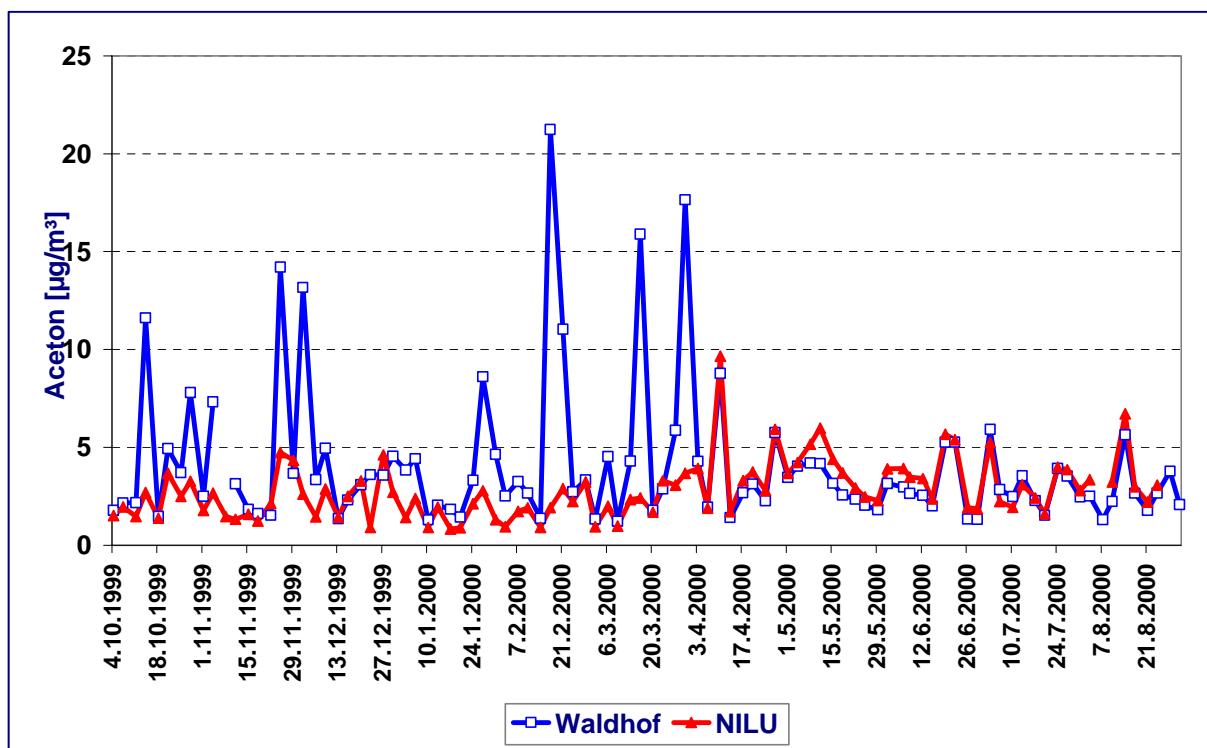


Abbildung 33: Vergleichsmessungen von Aceton in Waldhof mit parallelen Analysen beim UBA und beim NILU vom 4.10.1999 bis 24.8.2000

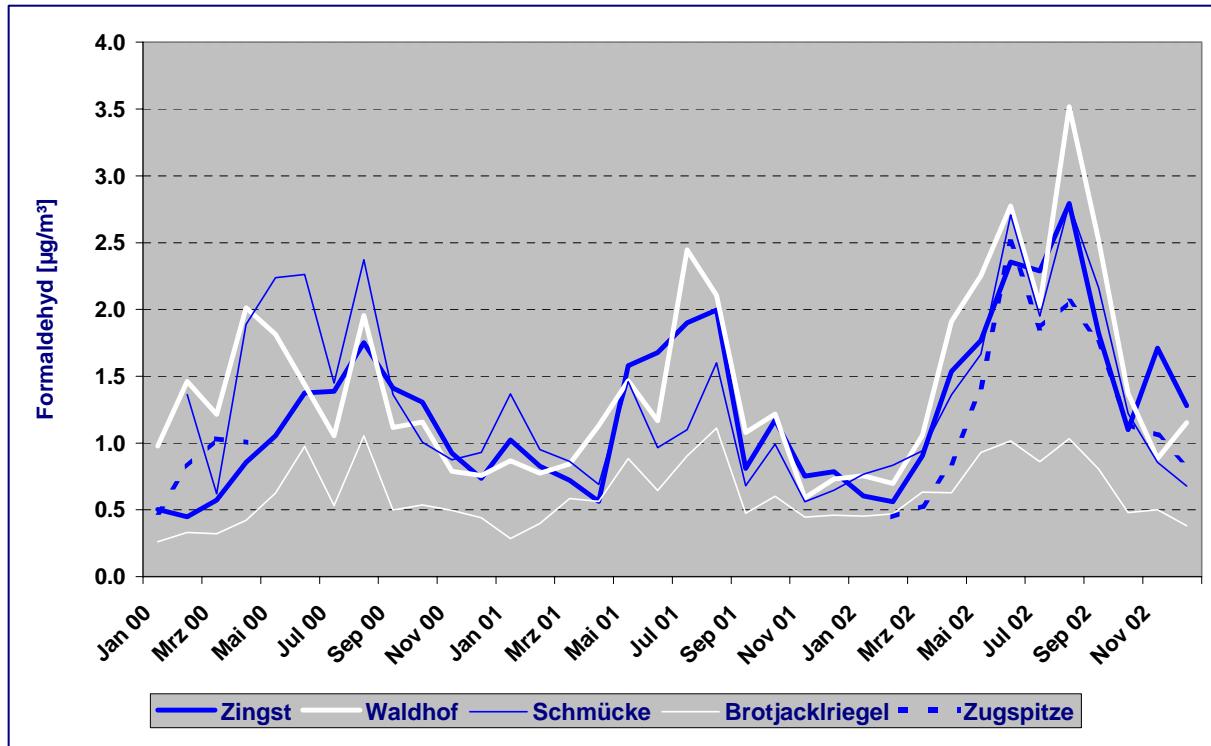


Abbildung 34: Verlauf der Monatsmittel von Formaldehyd in Zingst, Waldhof, auf der Schmücke; dem Brotjacklriegel und der Zugspitze für den Zeitraum Januar 2000 bis Dezember 2002

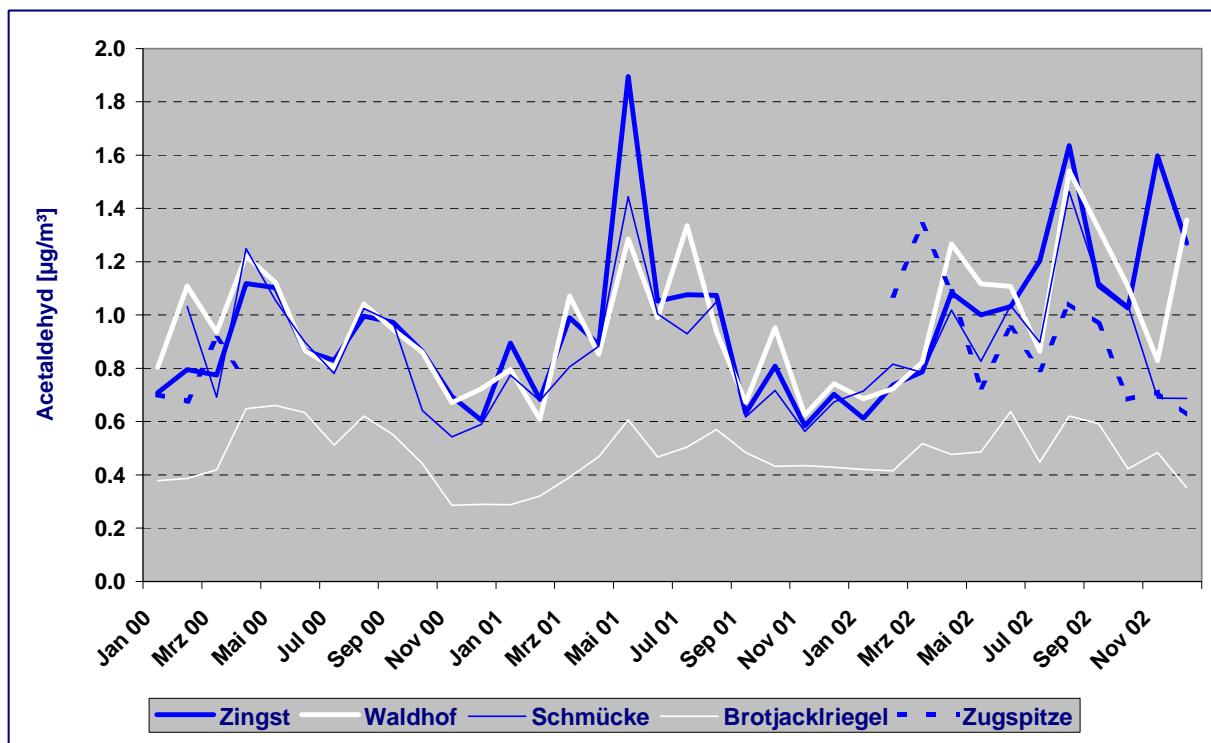


Abbildung 35: Verlauf der Monatsmittel von Acetaldehyd in Zingst, Waldhof, auf der Schmücke, dem Brotjacklriegel und der Zugspitze für den Zeitraum Januar 2000 bis Dezember 2002

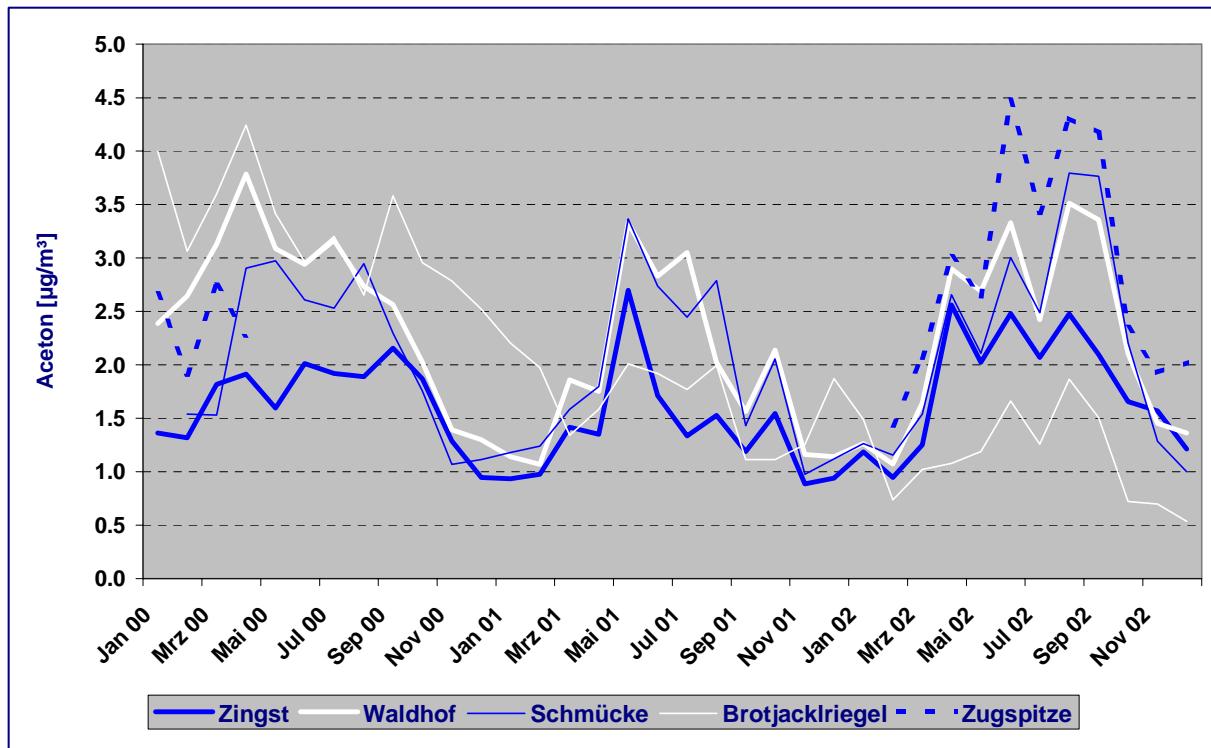


Abbildung 36: Verlauf der Monatsmittel von Aceton in Zingst, Waldhof, auf der Schmücke, dem Brotjacklriegel und der Zugspitze für den Zeitraum Januar 2000 bis Dezember 2002

Tabelle 49: Jahresmittel von Formaldehyd, Acetaldehyd und Aceton in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für 1993 bis 2002 in Waldhof (von 1993 bis 1998 beim NILU analysiert).

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
<b>Formaldehyd</b>	1.25	1.48	1.98	1.56	1.61	1.49	1.47	1.311	1.211	1.757
<b>Acetaldehyd</b>	0.61	0.69	0.82	0.72	0.88	0.99	0.91	0.922	0.911	1.069
<b>Aceton</b>	2.40	4.30	4.90	-	4.10	4.00	3.80	2.591	1.932	2.273

Tabelle 50: Monats- und Jahresmittel von Formaldehyd, Acetaldehyd und Aceton in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für Januar 2000 bis Dezember 2002 in Zingst.

Komp.	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
	<b>2000</b>												
<b>Formald.</b>	0.503	0.448	0.572	0.856	1.054	1.375	1.386	1.751	1.411	1.305	0.924	0.736	1.038
<b>Acetald.</b>	0.709	0.795	0.775	1.119	1.103	0.867	0.830	0.996	0.973	0.863	0.694	0.605	0.860
<b>Aceton</b>	1.364	1.315	1.819	1.914	1.596	2.013	1.919	1.890	2.156	1.868	1.287	0.947	1.683
	<b>2001</b>												
<b>Formald.</b>	1.023	0.826	0.721	0.563	1.577	1.678	1.899	1.995	0.809	1.171	0.751	0.785	1.155
<b>Acetald.</b>	0.895	0.684	0.990	0.888	1.896	1.052	1.076	1.074	0.632	0.808	0.583	0.702	0.947
<b>Aceton</b>	0.933	0.976	1.416	1.350	2.699	1.712	1.335	1.528	1.188	1.543	0.887	0.941	1.382
	<b>2002</b>												
<b>Formald.</b>	0.603	0.560	0.903	1.537	1.769	2.356	2.289	2.793	1.822	1.100	1.710	1.279	1.567
<b>Acetald.</b>	0.612	0.738	0.787	1.083	1.001	1.031	1.204	1.636	1.110	1.025	1.598	1.270	1.094
<b>Aceton</b>	1.187	0.946	1.251	2.559	2.024	2.480	2.071	2.477	2.097	1.658	1.568	1.214	1.785

Tabelle 51: Monats- und Jahresmittel von Formaldehyd, Acetaldehyd und Aceton in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für Januar 2000 bis Dezember 2002 in Waldhof.

Komp.	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
	<b>2000</b>												
<b>Formald.</b>	0.977	1.462	1.213	2.013	1.812	1.437	1.054	1.955	1.117	1.158	0.788	0.757	1.311
<b>Acetald.</b>	0.803	1.108	0.936	1.222	1.122	0.867	0.801	1.041	0.946	0.860	0.671	0.723	0.922
<b>Aceton</b>	2.388	2.643	3.130	3.784	3.087	2.941	3.164	2.734	2.564	2.023	1.392	1.301	2.591
	<b>2001</b>												
<b>Formald.</b>	0.867	0.773	0.842	1.131	1.465	1.167	2.446	2.106	1.078	1.217	0.588	0.731	1.211
<b>Acetald.</b>	0.795	0.608	1.071	0.853	1.285	0.990	1.335	0.937	0.673	0.952	0.624	0.742	0.911
<b>Aceton</b>	1.139	1.069	1.859	1.752	3.330	2.829	3.050	2.021	1.565	2.138	1.162	1.141	1.932
	<b>2002</b>												
<b>Formald.</b>	0.756	0.696	1.056	1.910	2.253	2.774	2.028	3.517	2.515	1.369	0.884	1.153	1.757
<b>Acetald.</b>	0.686	0.723	0.822	1.267	1.117	1.107	0.864	1.541	1.323	1.106	0.828	1.356	1.069
<b>Aceton</b>	1.262	1.071	1.644	2.899	2.690	3.329	2.422	3.512	3.357	2.102	1.452	1.361	2.273

Tabelle 52: Monats- und Jahresmittel von Formaldehyd, Acetaldehyd und Aceton in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für Januar 2000 bis Dezember 2002 auf der Schmücke.

Komp.	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
	<b>2000</b>												
<b>Formald.</b>	-	1.362	0.620	1.888	2.237	2.261	1.449	2.371	1.364	1.005	0.874	0.929	1.497
<b>Acetald.</b>	-	1.031	0.691	1.249	1.055	0.900	0.780	1.024	0.973	0.641	0.542	0.589	0.850
<b>Aceton</b>	-	1.538	1.531	2.904	2.973	2.607	2.529	2.947	2.299	1.754	1.068	1.113	2.147
	<b>2001</b>												
<b>Formald.</b>	1.367	0.951	0.861	0.688	1.457	0.966	1.099	1.601	0.679	0.992	0.560	0.646	0.996
<b>Acetald.</b>	0.774	0.678	0.806	0.882	1.443	1.004	0.930	1.050	0.617	0.716	0.563	0.674	0.849
<b>Aceton</b>	1.179	1.239	1.584	1.797	3.365	2.736	2.446	2.790	1.431	2.054	0.977	1.119	1.903
	<b>2002</b>												
<b>Formald.</b>	0.766	0.833	0.942	1.360	1.665	2.706	1.951	2.788	2.161	1.223	0.856	0.676	1.500
<b>Acetald.</b>	0.715	0.816	0.784	1.018	0.826	1.035	0.897	1.463	1.124	1.036	0.688	0.687	0.928
<b>Aceton</b>	1.264	1.154	1.537	2.656	2.107	3.003	2.487	3.795	3.766	2.206	1.285	0.999	2.205

Tabelle 53: Monats- und Jahresmittel von Formaldehyd, Acetaldehyd und Aceton in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für Januar 2000 bis Dezember 2002 auf dem Brotjacklriegel.

Komp.	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
	<b>2000</b>												
<b>Formald.</b>	0.261	0.330	0.321	0.421	0.625	0.976	0.533	1.054	0.499	0.535	0.495	0.440	0.545
<b>Acetald.</b>	0.379	0.387	0.419	0.648	0.660	0.634	0.511	0.621	0.551	0.442	0.285	0.290	0.486
<b>Aceton</b>	3.999	3.065	3.599	4.244	3.413	2.966	3.202	2.653	3.582	2.956	2.785	2.522	3.245
	<b>2001</b>												
<b>Formald.</b>	0.283	0.397	0.584	0.563	0.884	0.645	0.902	1.111	0.473	0.600	0.445	0.460	0.617
<b>Acetald.</b>	0.288	0.321	0.391	0.468	0.606	0.467	0.504	0.570	0.484	0.433	0.434	0.428	0.450
<b>Aceton</b>	2.205	1.972	1.343	1.585	2.009	1.918	1.770	1.995	1.115	1.113	1.255	1.872	1.678
	<b>2002</b>												
<b>Formald.</b>	0.453	0.468	0.633	0.627	0.928	1.016	0.859	1.033	0.804	0.478	0.501	0.380	0.683
<b>Acetald.</b>	0.420	0.415	0.517	0.477	0.487	0.637	0.448	0.621	0.592	0.423	0.484	0.351	0.489
<b>Aceton</b>	1.486	0.736	1.020	1.077	1.189	1.661	1.257	1.866	1.507	0.721	0.698	0.537	1.151

Tabelle 54: Monats- und Jahresmittel von Formaldehyd, Acetaldehyd und Aceton in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für Januar 2000 bis Dezember 2002 auf der Zugspitze.

Komp.	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
	<b>2000</b>												
<b>Formald.</b>	0.481	0.822	1.031	1.004	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Acetald.</b>	0.701	0.677	0.912	0.757	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Aceton</b>	2.667	1.911	2.746	2.277	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<b>2001</b>												
<b>Formald.</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Acetald.</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Aceton</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<b>2002</b>												
<b>Formald.</b>	-	0.446	0.528	0.849	1.418	2.504	1.860	2.060	1.750	1.140	1.058	0.836	1.301
<b>Acetald.</b>	-	1.074	1.339	1.088	0.730	0.951	0.794	1.043	0.966	0.684	0.711	0.623	0.920
<b>Aceton</b>	-	1.433	2.068	3.012	2.643	4.479	3.425	4.307	4.171	2.351	1.929	2.021	2.882

Tabelle 55: Monatsmaxima von Formaldehyd, Acetaldehyd und Aceton in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für Januar 2000 bis Dezember 2002 in Zingst.

Komp.	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
	<b>2000</b>											
<b>Formald.</b>	1.445	0.770	1.402	1.786	1.501	2.367	2.723	2.969	2.083	2.531	1.385	1.167
<b>Acetald.</b>	0.884	0.984	1.056	1.625	1.795	1.478	1.454	1.531	1.375	1.542	0.793	0.855
<b>Aceton</b>	2.888	1.92	2.86	3.541	3.416	4.597	2.694	2.844	3.417	2.771	1.698	1.479
	<b>2001</b>											
<b>Formald.</b>	1.896	2.135	1.198	0.935	5.740	3.167	3.106	5.876	1.009	1.804	0.973	1.356
<b>Acetald.</b>	1.719	1.635	1.729	1.396	6.219	1.521	1.729	2.588	0.750	1.223	0.907	0.958
<b>Aceton</b>	1.615	1.688	2.323	1.938	5.969	2.292	1.940	2.110	1.409	2.544	1.205	1.353
	<b>2002</b>											
<b>Formald.</b>	0.814	0.861	2.004	2.676	2.555	4.298	2.940	5.203	3.125	2.925	3.199	2.377
<b>Acetald.</b>	0.946	1.469	1.409	1.858	1.848	1.336	1.596	2.418	1.642	1.716	3.755	2.905
<b>Aceton</b>	2.324	1.207	2.581	3.754	3.448	4.369	2.797	5.152	3.203	3.186	4.057	1.830

Tabelle 56: Monatsmaxima von Formaldehyd, Acetaldehyd und Aceton in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für Januar 2000 bis Dezember 2002 in Waldhof.

Komp.	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
	<b>2000</b>											
<b>Formald.</b>	1.521	2.721	1.657	3.747	2.964	2.495	1.721	4.417	1.667	2.042	1.031	0.945
<b>Acetald.</b>	1.528	1.480	1.308	1.920	1.506	1.434	1.272	1.781	1.344	1.271	0.800	1.323
<b>Aceton</b>	4.424	3.33	5.87	8.776	4.195	5.263	5.906	5.625	3.833	4.510	1.698	1.646
	<b>2001</b>											
<b>Formald.</b>	1.229	1.094	1.313	3.042	2.135	1.573	7.811	5.584	1.925	2.602	1.011	0.998
<b>Acetald.</b>	1.260	0.969	1.865	1.073	1.781	1.542	3.293	1.817	1.128	1.689	0.852	1.057
<b>Aceton</b>	1.781	1.531	2.833	3.115	4.854	4.385	5.632	3.586	2.164	3.770	1.508	1.738
	<b>2002</b>											
<b>Formald.</b>	1.143	1.479	1.866	5.641	3.573	4.396	4.493	5.603	4.826	3.803	1.073	2.151
<b>Acetald.</b>	1.220	1.721	1.351	3.110	1.601	1.683	1.512	2.366	2.193	2.693	1.002	3.457
<b>Aceton</b>	2.278	1.931	3.010	4.750	4.670	4.281	4.624	5.135	5.543	4.722	2.006	2.742

Tabelle 57: Monatsmaxima von Formaldehyd, Acetaldehyd und Aceton in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für Januar 2000 bis Dezember 2002 auf der Schmücke.

Komp.	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
	<b>2000</b>											
<b>Formald.</b>	-	2.027	1.239	3.663	3.270	4.116	1.967	3.865	2.260	1.323	1.240	1.208
<b>Acetald.</b>	-	1.263	1.299	1.925	1.577	1.465	0.915	1.385	1.427	0.869	0.706	0.851
<b>Aceton</b>	-	2.209	3.913	5.428	4.400	4.448	2.915	5.427	3.448	3.177	1.292	1.646
	<b>2001</b>											
<b>Formald.</b>	3.500	1.604	1.729	1.177	4.094	1.406	1.424	2.767	0.919	1.831	0.923	0.908
<b>Acetald.</b>	1.667	1.177	1.802	1.365	3.313	1.333	1.333	1.730	0.849	1.189	0.843	0.917
<b>Aceton</b>	2.552	2.042	2.375	3.438	6.969	4.156	3.744	4.505	1.967	5.991	1.449	1.633
	<b>2002</b>											
<b>Formald.</b>	1.170	2.289	2.087	1.722	2.381	5.788	3.659	4.139	4.505	2.932	1.208	1.401
<b>Acetald.</b>	1.053	2.021	1.355	1.439	1.079	1.678	1.244	2.070	1.860	1.750	1.038	1.431
<b>Aceton</b>	1.702	2.381	3.293	3.563	3.417	5.145	4.337	5.837	7.017	6.549	1.853	1.785

Tabelle 58: Monatsmaxima von Formaldehyd, Acetaldehyd und Aceton in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für Januar 2000 bis Dezember 2002 auf dem Brotjacklriegel.

Komp.	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
	<b>2000</b>											
<b>Formald.</b>	0.564	0.661	0.788	0.704	1.013	2.298	0.777	2.417	1.094	0.931	0.719	0.552
<b>Acetald.</b>	0.506	0.584	0.729	0.804	1.026	1.128	0.725	0.970	0.747	0.704	0.384	0.509
<b>Aceton</b>	6.590	4.549	5.115	5.478	5.986	4.376	4.886	5.260	6.510	4.854	6.771	4.375
	<b>2001</b>											
<b>Formald.</b>	0.492	0.697	0.983	1.063	1.260	0.878	1.280	2.136	0.735	0.793	0.822	0.658
<b>Acetald.</b>	0.493	0.541	0.817	0.975	0.776	0.661	0.645	0.865	1.237	0.579	0.662	0.610
<b>Aceton</b>	3.563	3.854	2.615	3.406	2.438	2.656	2.894	3.123	1.731	1.567	1.984	3.137
	<b>2002</b>											
<b>Formald.</b>	0.837	1.090	1.131	0.782	1.881	1.685	1.388	1.367	1.278	0.763	0.688	0.572
<b>Acetald.</b>	0.636	0.732	0.785	0.659	0.767	1.135	0.613	0.706	0.760	0.664	0.588	0.552
<b>Aceton</b>	2.033	1.214	1.819	1.541	2.219	2.140	1.985	2.363	2.409	1.045	0.922	0.858

Tabelle 59: Monatsmaxima von Formaldehyd, Acetaldehyd und Aceton in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für Januar 2000 bis Dezember 2002 auf der Zugspitze.

Komp.	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
	<b>2000</b>											
<b>Formald.</b>	1.045	2.110	3.120	2.171	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Acetald.</b>	1.539	1.110	2.564	1.383	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Aceton</b>	4.522	3.08	6.34	3.744	-	-	-	-	-	-	-	-
	<b>2001</b>											
<b>Formald.</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Acetald.</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Aceton</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<b>2002</b>											
<b>Formald.</b>	-	0.541	0.695	1.680	1.938	4.415	3.000	3.065	2.721	1.483	1.624	2.524
<b>Acetald.</b>	-	2.203	2.255	1.486	0.891	1.419	1.089	1.494	1.736	0.929	1.281	1.567
<b>Aceton</b>	-	2.613	2.580	3.923	3.337	7.728	5.022	6.556	5.023	3.031	3.406	4.876

## 2.1.7 Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )

Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) ist derzeit mit etwa 50% für den zusätzlichen, anthropogen verursachten Treibhauseffekt verantwortlich. Die wichtigsten anthropogenen Quellen in Deutschland (2001) sind Kraft- und Fernheizwerke mit ca. 39%, gefolgt vom Straßenverkehr mit 19%, Industriefeuerungen (16%) und Haushalten (15%). Der deutsche Beitrag an den weltweiten anthropogenen  $\text{CO}_2$ -Emissionen beträgt gegenwärtig knapp 3%. Er wird in den kommenden Jahren noch weiter zurückgehen. Zwischen 1990 und 2001 haben die  $\text{CO}_2$ -Emissionen in Deutschland um etwa (14%) abgenommen (siehe Abbildung 37).

Seit 1972 werden an 5 Messstationen des UBA (Westerland, Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjacklriegel) kontinuierliche Messungen der atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -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 38 zeigt den Verlauf der  $\text{CO}_2$ -Monatsmittel an der UBA-Station Schauinsland im Vergleich zu globalen Hintergrundstationen von 1968 bis 2001. In Westerland, Neuglobsow, Waldhof, Deuselbach (bis 1990), auf dem Brotjacklriegel, dem Schauinsland und der Zugspitze erfolgen die Messungen mittels Infrarot-Absorption, in Zingst, auf der Schmücke und seit 1997 in Deuselbach mittel Gaschromatographie.

In der Tabelle 60 sind die Monats- und Jahresmittel der  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen und in Tabelle 61 die monatlichen Halbstundenmaxima zusammengestellt. Die monatlichen 50-Perzentilwerte, 98-Perzentilwerte sowie die jährlichen Perzentile sind in Tabelle 62 bis Tabelle 64 zusammengestellt. Generell sind die prozentualen Konzentrationsunterschiede für die unterschiedlichen Perzentile wegen der sehr großen atmosphärischen Lebensdauer dieses Treibhausgases wesentlich geringer als für die reaktiven Gase  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , PAN und VOC. In Tabelle 65 und in Abbildung 39 sind die  $\text{CO}_2$ -Jahresmittelwerte von 1972 bis 2002 aus dem UBA-Messnetz zusammengestellt. Aus diesen Daten lässt sich eine mittlere Zunahme der  $\text{CO}_2$ -Konzentration von etwa 1.5 ppm/Jahr (entspricht etwa 0.4%/Jahr) ableiten.

Ein ausführlicher Beitrag über die atmosphärischen Kreisläufe der Treibhausgase  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  ist im Messnetz-Jahresbericht 1999 des UBA enthalten (Ref. 18).

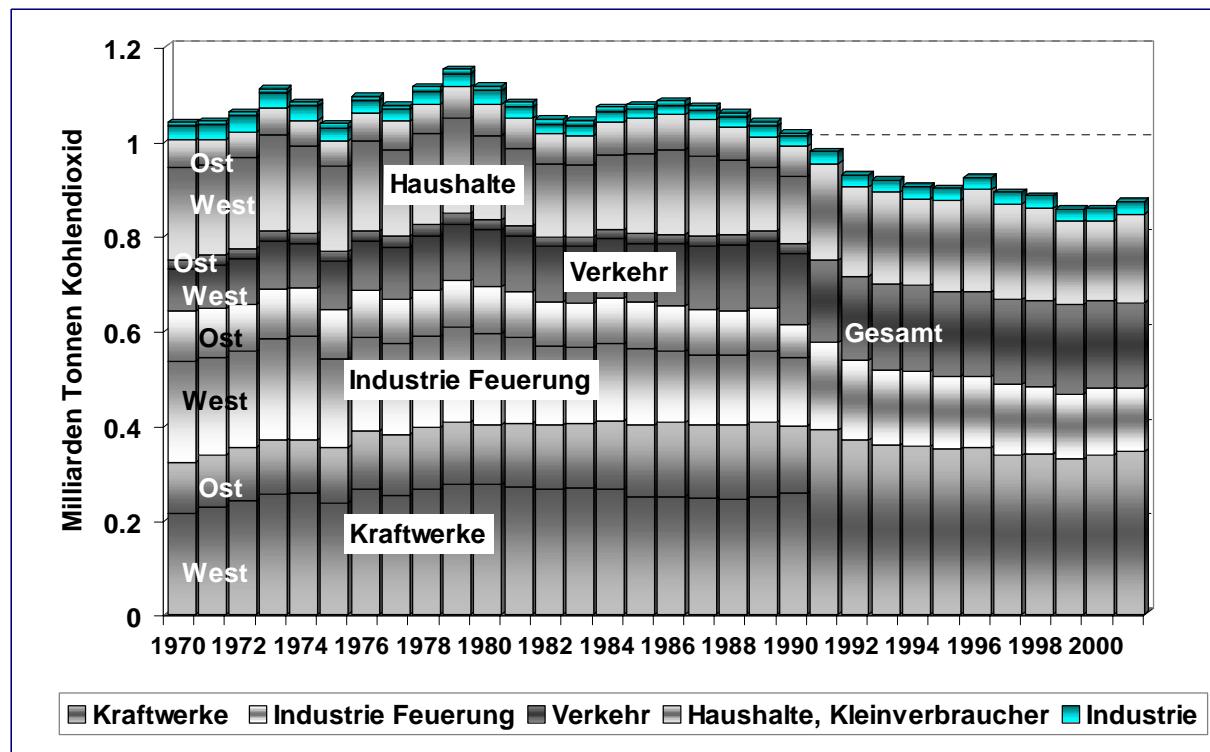


Abbildung 37: Jährliche Kohlendioxid-Emissionen in Deutschland von 1970 bis 2001  
 (Ref. 1, 2)

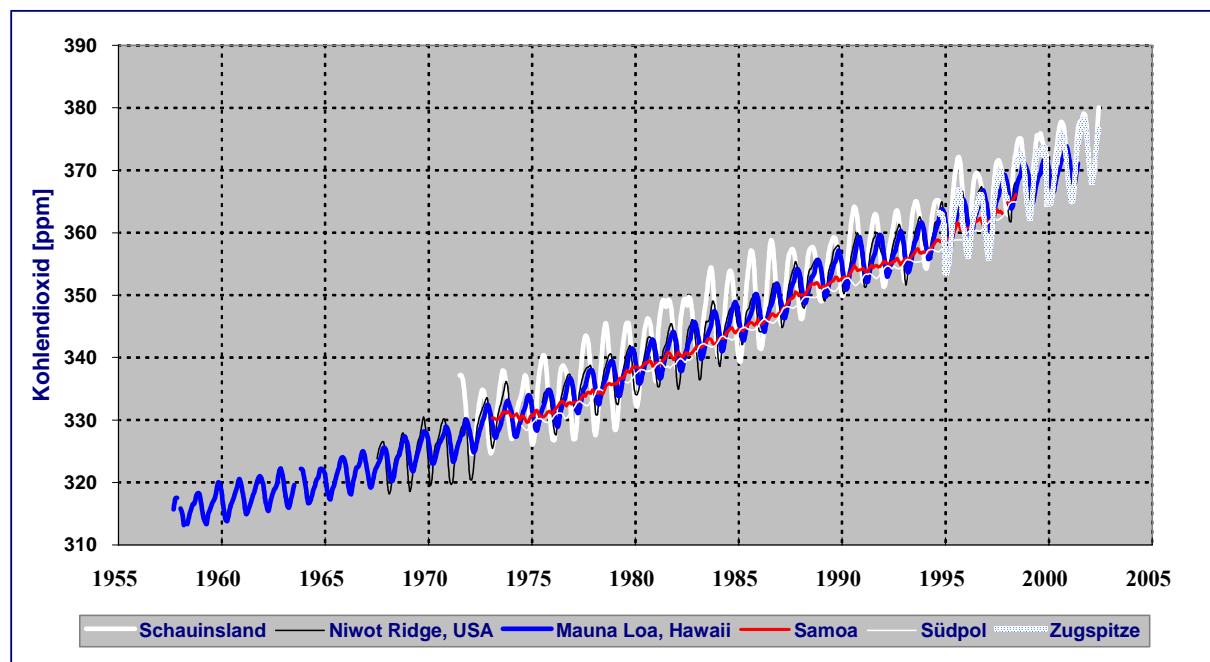


Abbildung 38: Langzeitrend der Monatsmittel der Kohlendioxidkonzentrationen vom Schauinsland und der Zugspitze im Vergleich zu Stationen auf Hawaii (Mauna Loa), in Niwot Ridge (USA), in Samoa und am Südpol von 1958 bis 2002

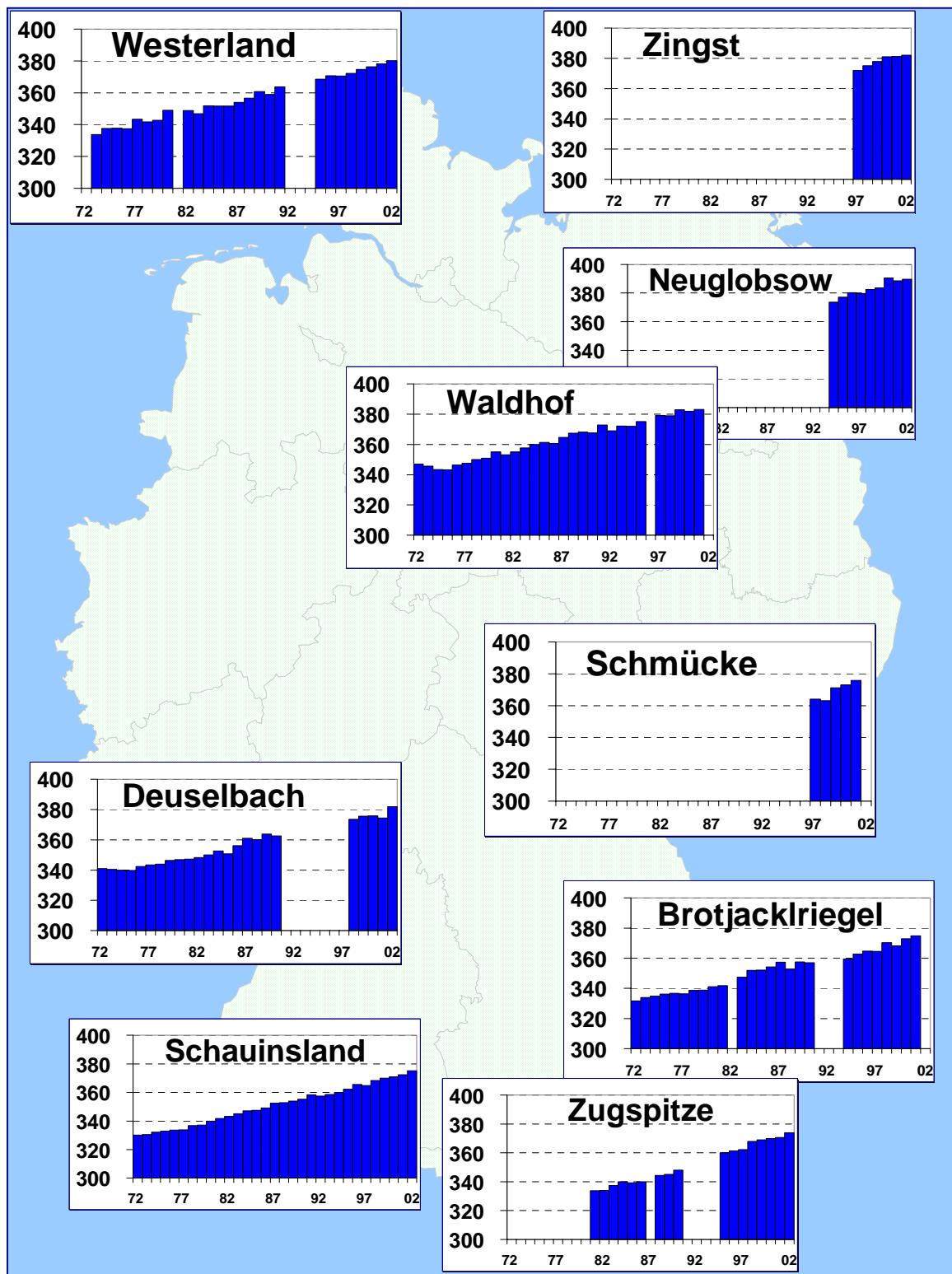


Abbildung 39: Jahresmittel von Kohlendioxid für 1972 bis 2002 in ppm (NOAA-Scale)

Tabelle 60: Monats- und Jahresmittel, Kohlendioxid für 2002 in ppm, kursive, grau hinterlegte Werte: GC, andere Werte: IR

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	390	380	-	384	379	375	374	376	371	380	385	387	380
ZG	388	382	384	384	377	377	377	376	380	385	390	389	382
NG	391	386	388	392	388	388	388	393	384	390	397	393	390
WA	393	384	387	-	-	-	-	396	389	386	395	394	390
SM	-	384	386	-	-	-	-	-	-	363	-	-	-
DE	385	378	382	383	377	-	-	380	376	382	388	394	382
BR	-	-	-	-	-	-	-	368	367	-	-	-	-
SC	377	378	380	378	375	371	368	369	369	375	377	383	375
ZS	375	377	378	379	375	372	368	368	369	373	375	378	374

Tabelle 61: Monatsmaxima der Halbstundenwerte, Kohlendioxid für 2002 in ppm, kursive Werte: GC, andere Werte: IR

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	450	430	-	416	425	404	428	440	424	451	419	411
ZG	426	412	422	446	435	458	498	529	498	443	435	406
NG	426	416	443	455	471	493	503	495	471	473	454	421
WA	426	423	447	-	-	-	-	524	487	449	450	424
SM	-	404	405	-	-	-	-	-	-	388	-	-
DE	421	402	418	439	418	-	-	456	431	447	424	430
BR	-	-	-	-	-	-	-	427	397	-	-	-
SC	407	391	400	392	394	391	391	385	391	402	391	414
ZS	373	374	375	368	365	359	358	361	362	364	370	374

Tabelle 62: Monatliche 50-Perzentile der Halbstundenwerte von Kohlendioxid für 2002 in ppm, kursive, grau hinterlegte Werte: GC, andere Werte: IR

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	385	378	-	383	378	373	371	372	368	376	385	385
ZG	384	380	381	382	376	374	372	372	372	381	388	388
NG	387	383	384	387	383	378	379	385	377	384	396	392
WA	390	382	385	-	-	-	-	384	382	382	394	394
SM	-	384	387	-	-	-	-	-	-	362	-	-
DE	384	378	381	382	376	-	-	378	375	380	387	393
BR	-	-	-	-	-	-	-	366	366	-	-	-
SC	376	378	379	378	375	370	367	369	369	374	377	380
ZS	375	377	378	378	375	373	368	368	368	372	375	377

Tabelle 63: Monatliche 98-Perzentile der Halbstundenwerte von Kohlendioxid für 2002 in ppm, kursive Werte: GC, andere Werte: IR

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	420	394	-	404	397	393	408	414	393	414	415	405
ZG	418	399	406	411	397	419	425	445	447	426	418	402
NG	419	407	420	444	441	461	464	464	437	443	425	413
WA	418	408	415	-	-	-	-	489	458	430	428	413
SM	-	399	396	-	-	-	-	-	-	380	-	-
DE	411	389	400	407	403	-	-	418	395	412	413	419
BR	-	-	-	-	-	-	-	393	385	-	-	-
SC	395	388	390	387	389	382	384	381	380	394	385	407
ZS	379	385	383	388	383	380	376	374	377	379	381	385

Tabelle 64: Jährliche Perzentile der Halbstundenwerte von Kohlendioxid für 2002 in ppm, grau hinterlegte Werte: GC, andere Werte: IR

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
<b>WE</b>	<b>355</b>	<b>363</b>	<b>366</b>	<b>368</b>	<b>373</b>	<b>379</b>	<b>385</b>	<b>394</b>	<b>402</b>	<b>411</b>	<b>451</b>
<b>ZG</b>	<b>347</b>	<b>360</b>	<b>364</b>	<b>367</b>	<b>374</b>	<b>380</b>	<b>387</b>	<b>398</b>	<b>406</b>	<b>420</b>	<b>529</b>
<b>NG</b>	<b>354</b>	<b>364</b>	<b>367</b>	<b>370</b>	<b>378</b>	<b>385</b>	<b>398</b>	<b>413</b>	<b>426</b>	<b>443</b>	<b>503</b>
<b>WA</b>	<b>356</b>	<b>364</b>	<b>368</b>	<b>374</b>	<b>380</b>	<b>386</b>	<b>397</b>	<b>409</b>	<b>420</b>	<b>439</b>	<b>524</b>
<b>SM</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>DE</b>	<b>346</b>	<b>362</b>	<b>365</b>	<b>369</b>	<b>375</b>	<b>381</b>	<b>388</b>	<b>396</b>	<b>402</b>	<b>411</b>	<b>456</b>
<b>BR</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>SC</b>	<b>353</b>	<b>361</b>	<b>363</b>	<b>366</b>	<b>372</b>	<b>376</b>	<b>379</b>	<b>382</b>	<b>386</b>	<b>391</b>	<b>464</b>
<b>ZS</b>	<b>358</b>	<b>364</b>	<b>365</b>	<b>367</b>	<b>371</b>	<b>375</b>	<b>377</b>	<b>379</b>	<b>380</b>	<b>383</b>	<b>398</b>

Tabelle 65: Jahresmittel von Kohlendioxid für 1972 bis 2002 in ppm, kursive, grau hinterlegte 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. \* Zugspitze/Schneefernerhaus

	Wester-land	Zingst	Neuglob- sow	Waldhof	Schmücke	Deusel- bach	Brot- jacklr.	Schau- insland	Zug- spitze
1972	-	-	-	<b>347</b>	-	<b>341</b>	<b>332</b>	<b>330</b>	-
1973	<b>334</b>	-	-	<b>346</b>	-	<b>340</b>	<b>334</b>	<b>331</b>	-
1974	<b>338</b>	-	-	<b>343</b>	-	<b>340</b>	<b>335</b>	<b>332</b>	-
1975	<b>338</b>	-	-	<b>343</b>	-	<b>340</b>	<b>336</b>	<b>333</b>	-
1976	<b>337</b>	-	-	<b>346</b>	-	<b>342</b>	<b>337</b>	<b>334</b>	-
1977	<b>343</b>	-	-	<b>348</b>	-	<b>344</b>	<b>336</b>	<b>334</b>	-
1978	<b>342</b>	-	-	<b>350</b>	-	<b>344</b>	<b>339</b>	<b>337</b>	-
1979	<b>343</b>	-	-	<b>351</b>	-	<b>346</b>	<b>339</b>	<b>337</b>	-
1980	-	-	-	<b>355</b>	-	<b>347</b>	<b>341</b>	<b>340</b>	-
1981	-	-	-	<b>353</b>	-	<b>347</b>	<b>342</b>	<b>342</b>	-
1982	<b>349</b>	-	-	<b>355</b>	-	<b>348</b>	-	<b>343</b>	-
1983	<b>347</b>	-	-	<b>358</b>	-	<b>350</b>	-	<b>345</b>	-
1984	<b>352</b>	-	-	<b>360</b>	-	<b>353</b>	<b>352</b>	<b>347</b>	-
1985	<b>352</b>	-	-	<b>361</b>	-	<b>351</b>	<b>352</b>	<b>348</b>	-
1986	<b>352</b>	-	-	<b>361</b>	-	<b>356</b>	<b>354</b>	<b>349</b>	-
1987	<b>354</b>	-	-	<b>365</b>	-	<b>361</b>	<b>357</b>	<b>352</b>	-
1988	<b>357</b>	-	-	<b>368</b>	-	<b>360</b>	<b>353</b>	<b>353</b>	-
1989	<b>361</b>	-	-	<b>368</b>	-	<b>364</b>	-	<b>354</b>	-
1990	<b>359</b>	-	-	<b>368</b>	-	<b>363</b>	<b>357</b>	<b>355</b>	-
1991	<b>364</b>	-	-	<b>373</b>	-	-	-	<b>358</b>	-
1992	-	-	-	<b>369</b>	-	-	-	<b>357</b>	-
1993	-	-	-	<b>372</b>	-	-	-	<b>359</b>	-
1994	-	-	<b>374</b>	<b>372</b>	-	-	<b>359</b>	<b>360</b>	-
1995	<b>369</b>	-	<b>377</b>	<b>375</b>	-	-	<b>363</b>	<b>362</b>	<b>360</b>
1996	<b>371</b>	-	<b>380</b>	-	-	-	-	<b>366</b>	<b>361</b>
1997	<b>371</b>	<b>372</b>	<b>380</b>	<b>379</b>	<b>364</b>	<b>370</b>	<b>365</b>	<b>365</b>	<b>362</b>
1998	<b>372</b>	<b>375</b>	<b>382</b>	<b>379</b>	<b>363</b>	<b>374</b>	<b>370</b>	<b>368</b>	<b>367</b>
1999	<b>375</b>	<b>378</b>	<b>384</b>	<b>383</b>	<b>371</b>	<b>376</b>	<b>368</b>	<b>370</b>	<b>368</b>
2000	<b>376</b>	<b>381</b>	<b>391</b>	<b>382</b>	<b>373</b>	<b>376</b>	<b>373</b>	<b>371</b>	<b>370</b>
2001	<b>378</b>	<b>381</b>	<b>389</b>	<b>383</b>	<b>376</b>	<b>374</b>	<b>375</b>	<b>372</b>	<b>371</b>
2002	<b>380</b>	<b>382</b>	<b>390</b>	<b>390</b>	-	<b>382</b>	-	<b>375</b>	<b>374*</b>

## 2.1.8 Methan ( $\text{CH}_4$ )

Methan ist derzeit mit etwa 20% für den zusätzlichen Treibhauseffekt verantwortlich. Ähnlich wie das  $\text{CO}_2$  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 66 sind die Monats- und Jahresmittel und in Tabelle 67 die Monatsmaxima der Halbstundenwerte für 2002 aufgelistet. Der höchste Jahresmittelwert wurde mit 1889 ppb in Zingst und Neuglobsow, der niedrigste mit 1848 ppb auf dem Schauinsland gemessen. Die  $\text{CH}_4$ -Konzentrationen sind im Sommer geringfügig (um 0.4%) niedriger als im Winter. In Abbildung 40 ist der zunehmende Trend der Monatsmittel für Methan,  $\text{CO}_2$  und  $\text{N}_2\text{O}$  an der Station Schauinsland dargestellt.

Die monatlichen 50-Perzentilwerte, 98-Perzentilwerte sowie die jährlichen Perzentile sind in Tabelle 68 bis Tabelle 70 zusammengestellt. Generell sind die Konzentrationsunterschiede für die verschiedenen Perzentile - ähnlich wie beim  $\text{CO}_2$  - wesentlich geringer als für die reaktiven Gase.

In Tabelle 71 sind die  $\text{CH}_4$ -Jahresmittelwerte 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).

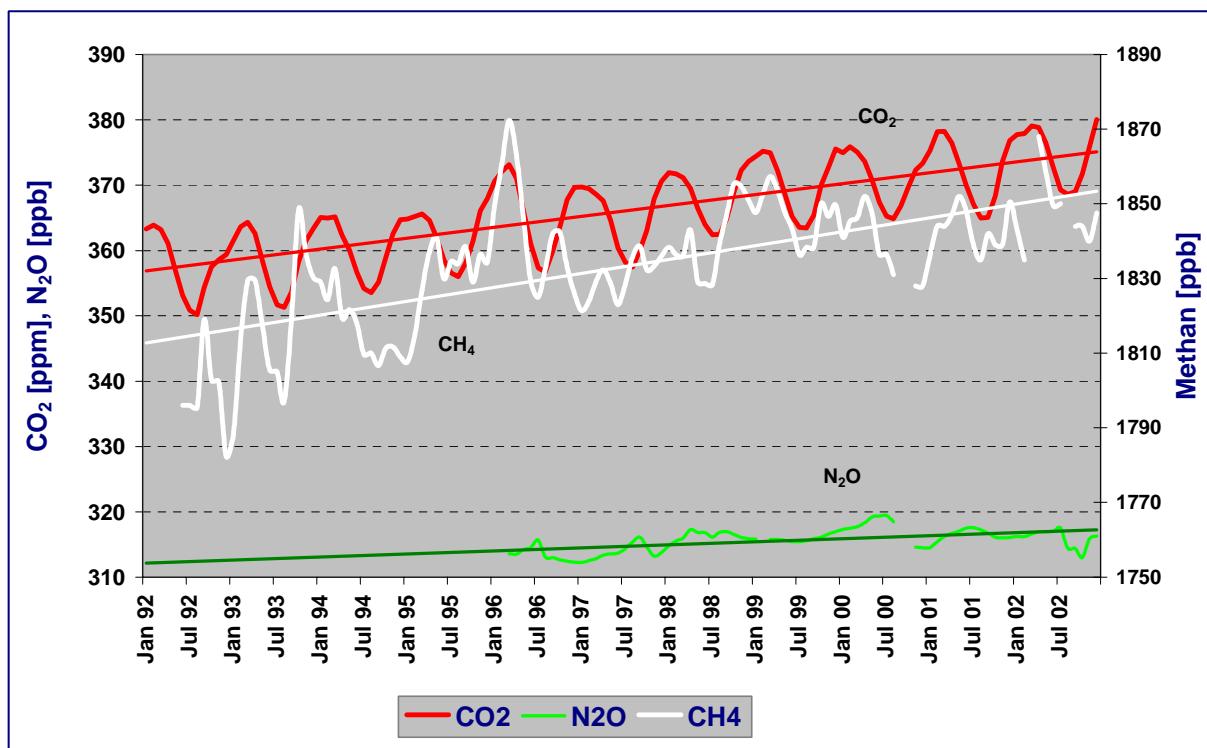


Abbildung 40: Monatsmittel der Methan-, Kohlendioxid- ( $\text{CO}_2$ ) und Distickstoffoxid- ( $\text{N}_2\text{O}$ ) Konzentrationen auf dem Schauinsland von 1992 bis 2002

Tabelle 66: Monats- und Jahresmittel, Methan für 2002 in ppb

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
ZG	1919	1867	1888	1883	1871	1857	1862	1923	1892	1898	1900	1904	1889
NG	1924	1875	1889	1887	1868	1849	1857	1897	1867	1891	1926	1939	1889
SM	-	1863	1872	1882	1862	1853	-	1875	-	1875	1887	-	1875
DE	1863	1836	1862	1889	1873	-	-	1892	1832	1839	1848	1877	1861
SC	1835	-	-	1868	1849	1850	-	-	1844	-	1840	1855	1848
ZS	1823	1831	1843	1862	1851	1848	1831	1839	1846	1837	1841	1839	1841

Tabelle 67: Monatsmaxima der Halbstundenwerte, Methan für 2002 in ppb

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ZG	2245	2128	2148	2175	2030	2157	2151	2710	2653	2257	2122	2063
NG	2236	2194	2180	2143	2026	2015	1983	2094	2065	2223	2093	2164
SM	-	2057	2133	2014	1982	1954	-	2141	-	2018	2027	-
DE	1924	1879	2032	2096	2062	-	-	2169	2013	2109	2064	2139
SC	2006	-	-	2002	2013	2013	-	-	1979	-	1997	2069
ZS	1892	1939	1906	1969	1941	1933	1922	1931	1915	1988	1923	1960

Tabelle 68: Monatliche 50-Perzentile der Halbstundenwerte von Methan für 2002

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ZG	1888	1857	1867	1871	1861	1849	1849	1891	1854	1877	1897	1888
NG	1890	1860	1871	1874	1862	1844	1849	1891	1851	1876	1920	1928
SM	-	1858	1864	1878	1852	1852	-	1868	-	1870	1881	-
DE	1866	1838	1853	1882	1865	-	-	1878	1825	1831	1842	1872
SC	1828	1834	-	1864	1832	1832	-	1820	1847	-	1838	1849
ZS	1820	1828	1842	1857	1849	1848	1827	1836	1840	1834	1841	1836

Tabelle 69: Monatliche 98-Perzentile der Halbstundenwerte von Methan für 2002

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ZG	2144	2030	2065	2037	1977	1970	2000	2316	2168	2109	2034	2032
NG	2145	2047	2011	2008	1956	1933	1944	2032	1989	2024	2057	2086
SM	-	1975	1972	1971	1929	1917	-	1972	-	1968	1981	-
DE	1900	1861	1957	1994	1992	-	-	2101	1924	1958	1959	2022
SC	1961	1915	-	1962	1937	1937	-	1922	1907	-	1898	2013
ZS	1860	1905	1889	1940	1906	1899	1882	1901	1895	1905	1889	1894

Tabelle 70: Jährliche Perzentile der Halbstundenwerte von Methan für 2002

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
ZG	1773	<b>1811</b>	1820	<b>1828</b>	1844	<b>1869</b>	1914	<b>1972</b>	2023	<b>2085</b>	2710
NG	1291	<b>1816</b>	1825	<b>1833</b>	1849	<b>1873</b>	1913	<b>1970</b>	2007	<b>2048</b>	2236
SM	1769	<b>1813</b>	1823	<b>1832</b>	1846	<b>1868</b>	1896	<b>1929</b>	1955	<b>1992</b>	2245
DE	1741	<b>1787</b>	1797	<b>1809</b>	1830	<b>1853</b>	1884	<b>1920</b>	1948	<b>1989</b>	2169
SC	1766	<b>1796</b>	1805	<b>1813</b>	1824	<b>1840</b>	1865	<b>1896</b>	1916	<b>1945</b>	2083
ZS	1778	<b>1800</b>	1807	<b>1813</b>	1824	<b>1838</b>	1855	<b>1874</b>	1887	<b>1900</b>	1988

Tabelle 71: Jahresmittel von Methan für 1993 bis 2002 in ppb

\* Zugspitze/Schneefernerhaus

Stationen	Wester-land	Zingst	Neuglob-sow	Wal dhof	Schmücke	Deusel-bach	Brot-jacklr.	Schau-insland	Zug-spitze
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-	-	<b>1819</b>	-
1994	-	<b>1846</b>	-	-	-	<b>1847</b>	-	<b>1816</b>	-
1995	-	<b>1867</b>	1857	-	1843	<b>1872</b>	-	<b>1829</b>	
1996	-	-	-	-	-	-	-	<b>1842</b>	<b>1803</b>
1997	-	-	1877	-	-	<b>1870</b>	-	<b>1831</b>	<b>1814</b>
1998	-	<b>1882</b>	1880	-	-	<b>1878</b>	-	<b>1840</b>	<b>1800</b>
1999	-	<b>1886</b>	1882	-	1869	<b>1877</b>	-	<b>1846</b>	
2000	-	<b>1748</b>	1873	-	1867	<b>1880</b>	-	-	<b>1815</b>
2001	-	<b>1891</b>	1860	-	1865	<b>1875</b>	-	<b>1844</b>	<b>1817</b>
2002	-	<b>1889</b>	1889	-	1875	<b>1861</b>	-	<b>1848</b>	<b>1841*</b>

## 2.1.9 Distickstoffoxid ( $N_2O$ ) und Schwefelhexafluorid ( $SF_6$ )

Distickstoffoxid trägt mit etwa 6% zum zusätzlichen Treibhauseffekt bei. Ähnlich wie  $CO_2$  und  $CH_4$  unterliegt  $N_2O$  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 2001 wurden die  $N_2O$ -Emissionen in Deutschland um etwa 30% reduziert. Im UBA-Messnetz wird  $N_2O$  bisher nur auf dem Schauinsland seit 1996 gemessen. Die mittlere Zunahme zwischen 1996 und 2002 betrug ca. 0.5 ppb/Jahr (ca. 0.2%/Jahr) (siehe Abbildung 40 und Tabelle 72).

Seit Dezember 2000 wird an der Messstelle Schauinsland zusätzlich auch das klimarelevante Schwefelhexafluorid ( $SF_6$ ) gemessen. Wegen der Kürze der Messreihe wurde hier jedoch auf eine grafische Darstellung verzichtet. Anhand der bisher gemessenen Monatsmittel (siehe Tabelle 73) deutet sich jedoch auch für  $SF_6$  ein ähnlich ansteigender Trend wie für die übrigen Klimagase an. Seit Januar 2002 werden  $N_2O$  und  $SF_6$  auch im Schneefernhaus auf der Zugspitze gemessen.

Tabelle 72: Monats- und Jahresmittel von  $N_2O$  auf dem Schauinsland für 1996 bis 2002 in ppb und auf der Zugspitze/Schneefernhaus für 2002 in ppt

SC	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
1997			313		314	314		316	319		313	314	315
1998	315		317		317	315	316	318	317	317	316	316	316
1999					316	315	315	316	316	316	316	317	316
2000	318	317	318	318	319	321	318					315	318
2001	314		317	316	318	318	317	318	317	316	316	316	317
2002	316	316		317	317	317		318	311		315	317	316

ZS	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
2002	318	-	318	318	318	318	317	317	317	317	317	318	318

Tabelle 73: Monats- und Jahresmittel von  $SF_6$  auf dem Schauinsland für 2000 bis 2002 und auf der Zugspitze/Schneefernhaus für 2002 in ppt

SC	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.85
2001	5.10	-	5.10	5.19	5.40	5.13	5.30	5.38	5.22	5.25	5.24	5.17	5.22
2002	5.11	5.17	-	5.43	5.44	-	-	5.48	5.72	-	-	5.54	5.41

ZS	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
2002	5.14	-	5.26	5.30	5.35	5.37	5.35	5.35	5.35	5.33	5.31	5.35	5.31

## 2.1.10 Partikelförmige Luftverunreinigungen

Staubteilchen werden durch natürliche und anthropogene Quellen an der Erdoberfläche in die Atmosphäre emittiert (sog. Primärpartikel, Radius > 0.1 µm). Eine weitere Quelle stellt die Bildung von Partikeln im luftgetragenen Zustand aus Spurengasen wie z.B. SO<sub>2</sub> und NH<sub>3</sub>, dar (sog. Sekundärpartikel, Radius < 1 µm).

Erhebliche Unsicherheiten existieren noch immer über die Anteile von natürlichen zu anthropogenen Beiträgen sowie über den Anteil der Partikel, die durch Gasreaktionen gebildet werden.

Ausgehend von der Erkenntnis, dass vor allem kleine Staubteilchen ein hohes Schädigungspotential im Hinblick auf die menschliche Gesundheit aufweisen, steht seit Erlass der EU-Richtlinie 1999/30/EG die Belastung durch Feinstaub mit der Partikelgröße PM<sub>10</sub> in der Luft im Vordergrund nationaler und internationaler Luftreinhaltepolitik (Englisch: PM = particulate matter). Unter PM<sub>10</sub> versteht man - etwas vereinfacht - die Gesamtmasse aller Partikel, deren Durchmesser kleiner als 10 µm ist. Mit der Untersuchung der Belastungssituation durch noch kleinere Teilchen (PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>1</sub>) ist bereits begonnen worden.

Bezüglich der direkten anthropogenen Emissionen entsteht der Feinstaub hauptsächlich bei Verbrennungsprozessen aus stationären und mobilen Quellen. In Deutschland trugen 2001 folgende Quellgruppen zu den Emissionen von Feinstaub bei: Industrieprozesse (ca. 41%), Straßenverkehr und übriger Verkehr (ca. 22%), Haushalte (ca. 5%), Kraft- und Fernheizwerke (ca. 11%).

Als Folge der drastischen Reduzierung der Staub (Feinstaub)-Emissionen in Deutschland (siehe Abbildung 41) vor allem zwischen 1990 und 1992 werden die entsprechenden Staub-Konzentrationen in der Luft nur noch sehr langsam abnehmen, da sie in zunehmendem Maße durch die Beiträge des Ferntransports und der natürlichen Emissionen bestimmt werden. Die anthropogen bezogenen Staub (Feinstaub)-Emissionen haben in Deutschland zwischen 1990 und 2001 um mehr als 85% abgenommen (Ref. 9).

Der Feinstaub wird durch trockene und nasse Deposition wieder aus der Atmosphäre entfernt. Da beide Senken wenig effektiv zur Beseitigung der Partikel im Korngrößenbereich zwischen 0.1 µm und 10 µm Teilchendurchmesser beitragen, verweilen die Feinstaubteilchen relativ lange in der bodennahen Atmosphäre. Der Feinstaub unterliegt damit in hohem Maße dem Ferntransport und kann über Tausende von Kilometern transportiert werden.

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 µm Durchmesser (PM<sub>10</sub>) umgestellt. In Waldhof wird seit 1999 auch die Partikelmasse für Teilchen unterhalb von 2.5 µm Durchmesser (PM<sub>2,5</sub>) bestimmt, in Deuselbach und auf dem Schauinsland seit Mitte 2000. Für diese Stationen ergab sich für den jeweiligen Messzeitraum (1999 bzw. 2000 bis 2002), dass der Anteil von PM<sub>2,5</sub> zu PM<sub>10</sub> in Waldhof bei 74%, in Deuselbach bei 76% und auf dem Schauinsland bei 78% liegt. (siehe Abbildung 42 a bis c). 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 und jahreszeitlichen Unterschieden abhängen. In Waldhof und Deuselbach ist die Korrelation zwischen beiden Messverfahren sehr gut ( $r^2=0.94$ ), auf dem Schauinsland aufgrund der wesentlich niedrigeren Konzentrationen etwas schlechter ( $r^2=0.81$ ). Diese ersten Messergebnisse von  $PM_{2,5}$  sind auch als Monatsmittel in Abbildung 43 dargestellt – wegen der Kürze des Zeitraumes lässt sich hiervon jedoch noch kein Trend ableiten.

In Waldhof waren von September 1997 bis März 2000 Parallelmessungen zwischen den täglichen Gesamtstaub und  $PM_{10}$ -Messungen mit den Digitel High Volume Sammlern durchgeführt worden. Über alle Messwerte gemittelt ergab sich dabei für diesen Zeitraum ein Faktor von 0.85 und ein Korrelationskoeffizienten von 0.82 (siehe Abbildung 44).

Neben Waldhof werden im UBA-Messnetz auch an 5 weiteren Messstellen sowie am Container Schorfheide  $PM_{10}$ -Parallelmessungen zwischen den Digitel High Volume Sammlern und den  $\beta$ -Absorptions-Geräten durchgeführt. Diese Vergleiche auf Tagesmittelbasis sind stellvertretend für die Stationen Zingst, Neuglobsow, Waldhof und Deuselbach für das Jahr 2002 in Abbildung 45a bis d dargestellt. Die Korrelationsfaktoren für diese 4 Stationen liegen in diesem Zeitraum zwischen 0.87 und 0.91. Das Verhältnis der Messwerte zwischen High Volume Sammlern und den  $\beta$ -Absorptions-Geräten liegt zwischen 0.95 (Waldhof und Schauinsland) und 1.03 (Deuselbach), in Neuglobsow und auf der Schmücke liegt es sogar bei 1.00. Nur die Werte von Zingst weichen mit 1.22 davon ab.

In Tabelle 75 sind die Monats- und Jahresmittel von  $PM_{10}$  (kontinuierlich) für 2002 und in Tabelle 76 die monatlichen maximalen Halbstundenwerte zusammengestellt. Tabelle 77 zeigt die jährlichen Perzentile von  $PM_{10}$  für 2002, kontinuierliches Messverfahren. In Tabelle 78 sind die Jahresmittel von Schwebstaub (ab 2000/2002  $PM_{10}$ ) für den Zeitraum 1989 bis 2002 für das kontinuierliche Messverfahren und in Tabelle 79 die Messergebnisse der Digitel High Volume Tagesproben für den Zeitraum 1968 bis 2002 aufgelistet.

Wie aus Tabelle 78 sowie aus Tabelle 79 zu entnehmen ist, wurden im Jahre 2002 ähnlich niedrige Jahresmittelwerte für Schwebstaub (Digitel-Tagesproben) beobachtet wie in den letzten 4 Jahren, gegenüber dem Vorjahr jedoch wieder leicht erhöht. Dies ist einerseits an den norddeutschen Stationen auf die stark erhöhten Konzentrationen im März, hervorgerufen durch die Osterfeuer (Ref. 10) sowie auf erhöhte Konzentrationen im Dezember während einer Witterungsphase mit ungünstigem Vertikalaustausch zurückzuführen. Insgesamt ist die Schwebstaubbelastung (Tagesproben) in ländlichen Gebieten Deutschlands während der letzten 20 bis 30 Jahre um mehr als die Hälfte zurückgegangen (Abbildung 48). Der stärkste Rückgang erfolgte zwischen 1990 und 2001.

In Abbildung 46 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 2002  $PM_{10}$ ) zwischen Januar 1992 und Dezember 2002 dargestellt. Die Station Westerland wurde wegen des hohen Seesalzanteils nicht berücksichtigt. Man erkennt einen deutlichen Rückgang aller Perzentilwerte um 60 bis 70%, jedoch ist auch hier erstmals wieder ein Anstieg bei den Maxima in 2002 zu beobachten.

In Abbildung 47 ist der Verlauf der monatlichen 98-Perzentilwerte für Gesamtstaub (TSP) und seit 2002  $PM_{10}$  der am stärksten belasteten Stationen im UBA-Messnetz – vor allem in den

neuen Ländern (Lückendorf, Lehnsmühle, Melpitz, Schleiz) und Waldhof – zwischen Januar 1992 und Dezember 2002 dargestellt. Deutlich ist der Rückgang der Spitzenwerte an allen Stationen zu erkennen. Auch ist wiederum der Anstieg im Jahr 2002 zu beobachten.

Wegen der schnellen Sedimentation von Partikeln über 10 µm sollte die Abnahme für PM<sub>10</sub> und vor allem für PM<sub>2,5</sub> langsamer erfolgt sein als für TSP. Entsprechende Untersuchungen an einer städtischen Hintergrundstation in Berlin zwischen 1990 und 1998 haben beispielsweise eine langsamere Abnahme von PM<sub>2,5</sub> gegenüber PM<sub>10</sub> und TSP ergeben (Ref. 4).

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.

In Tabelle 74 sind die Grenzwerte für PM<sub>10</sub> gemäß EU-Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22.4.1999 dargestellt. Bei den in diesen Richtlinien festgelegten Grenzwerten handelt es sich um Mindestanforderungen. Die Mitgliedsstaaten können auch strengere Grenzwerte festlegen, beispielsweise zum Schutz der Gesundheit besonders gefährdeter Personengruppen wie Kinder und Krankenhauspatienten.

Im UBA-Messnetz wurde in 2002 keiner der Grenzwerte der Stufe 1 überschritten. Die Grenzwerte der Stufe 2 jedoch, die ab Januar 2010 eingehalten werden sollen, wurden in 2002 beim 24-Stundenwert in Öhringen (21 Überschreitungen von 50 µg/m<sup>3</sup> als 24-Stundenwert), Aukrug (20 Überschreitungen), Waldhof (16 Überschreitungen), Westerland (14 Überschreitungen), Bassum und Melpitz (je 8 Überschreitungen) nicht eingehalten. 7 Überschreitungen pro Jahr werden erlaubt sein. Bei den Jahresmitteln lagen Öhringen, Aukrug und Bassum über dem Grenzwert von 20 µg/m<sup>3</sup>. In Westerland, Waldhof, Melpitz und Lückendorf wurde dieser Grenzwert erreicht.

Tabelle 74: Grenzwerte für Partikel gemäß EU-Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22.4.1999 und 22. BlmSchV

	Mittelungszeitraum	Grenzwert	Toleranzmarge a) bei Inkrafttreten b) jährlicher Reduzierung	Zeitpunkt, ab zu dem der Grenzwert einzuhalten ist
<b>STUFE 1</b>				
<b>Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit</b>	24 Stunden	50 µg/m³ dürfen nicht öfter als 35mal im Jahr überschritten werden	a) 25 µg/m³ (50%) b) 5 µg/m³ (20 Prozentpunkte)	1. Januar 2005
<b>Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit</b>	Kalenderjahr	40 µg/m³	a) 25 µg/m³ (20%) b) 1.6 µg/m³ (20 Prozentpunkte)	1. Januar 2005
<b>STUFE 2</b>				
<b>Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit</b>	24 Stunden	50 µg/m³ dürfen nicht öfter als 7mal im Jahr überschritten werden	aus Daten abzuleiten, gleichwertig mit dem Grenzwert der Stufe 1	1. Januar 2010
<b>Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit</b>	Kalenderjahr	20 µg/m³	a) 10 µg/m³ (50%) am 1.1.2005 b) 2 µg/m³ (20 Prozentpunkte)	1. Januar 2010

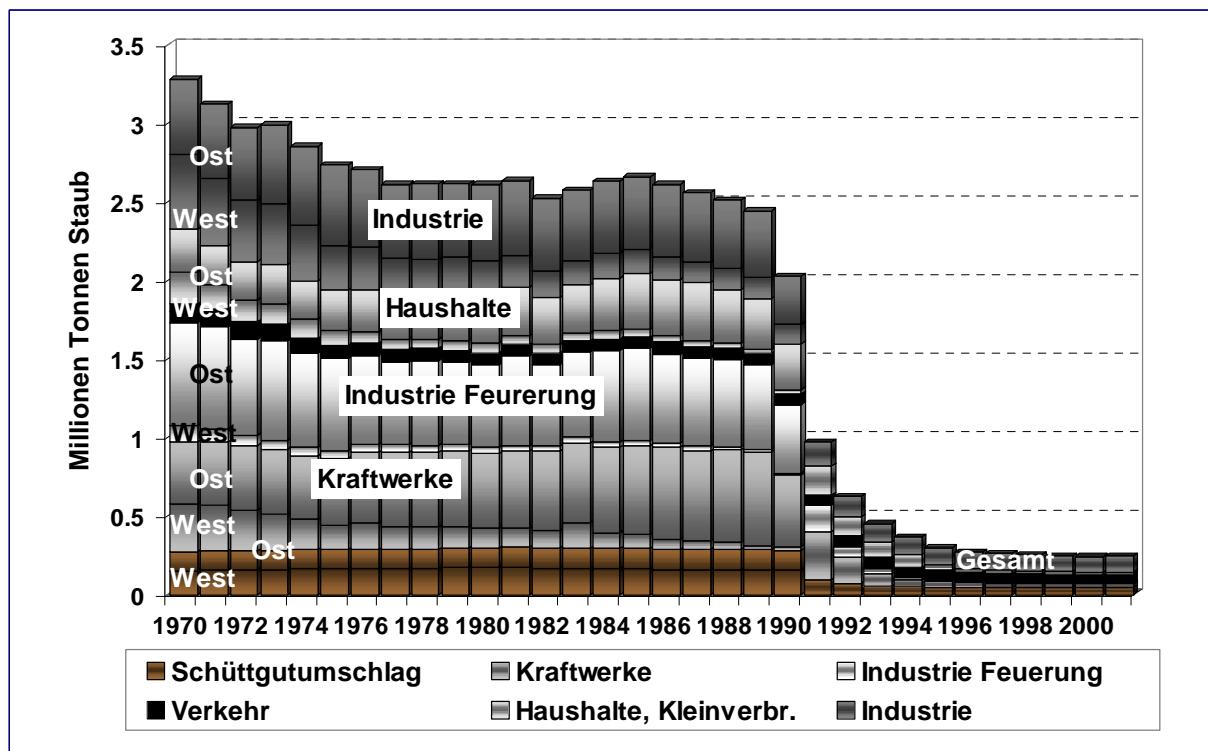


Abbildung 41: Jährliche Staub-Emissionen in Deutschland von 1970 bis 2001 (Ref. 1, 2)

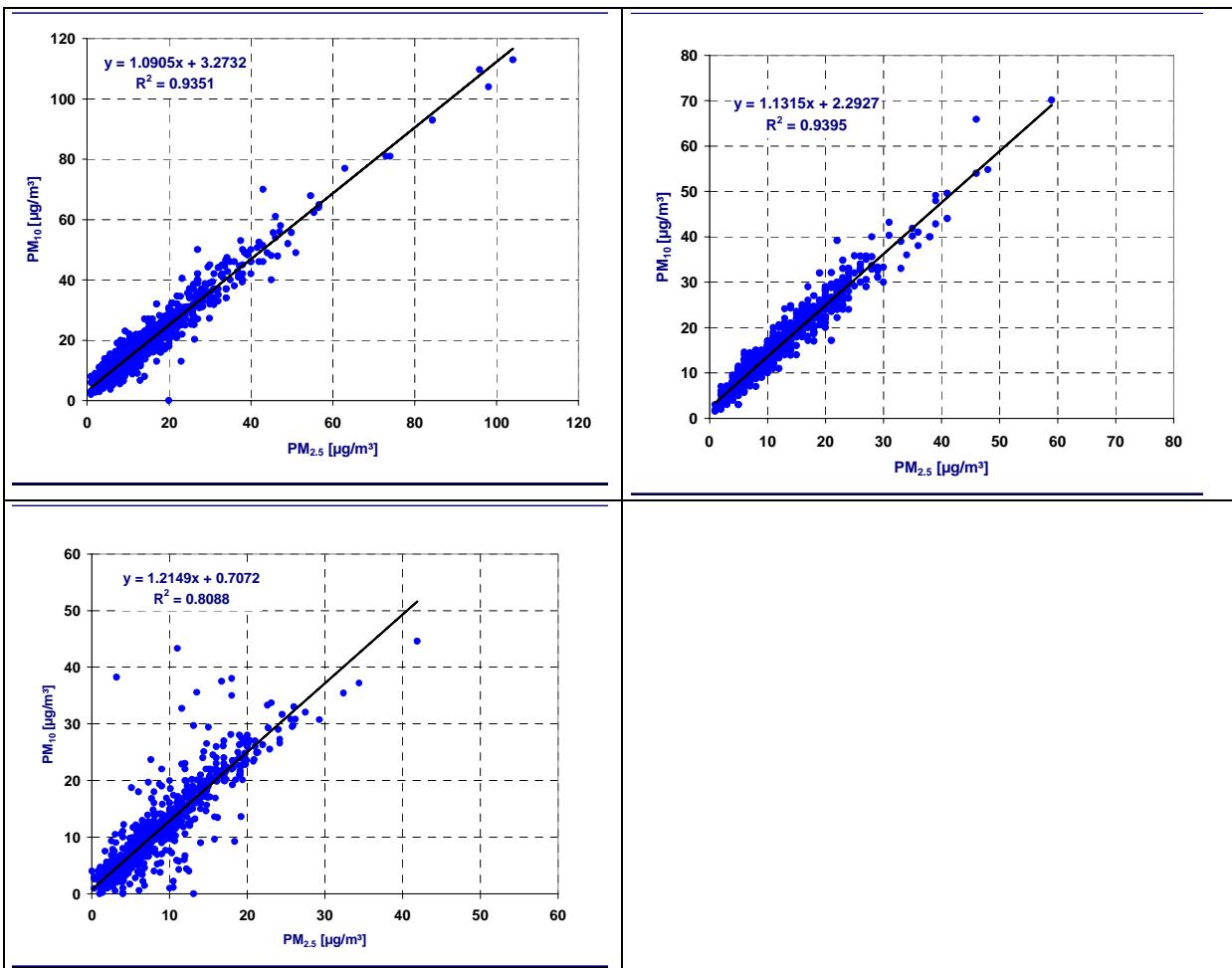


Abbildung 42a-c: Vergleich von  $\text{PM}_{10}$ - und  $\text{PM}_{2.5}$ -Staubmessungen in Waldhof (a, oben links), Deuselbach (b, oben rechts) und Schauinsland (c, unten) von 2000 bis 2002

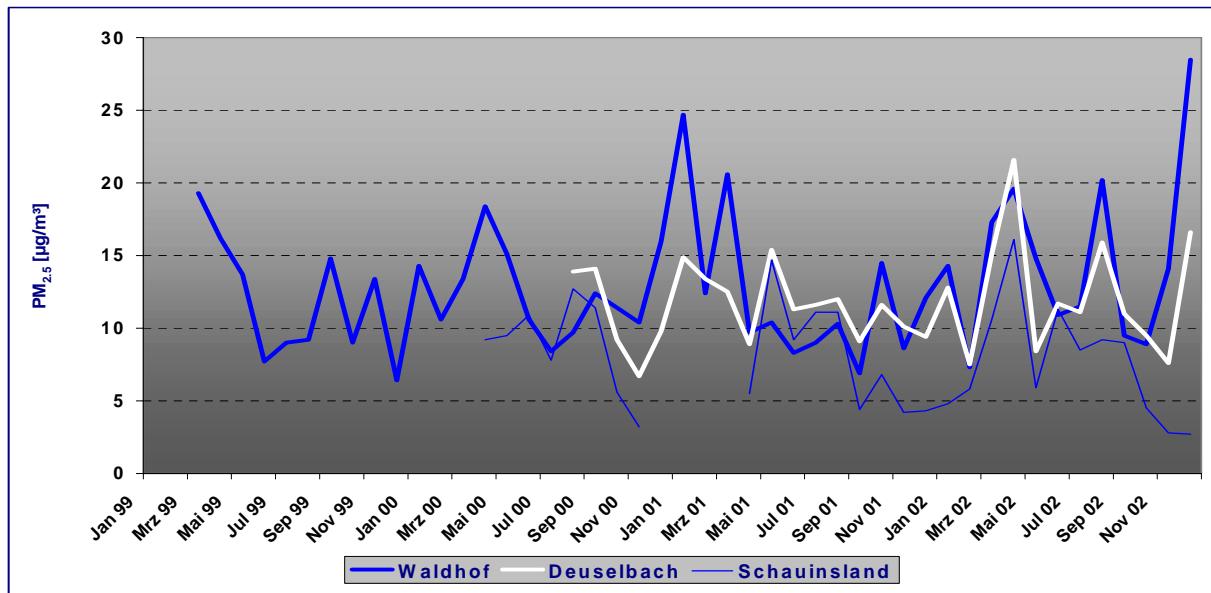


Abbildung 43: Verlauf der Monatsmittel von  $\text{PM}_{2.5}$  zwischen 1999 und 2002 an den Stationen Waldhof, Deuselbach und Schauinsland.

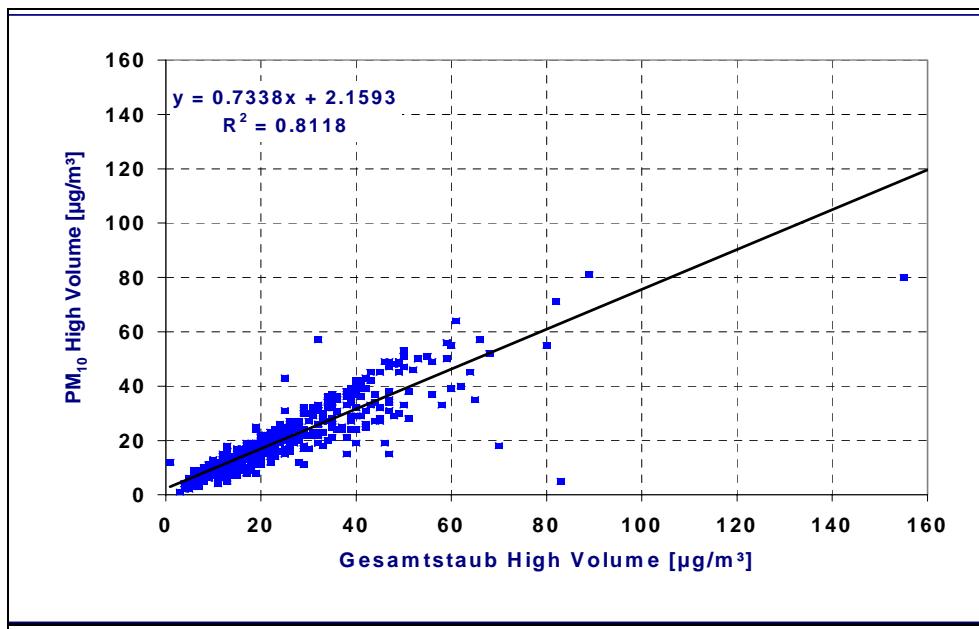


Abbildung 44: Vergleich von PM<sub>10</sub>- und Gesamtstaubmessungen in Waldhof von September 1997 bis März 2000 mit high volume Sampler

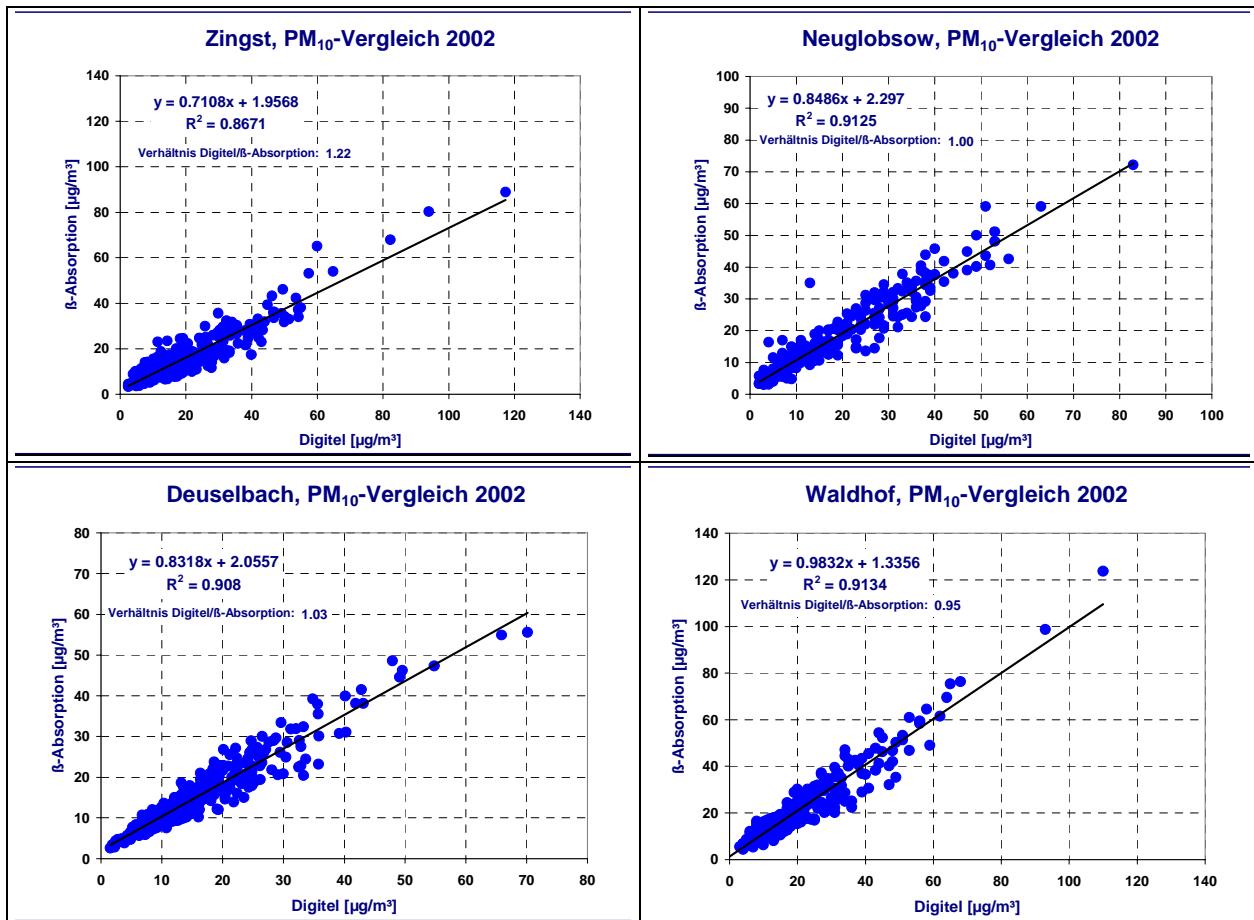


Abbildung 45a-d: Vergleich von PM<sub>10</sub>-Staubmessungen zwischen High Volume- und β-Absorptions-Verfahren in Zingst (a, oben links), Neuglobsow (b, oben rechts), Deuselbach (c, unten links) und Waldhof (d, unten rechts) für 2002

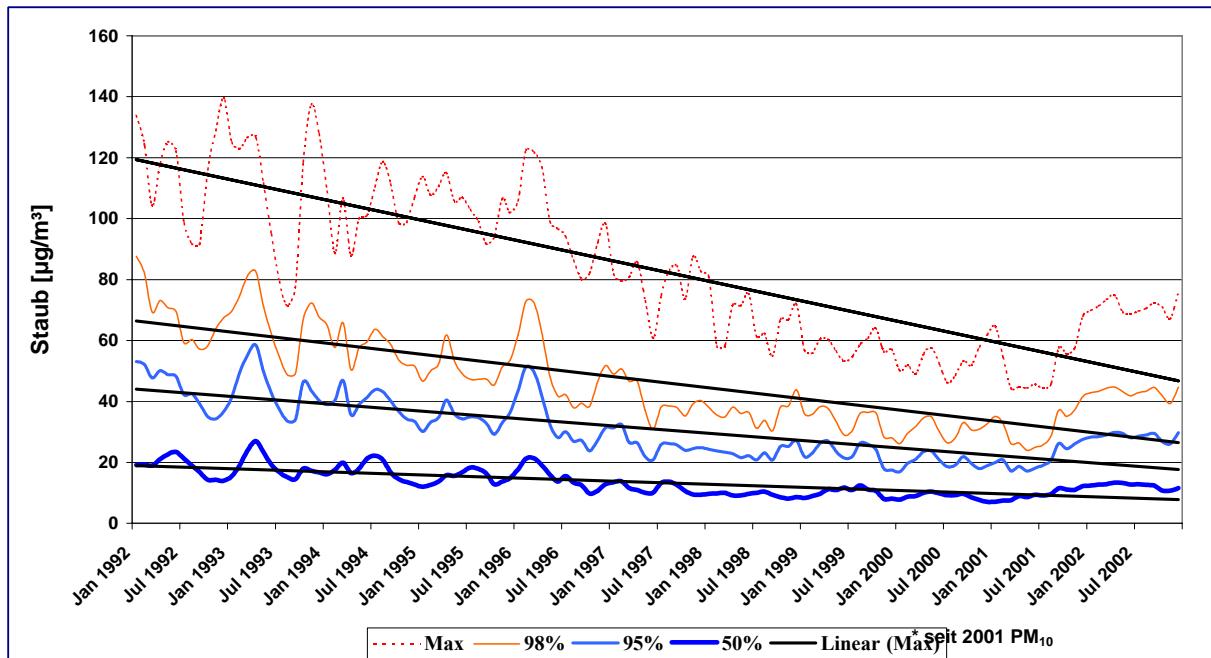


Abbildung 46: Trend der Monatsmaxima, 98-, 95- und 50-Perzentilwerte von Gesamtstaub bzw. PM<sub>10</sub> (seit 2001), gemittelt über 7 personell besetzte Messstellen, von Januar 1992 bis Dezember 2002, kontinuierliche  $\beta$ -Staubgeräte, ohne Faktor

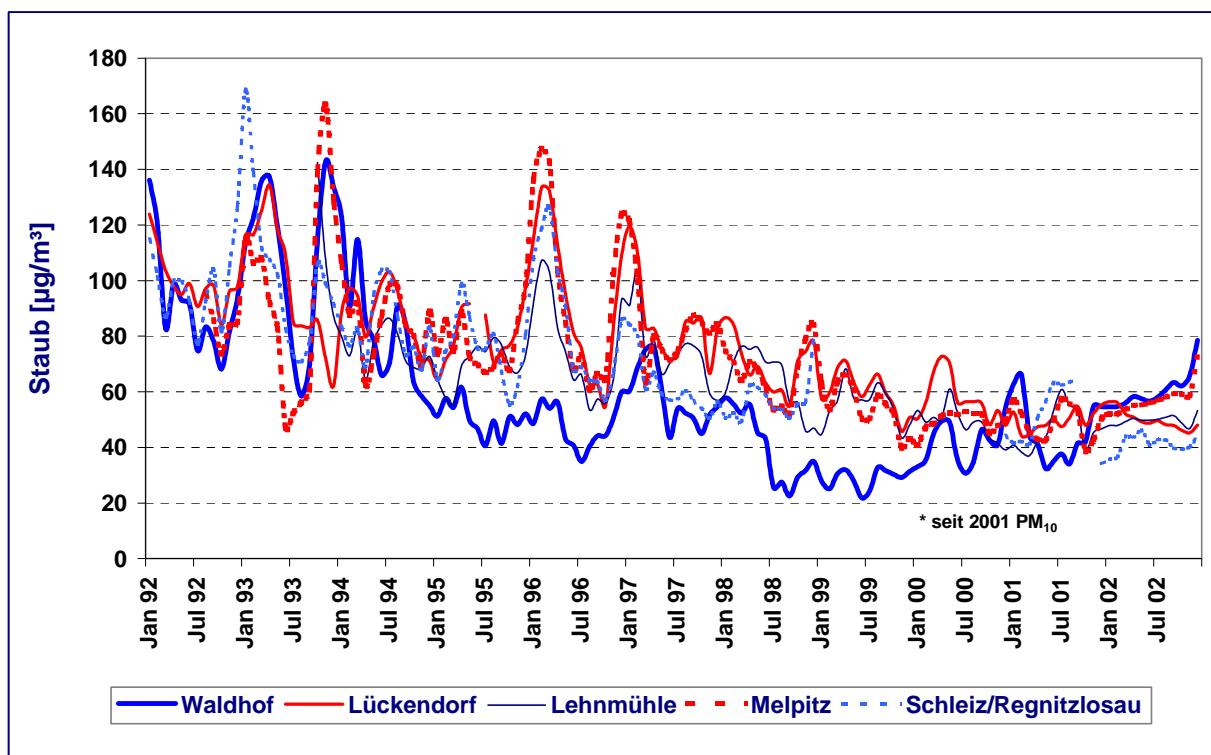


Abbildung 47: Trend der 98-Perzentilwerte der Staubkonzentrationen in Waldhof, Lückendorf, Lehnsmühle, Melpitz und Schleiz zwischen 1992 und 2002, seit 2001 PM<sub>10</sub>-Messungen, kontinuierliche  $\beta$ -Staubgeräte, ohne Faktor

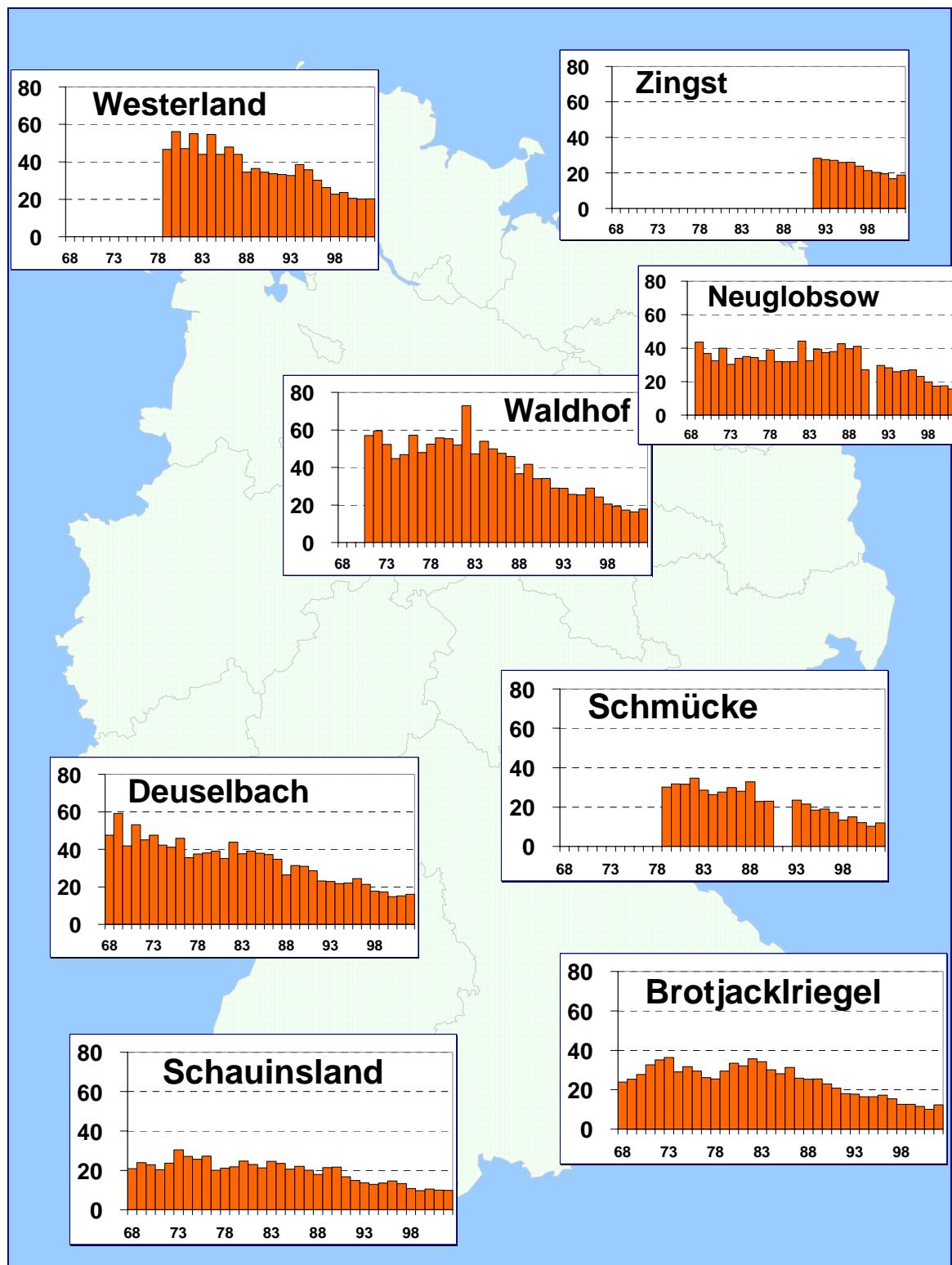


Abbildung 48: Jahresmittel von Schwebstaub für 1968 bis 2002 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Digitel-Tagesproben, ab 1999  $\text{PM}_{10}$ -Messungen, ohne Faktor

Tabelle 75: Monats- und Jahresmittel,  $\text{PM}_{10}$  für 2002 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kontinuierliches Messverfahren  
\*: keine Messungen

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZG	14	14	21	18	13	13	14	24	14	10	13	18	16
HG*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	26	19	29	34	21	21	22	31	19	15	20	29	24
UE	14	10	18	20	16	14	16	27	14	12	18	29	18
NG	15	9	15	20	16	13	14	26	16	11	16	25	16
SH	15	10	14	19	17	14	15	27	16	11	17	28	17
BA	21	16	22	28	22	21	22	26	17	15	18	32	22
WA	18	13	21	26	19	18	19	29	17	13	17	36	20
GI	16	11	18	20	17	15	17	21	14	13	15	22	17
FA	15	11	17	22	20	18	20	28	16	12	18	33	19
MP	16	12	18	21	18	20	22	29	18	13	17	35	20
LF	18	13	19	23	16	19	20	28	16	16	15	27	19
LM	11	11	18	20	18	18	20	29	18	14	15	22	18
LU	21	17	22	22	19	17	17	27	18	14	17	23	20
SM	6	7	14	19	12	15	14	20	12	8	7	10	12
RE	13	12	14	19	13	15	16	19	13	11	11	20	15
DE	14	11	17	25	14	18	17	21	15	12	9	15	16
EB	-	-	-	-	-	-	-	12	9	9	4	6	-
OE	40	17	27	30	17	24	25	24	20	18	17	24	24
FB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC	6	9	-	18	9	18	12	12	11	8	6	5	10

Tabelle 76: Monatsmaxima der Halbstundenwerte,  $\text{PM}_{10}$  für 2002 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kontinuierliches Messverfahren  
\*: keine Messungen

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZG	49	54	163	110	62	72	96	71	106	75	48	69
HG*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	98	69	417	155	93	101	80	101	160	96	62	100
UE	59	66	108	100	53	45	54	79	96	70	75	159
NG	52	51	70	76	57	40	56	108	104	51	51	116
SH	51	53	89	61	59	97	81	70	113	68	62	130
BA	53	65	95	95	118	111	92	89	104	88	69	115
WA	57	52	258	95	103	71	58	76	122	67	55	169
GI	64	51	50	59	109	56	89	96	70	58	60	73
FA	54	76	79	75	87	107	107	70	88	55	60	144
MP	43	63	82	89	99	83	86	79	84	38	58	143
LF	66	64	145	84	59	80	84	109	84	81	71	95
LM	52	73	107	70	104	89	69	87	88	51	150	79
LU	140	73	86	66	54	109	73	132	89	45	79	63
SM	40	43	54	60	66	49	53	77	60	30	206	52
RE	46	122	58	80	62	80	60	65	54	71	126	54
DE	45	43	75	68	54	67	64	95	58	38	33	52
EB	-	-	-	-	-	-	-	58	41	46	28	47
OE	169	72	100	89	116	92	94	69	99	54	70	89
FB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC	36	112	-	46	35	84	42	41	45	38	32	26

Tabelle 77: Jährliche Perzentile der Halbstundenwerte,  $\text{PM}_{10}$  für 2002 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  
kontinuierliches Messverfahren  
\*: keine Messungen

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
WE*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZG	0.1	2.0	3	5	8	12	19	30	39	53	163
HG*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	0.1	2.9	5	8	12	20	29	46	58	72	417
UE	0.1	2.3	4	5	8	13	23	36	45	59	159
NG	0.1	2.1	3	5	8	12	21	34	43	53	116
SH	0.1	2.0	3	5	8	13	22	34	43	52	130
BA	0.1	5.6	7	9	13	18	26	39	48	62	118
WA	0.1	2.5	5	7	10	16	25	40	51	66	258
GI	0.1	2.5	4	6	9	14	21	31	38	47	109
FA	0.1	1.7	3	5	9	15	26	38	48	61	144
MP	0.1	3.2	5	7	10	16	26	37	47	59	143
LF	0.1	3.6	5	7	11	16	24	35	44	57	145
LM	0.1	2.1	4	5	9	15	24	35	43	52	150
LU	0.1	2.5	4	6	10	17	26	38	45	54	140
SM	0.1	0.4	1	2	4	10	16	26	34	43	206
RE	0.1	1.5	3	4	8	12	20	30	36	43	126
DE	0.1	1.1	3	4	8	13	20	29	36	46	95
EB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OE	0.1	2.9	5	8	12	20	31	44	58	76	169
FB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC	0.1	0.3	1	1	4	8	15	22	27	34	112

Tabelle 78: Jahresmittel von Schwebstaub, 1989 bis 2002 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kontinuierliches Messverfahren, kursive, grau hinterlegte Werte:  $\text{PM}_{10}$ , ohne Faktor

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	-	
1994	-	16	22	-	21	28	29	31	20	32	-	31	-	27	23	-	31	-	
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	-	
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	
2002	-	16	-	24	-	-	18	-	16	-	17	-	22	20	-	17	-	19	
Station	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	EB	AS	OE	BR	FB	RT	SC	RS	ZU
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	27	-	-	-	-	43	-	-	23	-	
1990	-	-	22	34	-	-	-	-	34	22	36	36	-	39	-	26	24	-	
1991	-	-	26	28	-	-	-	35	40	22	-	39	-	30	-	29	23	-	
1992	-	-	21	25	-	35	24	31	32	20	-	30	-	25	-	23	22	-	
1993	-	36	20	27	-	36	22	30	33	18	39	39	-	29	-	24	20	-	
1994	31	32	19	23	25	32	21	27	23	16	28	28	-	26	-	20	19	-	
1995	29	27	-	20	23	-	18	26	20	22	19	19	-	23	-	22	12	-	
1996	37	-	23	-	25	38	16	30	-	21	26	26	-	-	-	33	9	-	
1997	30	27	-	32	22	30	14	22	-	16	26	26	-	-	-	6	-	-	
1998	22	22	-	-	-	23	12	17	-	8	23	23	-	15	-	-	8	-	
1999	20	22	-	-	20	21	11	-	17	11	13	13	-	16	-	-	10	-	
2000	19	18	-	-	17	21	8	-	16	10	13	13	-	17	-	-	9	-	
2001	18	18	-	-	15	17	7	-	14	10	-	-	-	15	-	-	9	-	
2002	20	19	-	-	18	20	12	-	15	16	-	-	24	-	-	-	10	-	

Tabelle 79: Jahresmittel von Schwebstaub für 1968 bis 2002 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Digitel-Tagesproben, ab 1999  $\text{PM}_{10}$  (grau hinterlegt), ohne Faktor

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	-	18	-	18	-	-	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	-	
2002	20	19	-	-	-	16	-	18	-	18	-	-	-	12	16	-	12	-	10	-	

## 2.1.11 Schwefel- und Stickstoffkomponenten in Luft und Schwebstaub

Im Januar 2000 war im Messnetz des Umweltbundesamtes die Filterpack-Methode zur Messung von Schwefel- und Stickstoffkomponenten in Luft und Schwebstaub mit Hilfe von imprägnierten Filtern eingeführt worden. Entsprechend dem ECE-Luftreinhalteübereinkommen von 1979, und den Nachfolge-Protokollen zur Emissionsminderung wird zur Erfolgskontrolle gefordert, im Rahmen des EMEP-Basisprogramms (European Monitoring and Evaluation Programme) u.a. die Schwefelkomponenten Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) und Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) und die Stickstoffkomponenten als Summen von Ammoniak und Ammonium ( $\sum\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ) sowie Salpetersäure und Nitrat ( $\sum\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$ ) in Luft und Schwebstaub sowie  $\text{NO}_2$  in der Luft mit hohen Qualitätsvorgaben zu messen. Dazu empfiehlt EMEP die Filterpack-Methode (Ref. 14) und für  $\text{NO}_2$  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. Bei Sulfat im Schwebstaub löst die Filterpack-Methode die Röntgenfluoreszens-Methode ab, für die täglichen  $\text{SO}_2$ -Messungen wurde vorher die nasschemische TCM-Methode eingesetzt. Die Frittenmethode ersetzt die  $\text{NO}_2$ -Messungen nach Saltzman.

In Abbildung 49 bis Abbildung 51 sind die Monatsmittel von Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) sowie die Stickstoffkomponenten als Summen von Ammoniak und Ammonium ( $\sum\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ) sowie Salpetersäure und Nitrat ( $\sum\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$ ) in Luft und Schwebstaub als Monatsmittel für die 5 Messstellen von Januar 2000 bis Dezember 2002 dargestellt. Es lassen sich weder ausgeprägte Jahresgänge noch Trends erkennen. Auffällig ist nur eine Periode erhöhter Stickstoffkonzentrationen an allen Stationen im März/April 2002 mit Tagesmaxima bis zu 10.2  $\mu\text{gN}/\text{m}^3$  für  $\sum\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$  in Zingst (siehe auch Abbildung 52). Bei genauerer Betrachtung der Tageswerte zeigt sich, dass diese erhöhten Konzentrationen zur Zeit der Osterfeuer auftreten, in der in Norddeutschland gleichzeitig großräumig Schwebstaub-Spitzenkonzentrationen auftraten (Ref. 10). Die Sulfatkonzentrationen dagegen steigen in diesem Zeitraum nur geringfügig an.

In Tabelle 80 bis Tabelle 82 sind die Monatsmittel sowie die maximalen monatlichen Tageskonzentrationen dieser Komponenten für Januar bis Dezember 2002 aufgelistet. Tabelle 83 zeigt die Jahresmittel der Sulfatkonzentrationen im Schwebstaub von allen Stationen, an denen diese Komponente im Laufe der Jahre gemessen wurde. Die Werte von 1974 bis 1999 wurden mittels Röntgenfluoreszenz-, danach mittels Filterpackmethode gemessen. Gegenüber den 70er und 80er Jahren hat sich das Konzentrationsniveau in etwa halbiert. Tabelle 84 und Tabelle 85 zeigen die Jahresmittel der Summe von Ammoniak und Ammonium bzw. Salpetersäure und Nitrat in Luft und Schwebstaub für 2000 bis 2002.

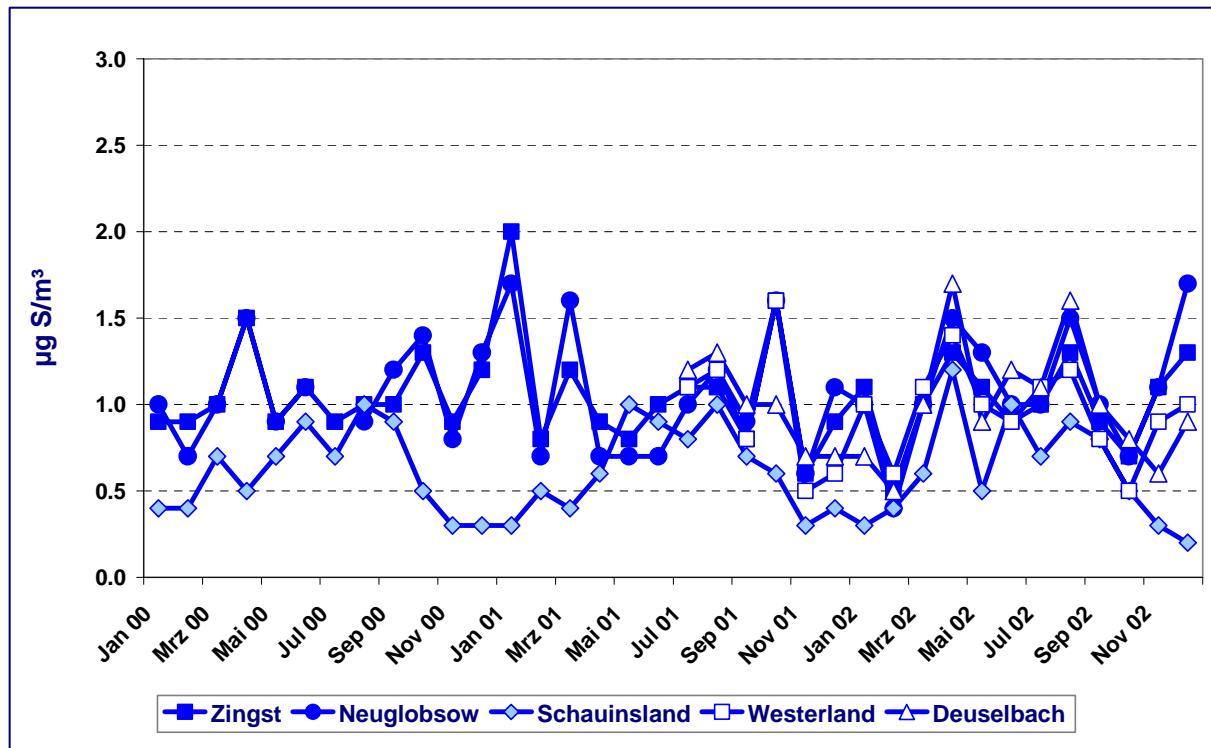


Abbildung 49: Monatsmittel von Sulfat im Schwebstaub von Januar 2000 bis Dezember 2002 in  $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ , Filterpack-Methode

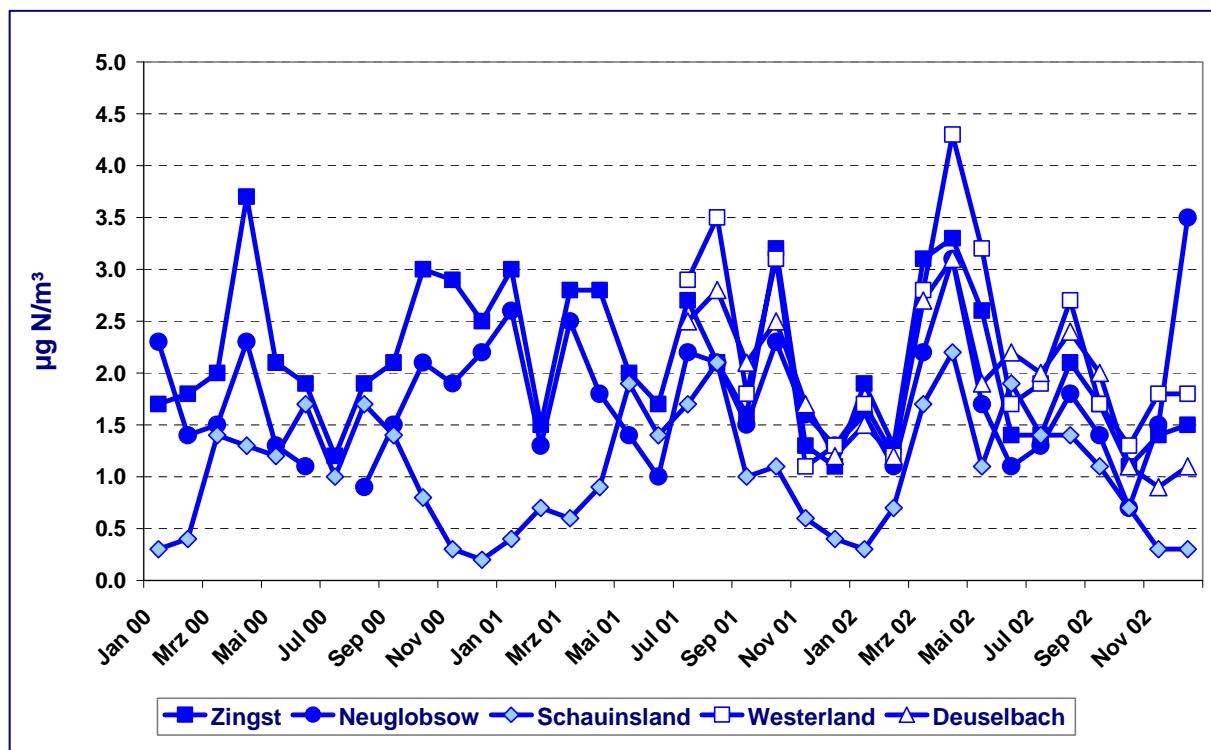


Abbildung 50: Monatsmittel der Summe von Ammoniak und Ammonium in Luft und Schwebstaub von Januar 2000 bis Dezember 2002 in  $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ , Filterpack-Methode

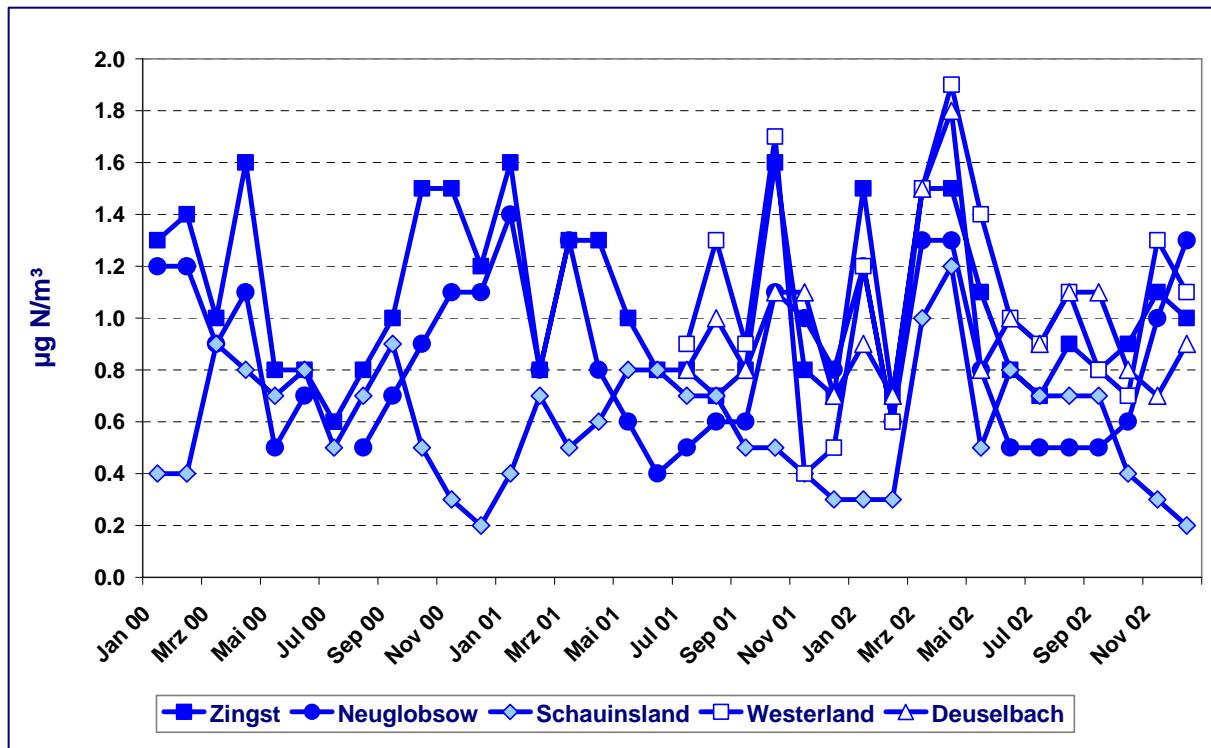


Abbildung 51: Monatsmittel der Summe von Salpetersäure und Nitrat in Luft und Schwebstaub von Januar 2000 bis Dezember 2002 in  $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ , Filterpack-Methode

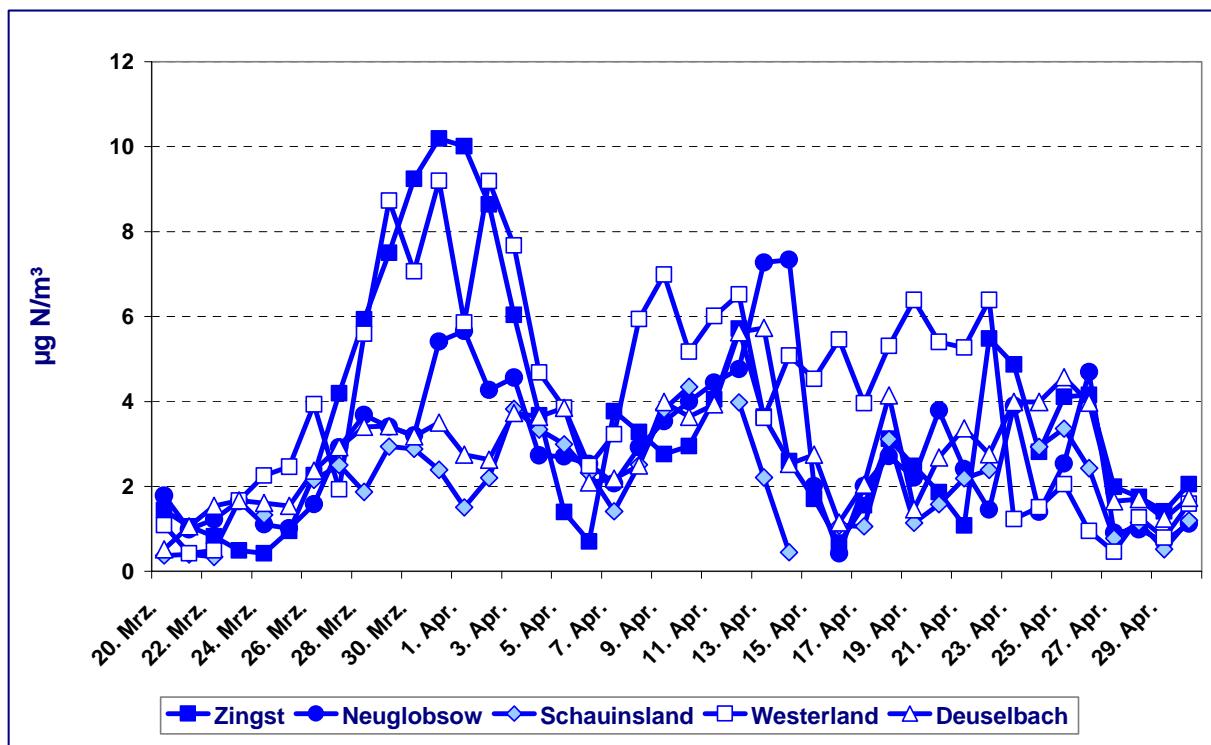


Abbildung 52: Tagesmittel der Summe von Ammoniak und Ammonium in Luft und Schwebstaub vom 20.3. bis 30.4.2002 in  $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ , Filterpack-Methode

Tabelle 80: Monatsmittel und monatliche 24-Stunden-Maxima von  $\text{SO}_4^{=}$  im Staub für 2002, in  $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ , Filterpack-Methode

	$\text{SO}_4$ Monatsmittel					$\text{SO}_4$ Monatsmaxima				
	WE	ZG	NG	DE	SC	WE	ZG	NG	DE	SC
Jan 2002	1.0	1.1	1.0	0.7	0.3	2.0	2.6	2.9	1.8	1.5
Feb 2002	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	1.2	1.1	1.7	1.3	1.6
Mrz 2002	1.1	1.0	1.0	1.0	0.6	4.2	5.0	4.1	2.2	1.4
Apr 2002	1.4	1.3	1.5	1.7	1.2	2.9	3.1	5.2	5.6	3.1
Mai 2002	1.0	1.1	1.3	0.9	0.5	1.8	3.2	3.5	2.9	1.0
Jun 2002	0.9	0.9	1.0	1.2	1.0	2.0	1.8	1.7	2.7	2.2
Jul 2002	1.1	1.0	1.0	1.1	0.7	2.5	2.0	2.0	2.5	1.3
Aug 2002	1.2	1.3	1.5	1.6	0.9	2.1	3.0	3.6	4.6	2.5
Sep 2002	0.8	0.9	1.0	1.0	0.8	3.5	3.5	3.2	2.2	1.8
Okt 2002	0.5	0.7	0.7	0.8	0.5	1.0	1.6	1.4	2.4	1.5
Nov 2002	0.9	1.1	1.1	0.6	0.3	2.2	2.5	2.9	1.7	1.8
Dez 2002	1.0	1.3	1.7	0.9	0.2	2.9	3.2	4.2	2.5	0.8

Tabelle 81: Monatsmittel und monatliche 24-Stunden-Maxima von  $\sum \text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$  in Luft und Schwebstaub für 2002, in  $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ , Filterpack-Methode

	$\sum \text{NH}_3 + \text{NH}_4$ Monatsmittel					$\sum \text{NH}_3 + \text{NH}_4$ Monatsmaxima				
	WE	ZG	NG	DE	SC	WE	ZG	NG	DE	SC
Jan 2002	1.7	1.9	1.6	1.5	0.3	3.9	4.3	3.5	3.1	2.3
Feb 2002	1.2	1.3	1.1	1.2	0.7	3.5	3.7	3.9	3.1	1.5
Mrz 2002	2.8	3.1	2.2	2.7	1.7	9.2	10.2	5.9	5.4	3.5
Apr 2002	4.3	3.3	3.1	3.1	2.2	9.2	10.0	7.3	5.7	4.3
Mai 2002	3.2	2.6	1.7	1.9	1.1	6.5	6.0	4.3	3.9	2.7
Jun 2002	1.7	1.4	1.1	2.2	1.9	4.0	2.9	1.9	3.8	3.4
Jul 2002	1.9	1.4	1.3	2.0	1.4	4.5	3.1	2.5	3.5	2.6
Aug 2002	2.7	2.1	1.8	2.4	1.4	4.9	4.2	3.4	4.7	3.0
Sep 2002	1.7	1.7	1.4	2.0	1.1	6.0	6.6	4.6	3.4	2.5
Okt 2002	1.3	1.1	0.7	1.1	0.7	3.5	3.8	1.8	2.6	2.0
Nov 2002	1.8	1.4	1.5	0.9	0.3	3.5	3.5	3.6	1.8	1.4
Dez 2002	1.8	1.5	3.5	1.1	0.3	4.0	3.2	7.4	3.0	1.1

Tabelle 82: Monatsmittel und monatliche 24-Stunden-Maxima von  $\sum \text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$  in Luft und Schwebstaub für 2002, in  $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ , Filterpack-Methode

	$\sum \text{HNO}_3 + \text{NO}_3$ Monatsmittel					$\sum \text{NH}_3 + \text{NH}_4$ Monatmaxima				
	WE	ZG	NG	DE	SC	WE	ZG	NG	DE	SC
Jan 2002	1.2	1.5	1.2	0.9	0.3	3.0	4.1	3.2	2.4	1.3
Feb 2002	0.6	0.7	0.6	0.7	0.3	1.5	2.6	3.1	2.9	0.8
Mrz 2002	1.5	1.5	1.3	1.5	1.0	5.4	4.4	4.4	3.6	2.3
Apr 2002	1.9	1.5	1.3	1.8	1.2	4.8	5.9	3.6	4.2	2.6
Mai 2002	1.4	1.1	0.8	0.8	0.5	2.7	2.0	2.0	1.5	1.1
Jun 2002	1.0	0.8	0.5	1.0	0.8	2.3	1.7	0.9	1.9	1.4
Jul 2002	0.9	0.7	0.5	0.9	0.7	2.4	1.4	0.9	1.6	1.4
Aug 2002	1.1	0.9	0.5	1.1	0.7	2.4	2.7	1.4	3.8	1.8
Sep 2002	0.8	0.8	0.5	1.1	0.7	3.1	2.6	1.8	2.0	1.5
Okt 2002	0.7	0.9	0.6	0.8	0.4	3.4	4.2	1.5	1.6	1.5
Nov 2002	1.3	1.1	1.0	0.7	0.3	3.3	3.2	2.4	1.4	0.9
Dez 2002	1.1	1.0	1.3	0.9	0.2	2.5	2.7	2.5	2.7	0.7

Tabelle 83: Jahresmittel von  $\text{SO}_4^{=}$  im Schwebstaub von 1974 bis 2002 in  $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ , 1974-1999: Röntgenfluoreszenz-Methode, 2000 bis 2002: Filterpack-Methode (grau hinterlegt)

Station	WE	ZG	HW	NG	BA	WA	ME	SM	DE	AS	BR	RT	SC
1974	1.8	-	-	-	-	1.5	-	-	1.6	-	0.9	-	1.1
1975	1.6	-	-	-	-	1.6	-	-	1.6	-	0.9	-	0.9
1976	2.4	-	2.4	-	2.5	2.1	2.4	-	2.2	2.6	1.9	2.7	1.3
1977	2.1	-	2.6	-	2.6	2.3	2.4	-	1.7	2.4	1.8	2.0	1.1
1978	2.3	-	3.2	-	3.2	2.4	2.5	-	1.9	2.7	1.5	2.4	1.1
1979	1.9	-	2.2	-	3.1	2.2	2.4	-	1.5	2.5	1.5	2.3	1.1
1980	2.0	-	2.3	-	2.6	2.3	2.1	-	2.1	2.2	1.5	2.2	1.4
1981	1.4	-	1.7	-	2.2	1.8	1.8	-	1.7	1.8	1.2	1.6	1.1
1982	1.9	-	2.6	-	2.8	3.3	2.2	-	1.9	2.1	1.5	1.6	1.0
1983	1.3	-	1.4	-	1.9	2.2	1.7	-	1.8	1.9	1.4	1.5	0.9
1984	1.9	-	2.4	-	2.5	2.7	2.2	-	2.1	2.4	1.9	1.7	1.3
1985	1.4	-	1.8	-	2.2	2.5	1.8	-	1.9	1.9	1.5	1.7	1.2
1986	1.7	-	2.5	-	2.3	2.5	2.1	-	2.3	2.4	2.0	1.8	1.2
1987	1.5	-	-	-	2.2	2.6	1.7	-	1.9	1.8	1.4	1.4	1.1
1988	1.2	-	-	-	1.6	2.0	1.6	-	1.4	1.3	1.2	1.0	0.8
1989	1.2	-	-	-	1.9	2.3	1.5	-	1.4	1.6	1.2	1.1	1.0
1990	1.2	-	-	-	1.3	1.6	1.3	-	1.3	1.3	1.2	1.2	0.9
1991	1.5	-	-	-	1.7	2.1	1.9	-	1.5	1.5	1.5	1.5	0.9
1992	1.2	1.2	-	1.3	1.6	1.6	1.3	-	1.2	1.2	1.1	1.2	0.8
1993	1.3	1.1	-	1.4	1.4	1.5	1.2	1.0	1.2	1.1	0.8	0.9	0.7
1994	1.2	0.9	-	1.0	0.9	1.0	0.8	0.8	0.8	0.6	0.7	0.7	0.5
1995	1.1	0.8	-	0.9	0.8	0.9	0.8	0.7	0.9	0.6	0.7	0.5	0.5
1996	1.3	0.9	-	1.1	-	1.2	-	0.8	1.0	-	0.9	-	0.7
1997	0.9	0.6	-	0.7	-	0.8	-	0.5	0.7	-	0.6	-	0.4
1998	0.9	0.7	-	0.7	-	0.8	-	0.6	0.6	-	0.8	-	0.5
1999	0.9	0.6	-	0.7	-	0.8	-	0.6	0.7	-	0.8	-	0.5
2000	-	1.1	-	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6
2001	1.0	1.1	-	1.0	-	-	-	-	1.0	-	-	-	0.6
2002	1.0	1.0	-	1.1	-	-	-	-	1.0	-	-	-	0.6

Tabelle 84: Jahresmittel von  $\sum \text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$  in Luft und Schwebstaub für 2000 bis 2002 in  $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ , Filterpack-Methode

Stationen	Westerland	Zingst	Neuglob-sow	Waldfhof	Schmücke	Deuselbach	Brotjacklriegel	Schauinsland
2000	-	2.2	1.6	-	-	-	-	1.0
2001	-	2.2	1.8	-	-	-	-	1.1
2002	2.2	1.9	1.8	-	-	1.8	-	1.1

Tabelle 85: Jahresmittel von  $\sum \text{HNO}_3 + \text{NO}_2^-$  in Luft und Schwebstaub für 2000 bis 2002 in  $\mu\text{gN}/\text{m}^3$ , Filterpack-Methode

Stationen	Westerland	Zingst	Neuglob-sow	Waldfhof	Schmücke	Deuselbach	Brotjacklriegel	Schauinsland
2000	-	1.1	0.9	-	-	-	-	0.6
2001	-	1.0	0.8	-	-	-	-	0.6
2002	1.1	1.0	0.9	-	-	1.0	-	0.6

## 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. 17). 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 ein kritisches Maß überschreitet (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 in der Luft 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 86 bis Tabelle 93) als auch der weekly wet-only-Messungen (Tabelle 94 und Tabelle 95) 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 2002 zusammengestellt. Des Weiteren werden 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 2002 tabellarisch dargestellt.

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

In Tabelle 86 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 2002 zusammengestellt.

In Tabelle 88 und Tabelle 89 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 2002 zusammengefasst.

Aus diesen Tabellen sowie aus den Abbildung 56 bis Abbildung 60 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 2002 in Deuselbach fortgesetzt hat. Dort lagen die Ionen-Konzentrationen ähnlich niedrig wie im Jahr 2001. In Waldhof jedoch stiegen die Konzentrationen aller Ionen wieder leicht an.

Wie aus [Abbildung 56](#) zu ersehen ist, zeigen die pH-Werte an den Stationen in den alten Ländern einen deutlichen Anstieg von ca. 4.3-4.4 im Jahre 1982 auf Werte zwischen 4.8 und 4.9 im Jahre 2002. Ein Anstieg der pH-Werte entspricht einem Rückgang der Konzentration von Wasserstoffionen ( $H^+$ ). Das heißt, der Regen ist heute deutlich weniger sauer als zu Beginn der 80er Jahre. Der Rückgang der Konzentrationen der Wasserstoffionen ( $H^+$ ) von 1982 bis 2002 lag zwischen 74 und 76% in Waldhof und Deuselbach, der Rückgang von  $SO_4^{=}$  bei 59% in Deuselbach und Waldhof, wenn man die 5-Jahreszeiträume 1982-1986 und 1998-2002 gegenüberstellt. Für Natrium, Kalium und Chlorid wurden dabei Reduktionen zwischen 20 und 60% beobachtet – lediglich bei Magnesium hat sich ein leichter Anstieg ergeben.

Parallel zum Anstieg der pH-Werte hat der Gesamtgehalt an Ionen im Niederschlag und damit dessen spezifische Leitfähigkeit zwischen 1982 und 2002 an den Stationen in den alten Ländern ebenfalls deutlich abgenommen ([Abbildung 53](#), [Abbildung 54](#) und [Abbildung 60](#)). Für Waldhof und Deuselbach hat sich eine Reduzierung der Leitfähigkeit im Mittel für 1998-2002 gegenüber 1982-1986 um knapp unter 60% ergeben. 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 60](#)). Eine Ausnahme ist Westerland, wo, bedingt durch den Einfluss von Seesalz, nur ein schwacher Rückgang beobachtet wurde.

[Abbildung 55](#) zeigt zusammenfassend den Rückgang der Ionenkonzentrationen für  $H^+$ , Sulfat, Nitrat und Ammonium zwischen 1982 und 2002 im Mittel über die UBA-Stationen Deuselbach und Waldhof, normiert auf 1982.

[Abbildung 53](#) und [Abbildung 54](#) zeigen die jährliche Ionenverteilung im Niederschlag in Waldhof und Deuselbach für 1982 bis 2002. Die Abnahme des Gesamtgehaltes an Ionen im Regenwasser während der letzten zwei Jahrzehnte ist verbunden mit einer Änderung der relativen Ionenverteilung. Im Jahre 2002 waren die prozentualen Anteile von  $H^+$  und  $SO_4^{=}$  geringer, die relativen Äquivalentkonzentrationen von  $NO_3^-$  und  $NH_4^+$  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  $H^+$  und  $SO_4^{=}$  und der weniger ausgeprägte Rückgang bei  $NO_3^-$  und vor allem bei  $NH_4^+$  sowie der damit verbundene Rückgang beispielsweise des Sulfat/Nitrat-Verhältnisses während der letzten 20 Jahre spiegelt die unterschiedlichen Langzeittrends der Emissionen von Schwefeldioxid ( $SO_2$ ) und Stickoxiden ( $NO_x$ ) in Deutschland und den meisten Nachbarländern wider.

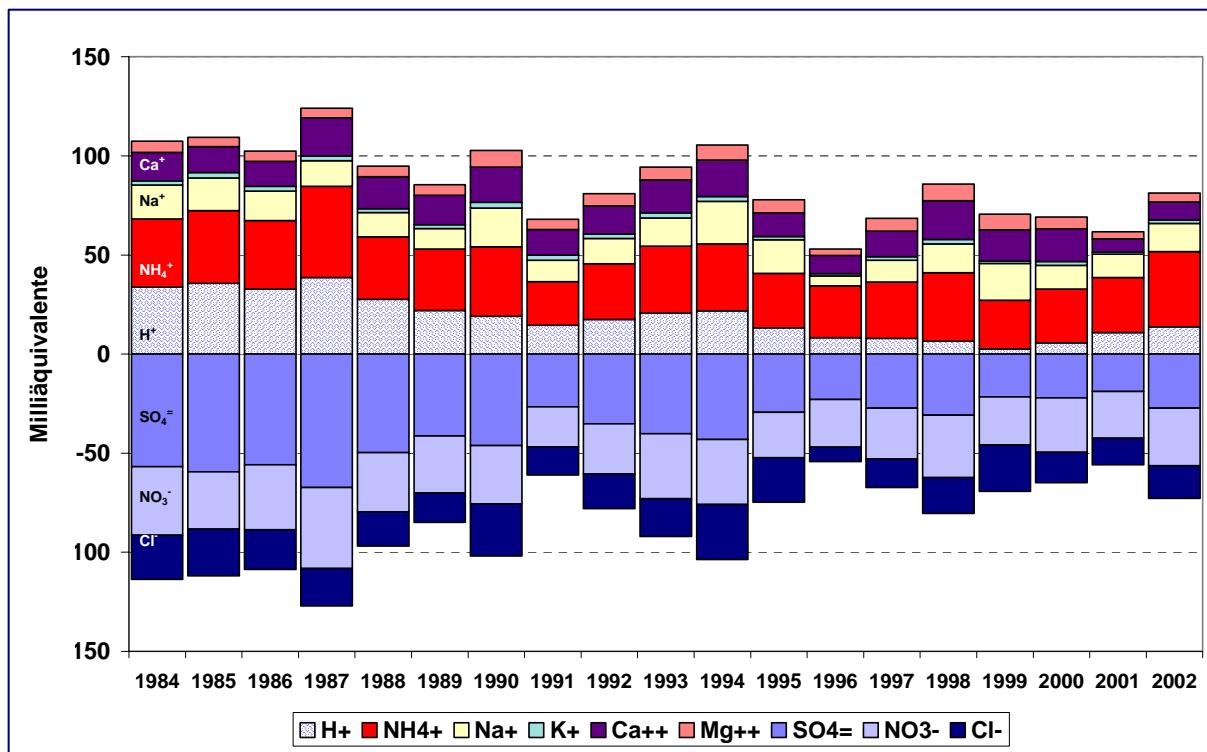


Abbildung 53: Jährliche Ionenverteilung im Niederschlag in Waldhof für 1984 bis 2002  
(daily-bulk-Messungen)

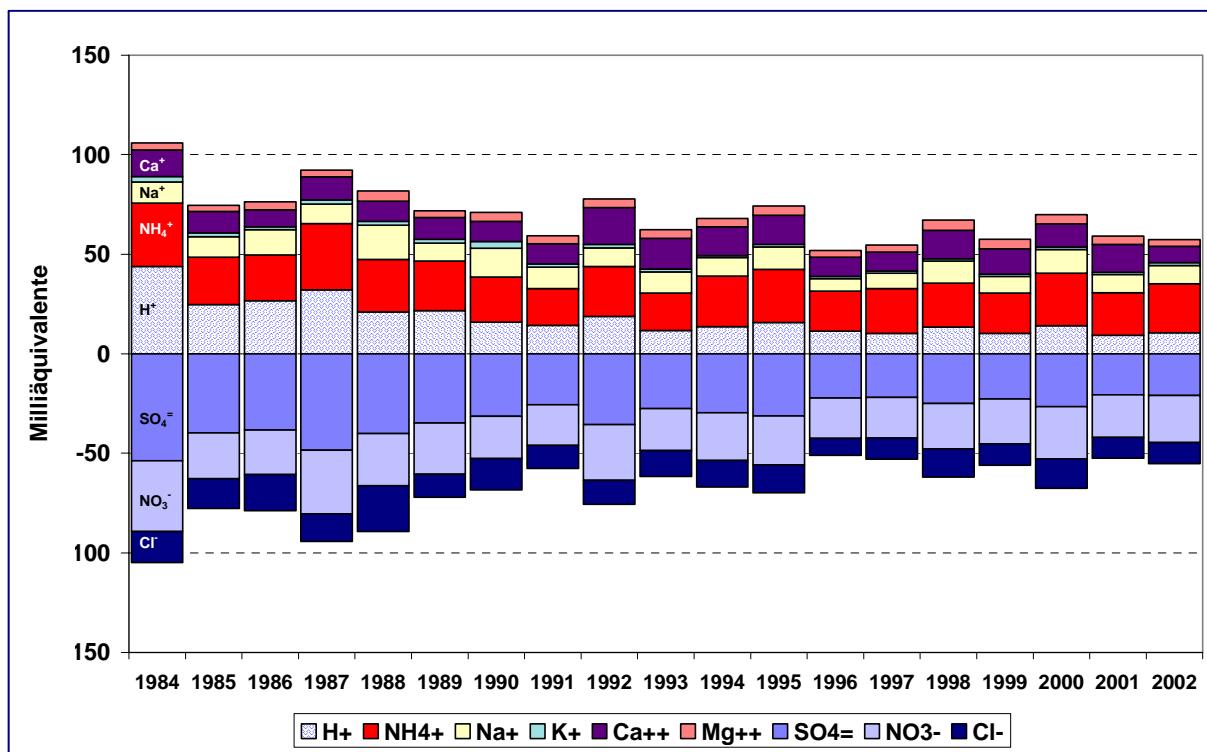


Abbildung 54: Jährliche Ionenverteilung im Niederschlag in Deuselbach für 1984 bis 2002  
(daily-bulk-Messungen)

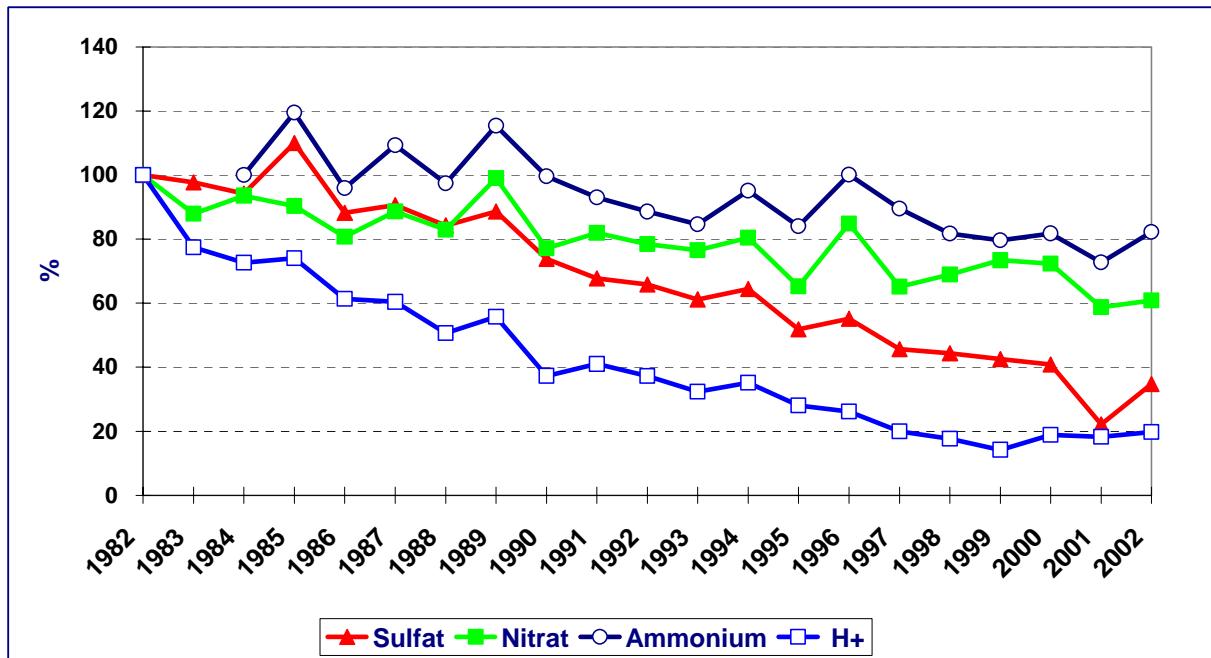


Abbildung 55: Rückgang der Ionenkonzentrationen für  $\text{H}^+$ , Sulfat, Nitrat und Ammonium zwischen 1982 und 2002 (daily-bulk) im Mittel über die UBA-Stationen Deuselbach und Waldhof, normiert auf 1982.

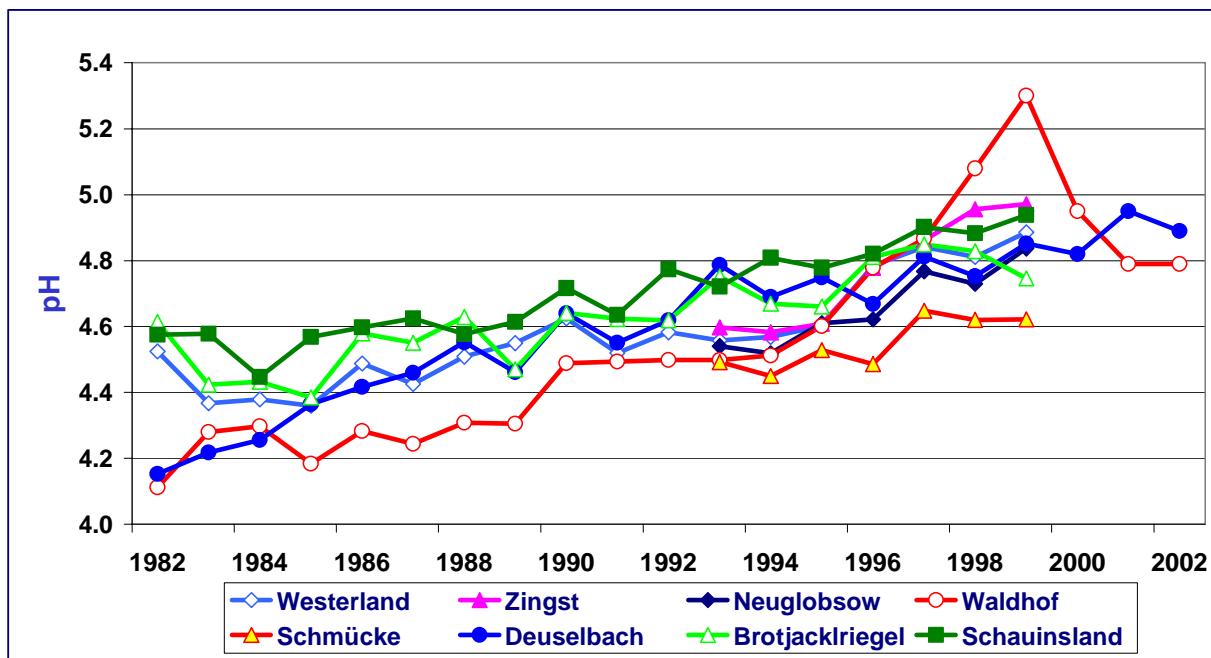


Abbildung 56: Jahresmittel pH-Wert im Niederschlag (daily-bulk) von 1982 bis 2002 für die personell besetzten UBA-Messstellen.

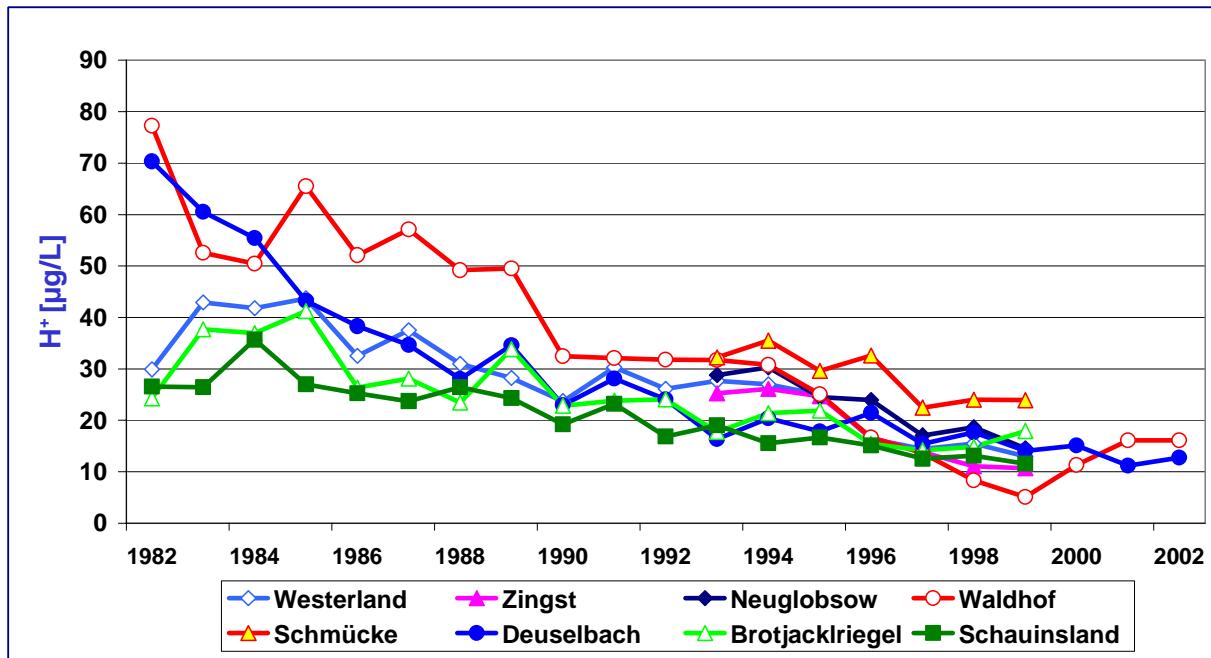


Abbildung 57: Jahresmittel  $\text{H}^+$ -Ionen-Konzentration im Niederschlag von 1982 bis 2002 für die personell besetzten UBA-Messstellen (daily-bulk-Messungen).

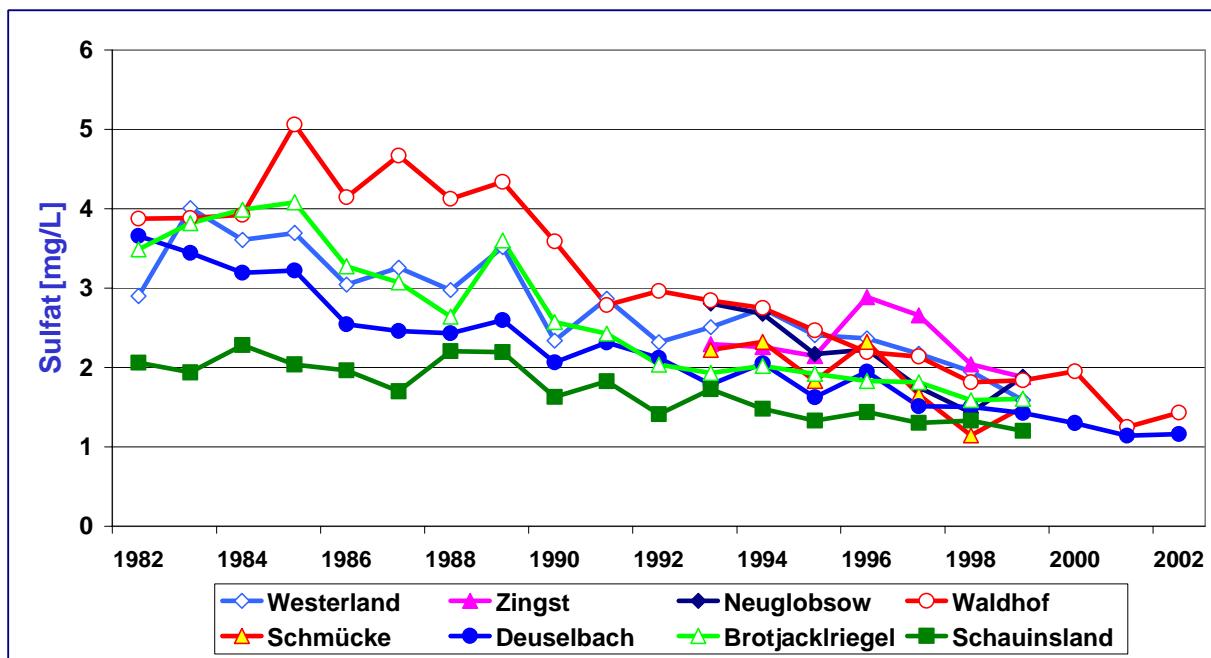


Abbildung 58: Jahresmittel  $\text{SO}_4^{=}$ -Ionen-Konzentration (seesalzkorrigiert) im Niederschlag (daily-bulk) von 1982 bis 2002 für die personell besetzten UBA-Messstellen.

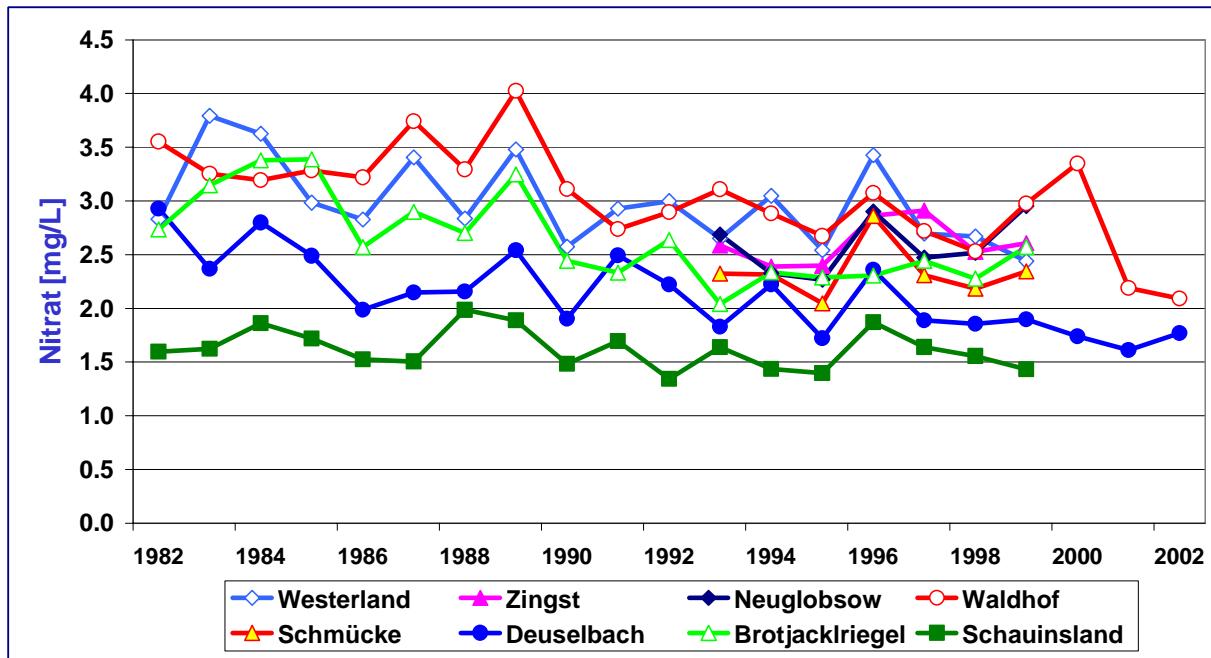


Abbildung 59: Jahresmittel  $\text{NO}_3^-$ -Ionen-Konzentration im Niederschlag (daily-bulk) von 1982 bis 2002 für die personell besetzten UBA-Messstellen.

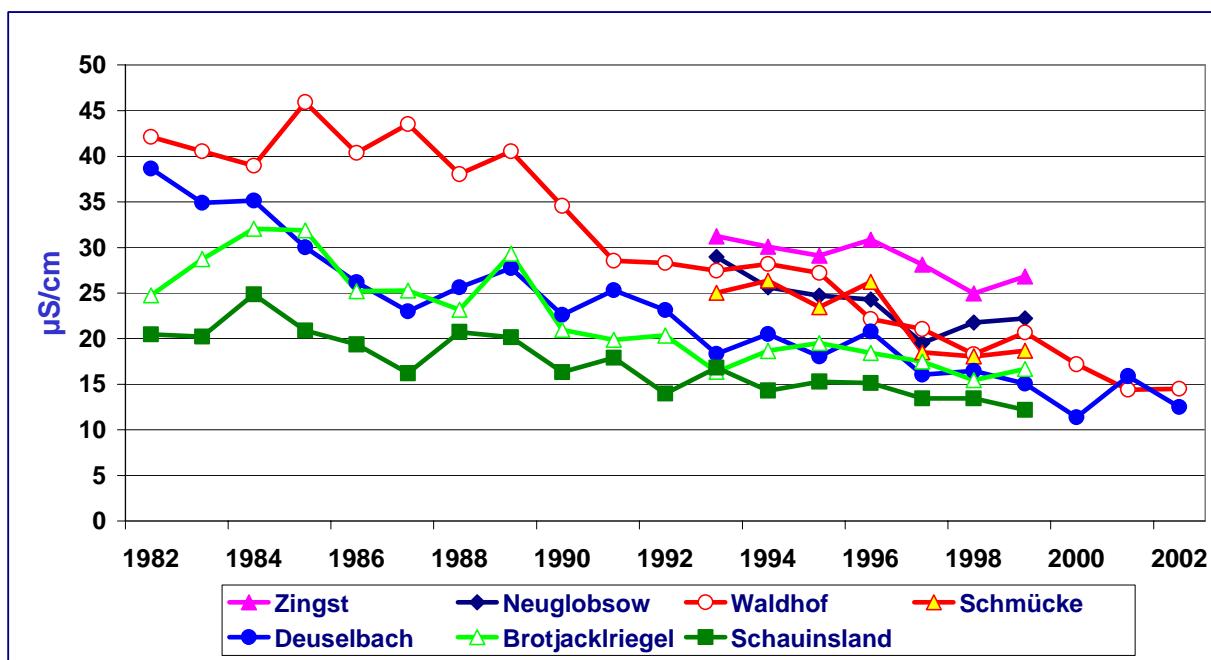


Abbildung 60: Jahresmittel der Leitfähigkeit des Niederschlags von 1982 bis 2002 (daily-bulk) für die personell besetzten UBA-Messstellen.

Tabelle 86: Mittlere monatliche Konzentrationen im Niederschlag für 2002 in Waldhof (daily-bulk)

Zeitraum	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
Jan.	52.5	4.84	19.6	0.55	1.12	0.07	0.12	0.14	1.18	1.56	1.95
Feb.	87.3	4.81	18.3	0.56	0.77	0.05	0.12	0.10	1.20	1.81	1.34
Mär.	36.9	4.77	32.8	1.63	1.38	0.12	0.31	0.18	2.87	4.10	2.54
Apr.	58.0	4.77	21.2	1.29	0.22	0.08	0.25	0.04	2.44	2.78	0.39
Mai	52.4	4.51	31.2	1.82	0.18	0.27	0.37	0.07	3.01	4.57	0.29
Jun.	40.6	4.74	19.3	0.83	0.17	0.08	0.31	0.05	2.13	2.34	0.26
Jul.	168.5	4.86	12.3	0.57	0.08	0.05	0.21	0.03	1.13	1.49	0.12
Aug.	153.2	4.96	14.6	1.01	0.03	0.06	0.14	0.02	1.48	1.74	0.07
Sep.	21.2	5.07	13.5	0.65	0.45	0.04	0.11	0.06	1.14	1.61	0.79
Okt.	69.3	4.83	21.1	0.44	1.29	0.09	0.20	0.16	1.26	1.70	2.32
Nov.	80.5	4.64	19.2	0.41	0.10	0.05	0.40	0.03	1.16	2.28	0.18
Dez.	37.7	4.74	12.5	0.29	0.05	0.04	0.09	0.02	0.85	1.51	0.11

Tabelle 87: Mittlere monatliche Konzentrationen im Niederschlag für 2002 in Deuselbach (daily-bulk)

Zeitraum	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
Jan.	34.9	4.96	13.0	0.37	0.59	0.06	0.17	0.09	1.11	1.16	1.01
Feb.	141.1	5.07	10.7	0.32	0.48	0.05	0.15	0.07	0.85	1.04	0.82
Mär.	62.1	5.39	7.4	0.40	0.16	0.05	0.18	0.03	0.64	1.04	0.27
Apr.	33.7	4.71	28.3	1.76	0.47	0.17	0.29	0.08	2.62	4.36	0.83
Mai	62.8	4.83	15.9	0.62	0.21	0.11	0.28	0.05	1.77	2.74	0.40
Jun.	33.6	4.82	18.2	0.81	0.16	0.08	0.51	0.07	1.73	2.80	0.33
Jul.	81.6	4.73	18.8	0.89	0.11	0.11	0.23	0.04	1.82	2.40	0.21
Aug.	84.6	4.82	17.2	0.95	0.07	0.05	0.13	0.02	1.71	2.50	0.13
Sep.	43.2	4.70	16.8	0.57	0.11	0.03	0.12	0.02	1.25	2.10	0.22
Okt.	96.6	4.78	15.2	0.38	0.33	0.06	0.21	0.06	1.25	1.52	0.62
Nov.	94.2	5.07	8.0	0.14	0.19	0.03	0.17	0.05	0.54	1.03	0.33
Dez.	54.4	5.05	7.9	0.19	0.17	0.03	0.15	0.04	0.60	0.97	0.30

Tabelle 88: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima, und –minima, Jahresmittel der Konzentrationen im Niederschlag sowie Summen der Niederschlagsmenge in Waldhof für 1982 bis 2002 (daily-bulk).

Zeitraum	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											
82-02	168.5	5.96	99.2	-	-	-	-	-	15.66	11.45	8.90
84-02	168.5	5.96	91.5	4.21	4.06	0.52	2.47	0.48	15.66	11.45	8.90
Kleinste Monatswerte											
82-02	0.8	3.84	10.4	-	-	-	-	-	0.76	1.14	0.07
84-02	0.8	3.92	10.4	0.18	0.03	0.03	0.08	0.02	0.76	1.14	0.07
Mittlerer Jahresgang 1984-2002											
Jan.	48.0	4.56	28.2	0.58	1.11	0.11	0.36	0.17	2.34	2.38	2.17
Feb.	42.3	4.59	29.5	0.70	1.28	0.12	0.40	0.18	2.48	2.47	2.44
Mär.	42.9	4.57	31.1	1.14	0.71	0.13	0.43	0.14	2.96	3.36	1.50
Apr.	35.3	4.57	33.3	1.64	0.41	0.17	0.64	0.12	3.93	4.20	0.86
Mai	46.1	4.34	38.1	1.52	0.23	0.21	0.66	0.10	4.64	4.05	0.53
Jun.	54.0	4.41	29.8	0.96	0.23	0.12	0.47	0.09	3.29	3.07	0.54
Jul.	73.0	4.49	26.0	0.94	0.17	0.11	0.44	0.07	2.95	2.82	0.37
Aug.	61.6	4.52	28.8	1.12	0.27	0.18	0.54	0.09	3.28	3.03	0.58
Sep.	53.0	4.47	30.6	0.93	0.55	0.13	0.49	0.12	3.37	3.05	1.10
Okt.	44.8	4.59	25.8	0.74	0.58	0.13	0.47	0.12	2.61	2.66	1.15
Nov.	47.8	4.58	26.5	0.70	0.71	0.12	0.48	0.16	2.58	2.64	1.43
Dez.	51.0	4.57	24.8	0.57	0.60	0.10	0.36	0.11	2.28	2.28	1.23
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
2002	858.0	4.79	14.5	0.79	0.39	0.08	0.21	0.06	1.53	2.09	0.69

Tabelle 89: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima, und -minima, Jahresmittel der Konzentrationen im Niederschlag sowie Summen der Niederschlagsmenge in Deuselbach für 1982 bis 2002 (daily-bulk).

Zeitraum	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											
82-02	197.7	5.76	72.5	-	-	-	-	-	8.75	9.01	6.05
84-02	197.7	5.76	72.5	3.52	3.23	0.56	1.43	0.41	8.75	9.01	6.05
Kleinste Monatswerte											
82-02	3.6	3.90	7.4	-	-	-	-	-	0.54	0.50	0.11
84-02	3.6	3.96	7.4	0.11	0.07	0.02	0.09	0.02	0.54	0.50	0.11
Mittlerer Jahresgang 1984-2002											
Jan.	57.7	4.74	17.1	0.27	0.66	0.08	0.23	0.09	1.42	1.22	1.28
Feb.	54.4	4.68	19.1	0.44	0.59	0.09	0.27	0.09	1.63	1.66	1.10
Mär.	59.0	4.72	21.5	0.86	0.37	0.09	0.33	0.07	2.17	2.27	0.75
Apr.	47.8	4.48	29.4	1.03	0.31	0.11	0.41	0.08	3.00	3.26	0.68
Mai	56.6	4.39	30.6	0.99	0.17	0.13	0.40	0.07	3.19	3.29	0.37
Jun.	65.4	4.47	26.6	0.78	0.16	0.10	0.41	0.06	2.85	2.66	0.35
Jul.	69.7	4.57	22.6	0.69	0.15	0.09	0.43	0.05	2.45	2.22	0.34
Aug.	53.4	4.69	19.9	0.75	0.18	0.11	0.37	0.05	2.15	2.22	0.36
Sep.	72.7	4.61	19.7	0.52	0.24	0.07	0.33	0.05	1.86	1.97	0.48
Okt.	70.3	4.76	14.9	0.32	0.32	0.07	0.28	0.06	1.49	1.39	0.61
Nov.	61.4	4.65	17.6	0.38	0.38	0.06	0.26	0.07	1.51	1.62	0.73
Dez.	62.4	4.75	15.6	0.26	0.49	0.06	0.23	0.08	1.31	1.31	0.96
Jahreswerte											
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
2002	822.9	4.89	12.5	0.54	0.26	0.06	0.20	0.05	1.23	1.77	0.46

## 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:  $D = cG$

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 90 und Tabelle 91 sind die monatlichen Depositionen der Ionen im Niederschlag für Waldhof und Deuselbach für das Jahr 2002 zusammengestellt. Tabelle 92 und Tabelle 93 enthalten die mittleren Jahresgänge der Depositionen sowie deren Jahreswerte. In Abbildung 61 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 2002 dargestellt.

Aus den Tabellen sowie aus der Abbildung 62 ist ersichtlich, dass die jährlichen Regenmengen zwar von Jahr zu Jahr erheblichen Schwankungen unterliegen, zwischen 1982 und 2002 aber keinen systematischen Trend aufweisen. Das bedeutet, dass die Langzeitrends 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.

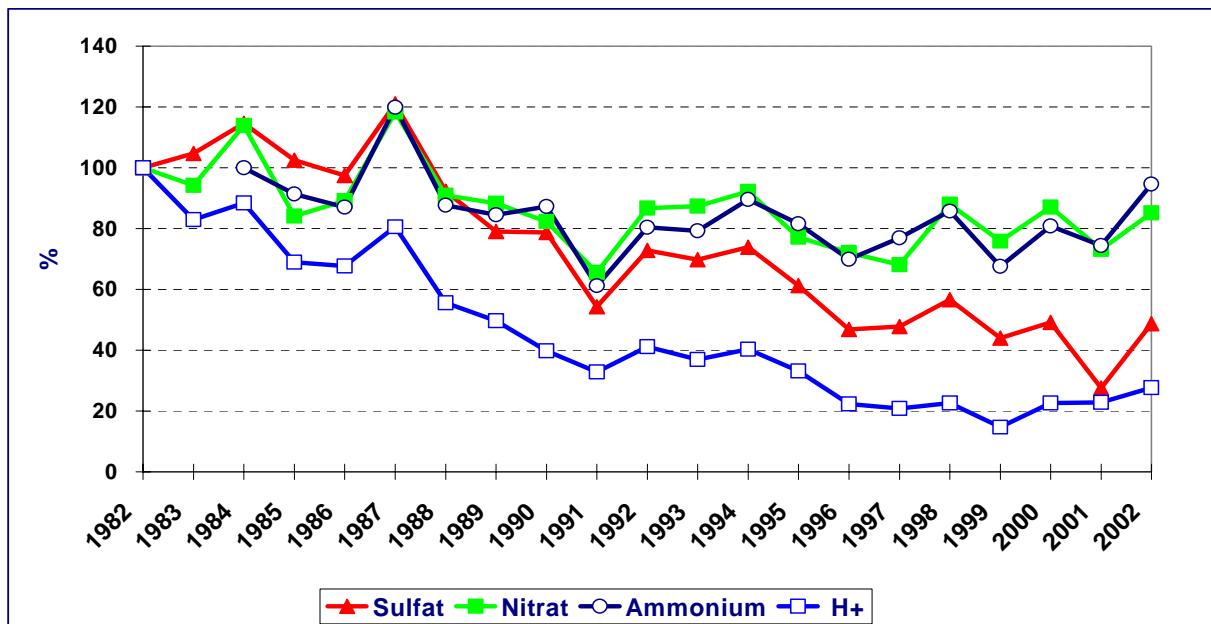


Abbildung 61: Rückgang der Ionendepositionen für  $H^+$ , Sulfat, Nitrat und Ammonium zwischen 1982 und 2002 im Mittel über die UBA-Stationen Deuselbach und Waldhof, normiert auf 1982 (daily-bulk-Messungen).

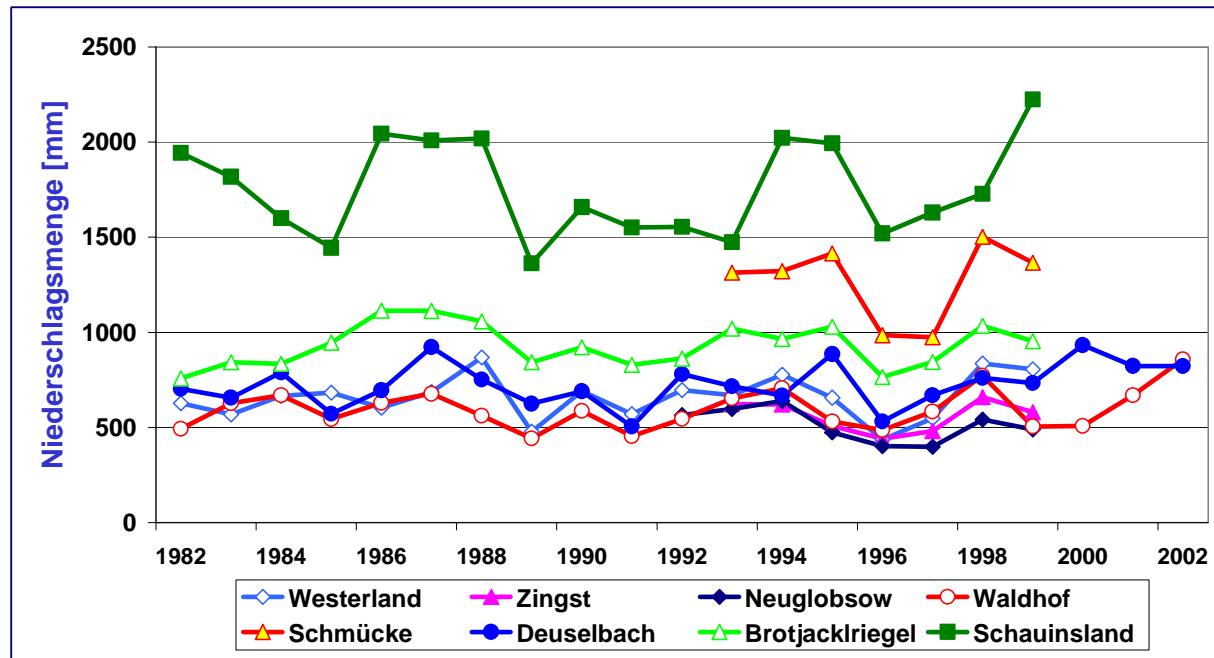


Abbildung 62: Jährliche Niederschlagsmengen an den UBA-Messstellen von 1982 bis 2002 (daily-bulk-Messungen).

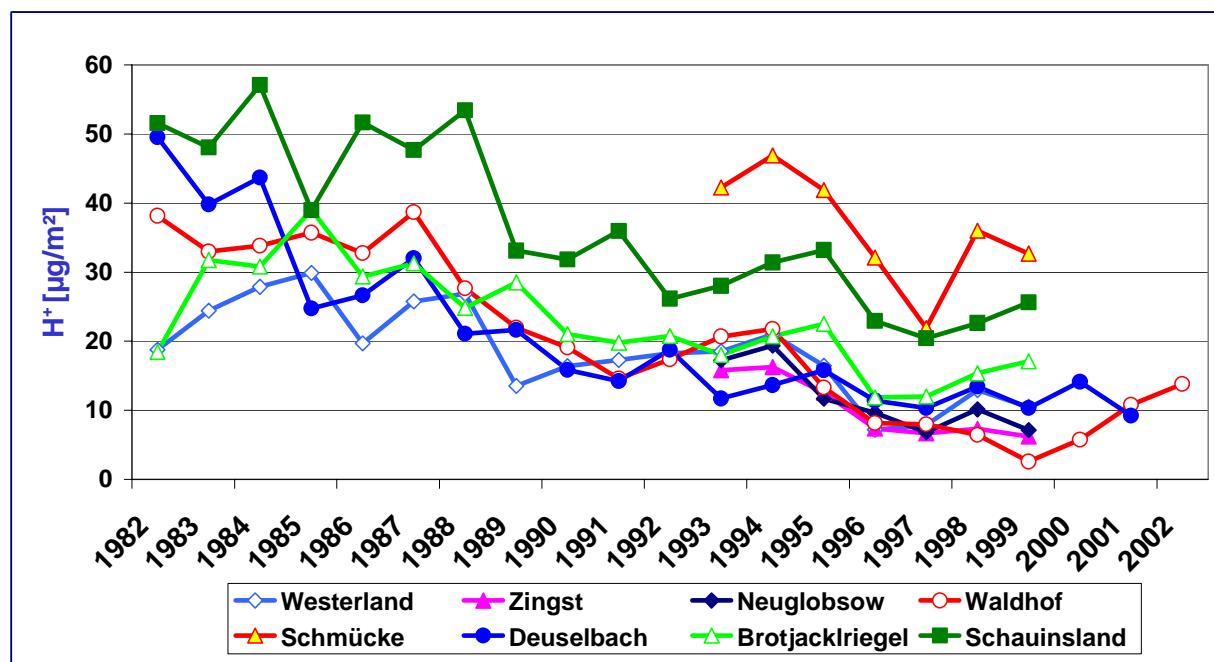


Abbildung 63: Jährliche Depositionen von H<sup>+</sup> an den Messstellen des UBA zwischen 1982 bis 2002 (daily-bulk-Messungen).

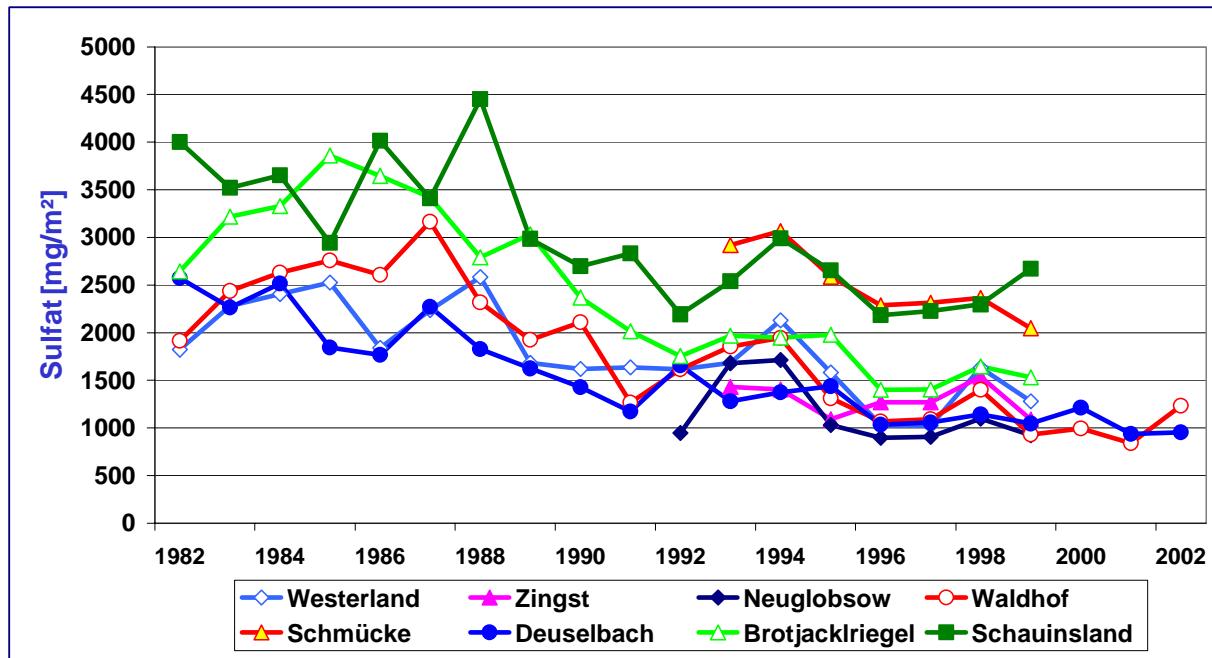


Abbildung 64: Jährliche Depositionen von  $\text{SO}_4^{2-}$  (seesalzkorrigiert) an den Messstellen des UBA zwischen 1982 bis 2002 (daily-bulk-Messungen).

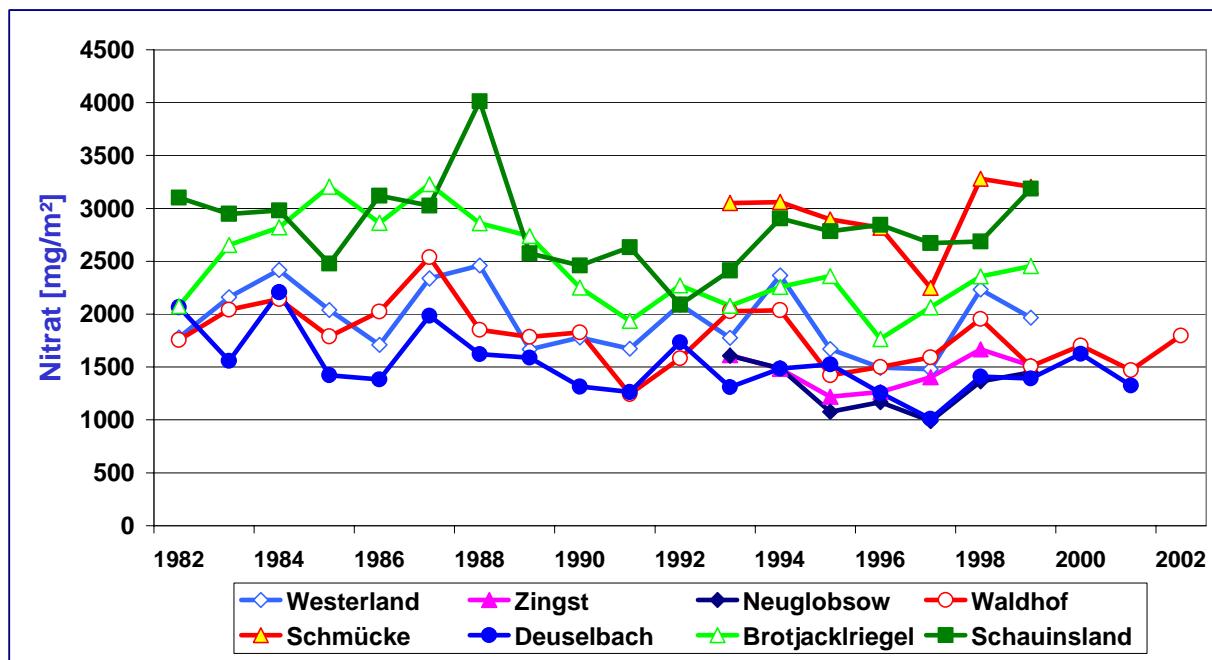


Abbildung 65: Jährliche Depositionen von  $\text{NO}_3^-$  an den Messstellen des UBA zwischen 1982 bis 2002 (daily-bulk-Messungen).

Tabelle 90: Mittlere monatliche Depositionen im Niederschlag für 2002 in Waldhof, (daily-bulk-Messungen).

Zeitraum	$\text{NH}_4^+$ mg/m <sup>2</sup>	$\text{Na}^+$ mg/m <sup>2</sup>	$\text{K}^+$ mg/m <sup>2</sup>	$\text{Ca}^{++}$ mg/m <sup>2</sup>	$\text{Mg}^{++}$ mg/m <sup>2</sup>	$\text{SO}_4^=$ mg/m <sup>2</sup>	$\text{NO}_3^-$ mg/m <sup>2</sup>	$\text{Cl}^-$ mg/m <sup>2</sup>	$\text{H}^+$ mg/m <sup>2</sup>	Regen l/m <sup>2</sup>
Jan.	29.1	58.6	3.6	6.5	7.4	61.8	81.8	102.4	0.76	52.5
Feb.	48.6	67.0	4.5	10.1	9.0	104.7	158.0	117.0	1.34	87.3
Mär.	60.0	51.0	4.3	11.4	6.8	105.9	151.2	93.5	0.62	36.9
Apr.	74.6	12.6	4.6	14.2	2.5	141.6	161.0	22.7	0.98	58.0
Mai	95.5	9.4	14.1	19.6	3.6	158.0	239.6	15.4	1.62	52.4
Jun.	33.8	6.7	3.4	12.5	1.9	86.3	95.1	10.7	0.74	40.6
Jul.	96.1	12.9	8.3	35.7	4.4	190.4	250.9	20.1	2.30	168.5
Aug.	154.9	3.9	9.1	22.1	2.8	227.2	267.3	11.4	1.69	153.2
Sep.	13.8	9.6	0.8	2.3	1.3	24.1	34.1	16.8	0.18	21.2
Okt.	30.2	89.1	6.3	13.6	10.9	87.4	117.7	160.6	1.03	69.3
Nov.	33.0	7.8	4.3	32.0	2.5	93.7	183.3	14.7	1.87	80.5
Dez.	11.0	2.0	1.3	3.3	0.8	32.1	57.1	4.2	0.69	37.7

Tabelle 91: Mittlere monatliche Depositionen im Niederschlag für 2002 in Deuselbach, (daily-bulk-Messungen).

Zeitraum	$\text{NH}_4^+$ mg/m <sup>2</sup>	$\text{Na}^+$ mg/m <sup>2</sup>	$\text{K}^+$ mg/m <sup>2</sup>	$\text{Ca}^{++}$ mg/m <sup>2</sup>	$\text{Mg}^{++}$ mg/m <sup>2</sup>	$\text{SO}_4^=$ mg/m <sup>2</sup>	$\text{NO}_3^-$ mg/m <sup>2</sup>	$\text{Cl}^-$ mg/m <sup>2</sup>	$\text{H}^+$ mg/m <sup>2</sup>	Regen l/m <sup>2</sup>
Jan.	12.9	20.5	2.1	5.9	3.2	38.8	40.4	35.2	0.39	34.9
Feb.	44.9	67.6	7.4	21.0	9.4	119.8	146.3	116.1	1.19	141.1
Mär.	24.7	10.0	3.0	11.1	2.1	40.0	64.4	16.8	0.26	62.1
Apr.	59.4	15.8	5.7	9.9	2.7	88.5	147.0	28.1	0.65	33.7
Mai	38.9	12.9	7.0	17.8	3.2	111.4	172.2	25.3	0.94	62.8
Jun.	27.3	5.2	2.8	17.1	2.2	58.1	94.2	11.2	0.50	33.6
Jul.	72.4	9.3	8.8	19.1	3.2	148.5	196.2	17.2	1.51	81.6
Aug.	80.2	6.3	4.4	11.1	1.9	144.9	211.1	11.4	1.29	84.6
Sep.	24.5	4.6	1.2	5.1	1.1	53.9	90.7	9.6	0.86	43.2
Okt.	36.7	31.8	6.0	20.4	5.6	121.0	146.8	60.0	1.62	96.6
Nov.	13.6	18.1	3.1	16.5	4.4	51.1	97.0	31.5	0.80	94.2
Dez.	10.2	9.0	1.5	8.2	2.2	32.9	52.7	16.5	0.48	54.4

Tabelle 92: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima, und –minima, Jahresmittel der Depositionen im Niederschlag sowie Summen der Niederschlagsmenge in Waldhof für 1982 bis 2002 (daily-bulk).

Zeitraum	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										
82-02	-	-	-	-	-	667	549	451.2	11.68	151.4
84-02	154.9	240.8	26.4	72.8	31.9	667	426	451.2	8.87	151.4
Kleinste Monatswerte										
82-02	-	-	-	-	-	22	27	2.7	0.02	0.8
84-02	3.2	0.8	0.6	2.3	0.5	22	31	2.7	0.02	0.8
Mittlerer Jahresgang 1984-2002										
Jan.	35.0	83.2	7.6	22.8	12.0	153	146	160.0	1.77	47.7
Feb.	35.6	71.7	5.9	20.6	9.8	123	124	134.1	1.22	39.8
Mär.	58.3	42.6	7.2	24.7	8.4	162	177	88.7	1.42	43.2
Apr.	69.9	18.3	8.0	24.5	4.9	164	179	37.4	1.19	34.1
Mai	88.0	11.8	12.6	37.8	5.7	272	242	27.6	2.88	45.7
Jun.	61.4	14.8	7.5	29.5	5.8	210	194	33.9	2.51	54.7
Jul.	79.5	13.6	8.9	36.7	5.7	240	240	29.8	2.74	67.7
Aug.	84.3	16.8	11.8	35.5	5.9	223	214	36.5	2.08	56.6
Sep.	56.7	38.6	7.9	27.5	7.5	208	194	77.6	2.33	54.7
Okt.	40.9	35.3	7.2	27.9	7.3	145	153	68.5	1.42	43.5
Nov.	37.1	34.3	6.6	25.6	8.1	135	144	69.9	1.41	46.0
Dez.	33.2	38.8	6.6	22.2	7.1	140	139	78.8	1.70	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
2002	680.6	330.5	64.7	183.2	53.7	1313	1797	589.4	13.81	858.0

Tabelle 93: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima, und –minima, Jahresmittel der Depositionen im Niederschlag sowie Summen der Niederschlagsmenge in Deuselbach für 1982 bis 2002 (daily-bulk).

Zeitraum	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										
82-02	-	-	-	-	-	721	645	265.7	13.56	197.7
84-02	155.1	138.1	23.5	95.7	16.9	721	645	265.7	13.56	197.7
Kleinste Monatswerte										
82-02	-	-	-	-	-	6	8	1.2	0.03	3.6
84-02	1.1	0.5	0.1	1.8	0.2	6	8	1.2	0.03	3.6
Mittlerer Jahresgang 1984-2002										
Jan.	19.4	58.1	6.3	19.1	8.3	111	87	111.6	1.42	57.7
Feb.	30.1	43.9	6.6	19.4	6.3	108	106	80.8	1.23	54.4
Mär.	56.9	26.9	5.8	22.3	5.0	147	156	54.5	1.38	59.0
Apr.	55.3	16.4	5.6	22.9	4.4	172	185	36.7	2.12	47.8
Mai	71.9	11.9	9.2	27.1	4.5	250	254	26.2	3.63	56.6
Jun.	57.8	12.1	6.9	30.2	4.5	211	199	25.9	2.54	65.4
Jul.	55.5	11.4	6.7	32.0	3.9	195	175	25.9	2.24	69.7
Aug.	45.3	10.9	6.5	21.0	3.1	130	134	21.2	1.30	53.4
Sep.	44.7	18.8	6.2	28.2	4.2	162	174	40.1	2.24	72.7
Okt.	25.1	27.1	6.1	22.8	5.0	120	113	51.9	1.49	70.3
Nov.	24.7	27.3	4.2	18.0	4.9	101	110	52.8	1.49	61.4
Dez.	18.9	41.2	5.0	18.5	6.4	103	102	79.6	1.35	62.4
Jahreswerte										
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	1265	372.6	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
2002	445.6	211.0	53.0	163.0	41.0	1009	1459	378.9	10.49	822.9

## 2.2.3 Weekly-wet-only-Messungen

In Tabelle 94 sind die Jahresmittel der Konzentrationen im Niederschlag für die weekly-wet-only-Messstellen für 2002 und in Tabelle 95 sind die jeweiligen Depositionen für den gleichen Zeitraum dargestellt.

Ein Vergleich der daily-bulk-Messungen mit den weekly-wet-only-Messungen für die 8 personell besetzten Messstellen des UBA, an denen zwischen 1994/95 und 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 66 mit Abbildung 56 bzw. Tabelle 88 und Tabelle 89 mit Tabelle 94) 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. 16, sowie neuere Auswertungen 1999).

In Abbildung 66 sind die Jahresmittel des pH-Wertes im Niederschlag für die Jahre 1994 bis 2002 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 67 zeigt den an allen Stationen abfallenden Trend der Jahresmittel der seesalzkorrigierten Sulfatkonzentrationen im Niederschlag zwischen 1994 und 2002. Abbildung 68 zeigt die räumliche und zeitliche Verteilung der Ammoniumkonzentrationen, Abbildung 69 die der Nitratkonzentrationen im Niederschlag. Abbildung 70 zeigt die jährlichen Niederschlagssummen für diesen Zeitraum. In Abbildung 71 ist die nasse Gesamt-Stickstoffdeposition für 1994 bis 2002 an diesen Standorten dargestellt. Weder bei den Ammonium- oder Nitratkonzentrationen noch bei der Stickstoffdeposition lässt sich ein klarer Trend erkennen.

Zum wet-only-Messnetz gehören auch zur besseren Abbildung der großräumigen Situation in Deutschland 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 über NN in m	Messbeginn
		Nord	Ost		
Dunum	DU	53°28'28"	07°35'15"	3	Apr 98
Solling	SG	51°45'39"	09°34'46"	500	Jan 94
Hilchenbach	HI	50°55'54"	08°11'36"	635	Jan 95

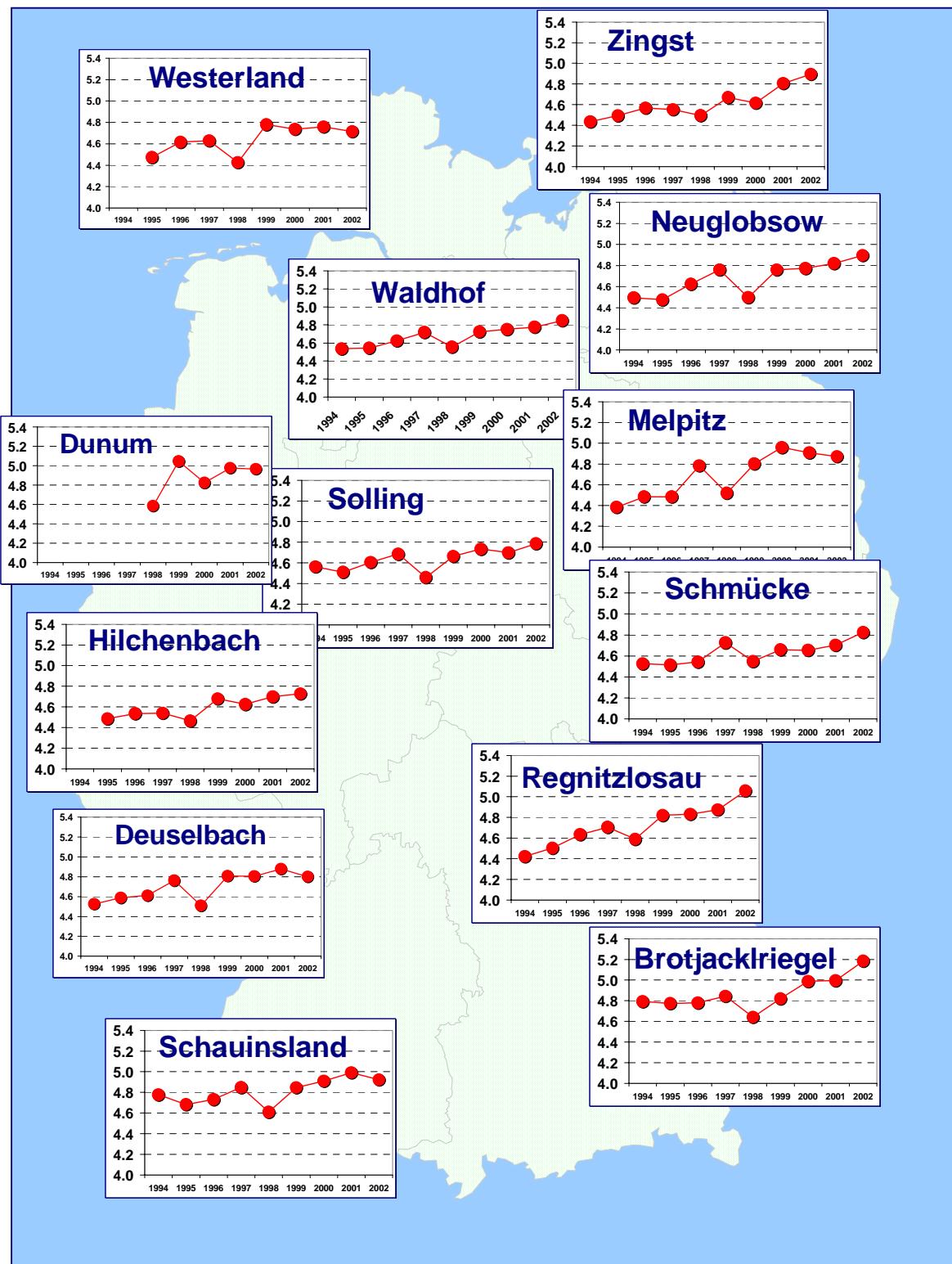


Abbildung 66: Jahresmittel pH-Wert im Niederschlag 1994 bis 2002, wet-only-Messungen

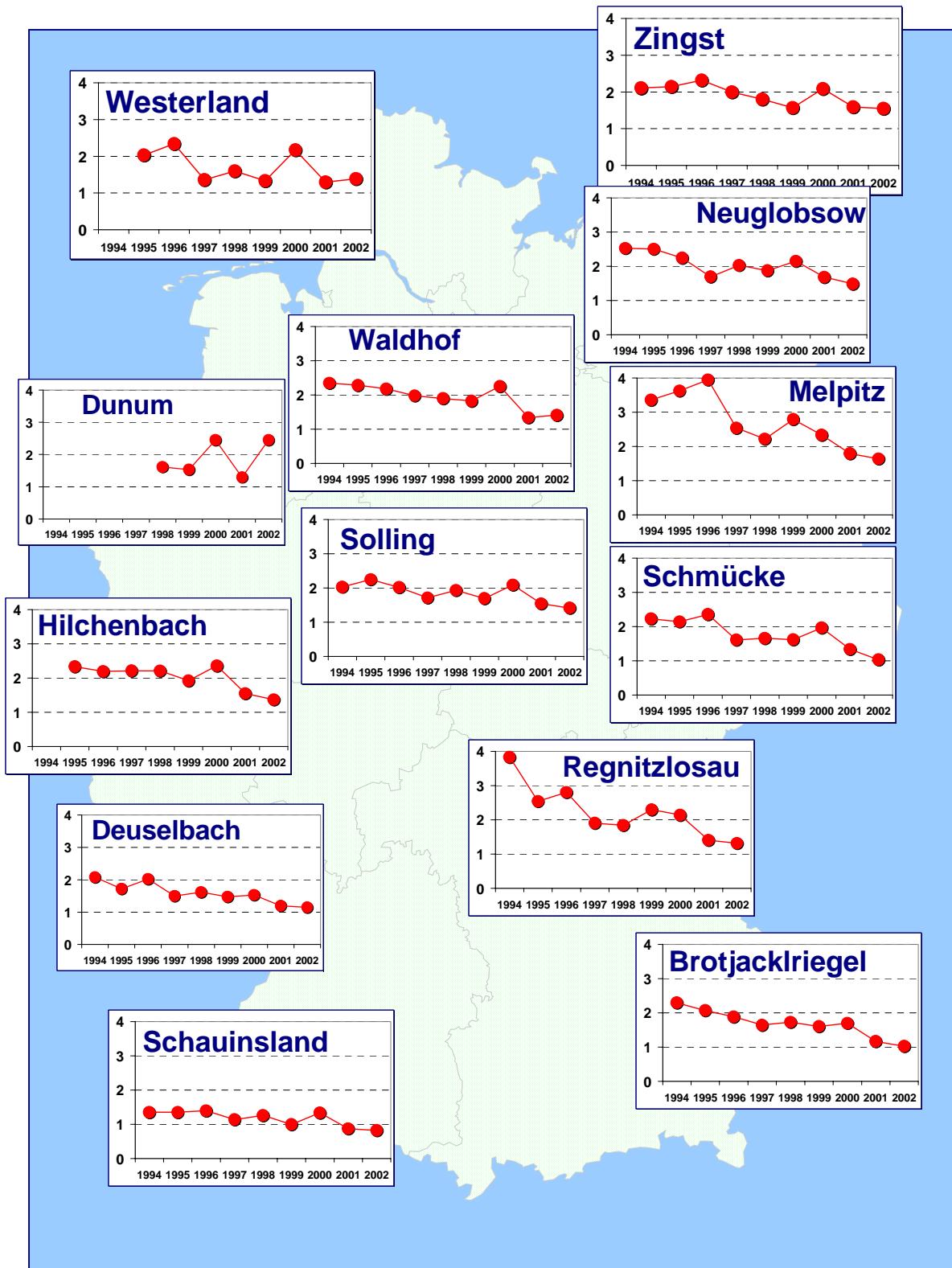


Abbildung 67: Jahresmittel Sulfat im Niederschlag 1994 bis 2002 in mg/l, wet-only-Messungen, seesalzkorrigiert

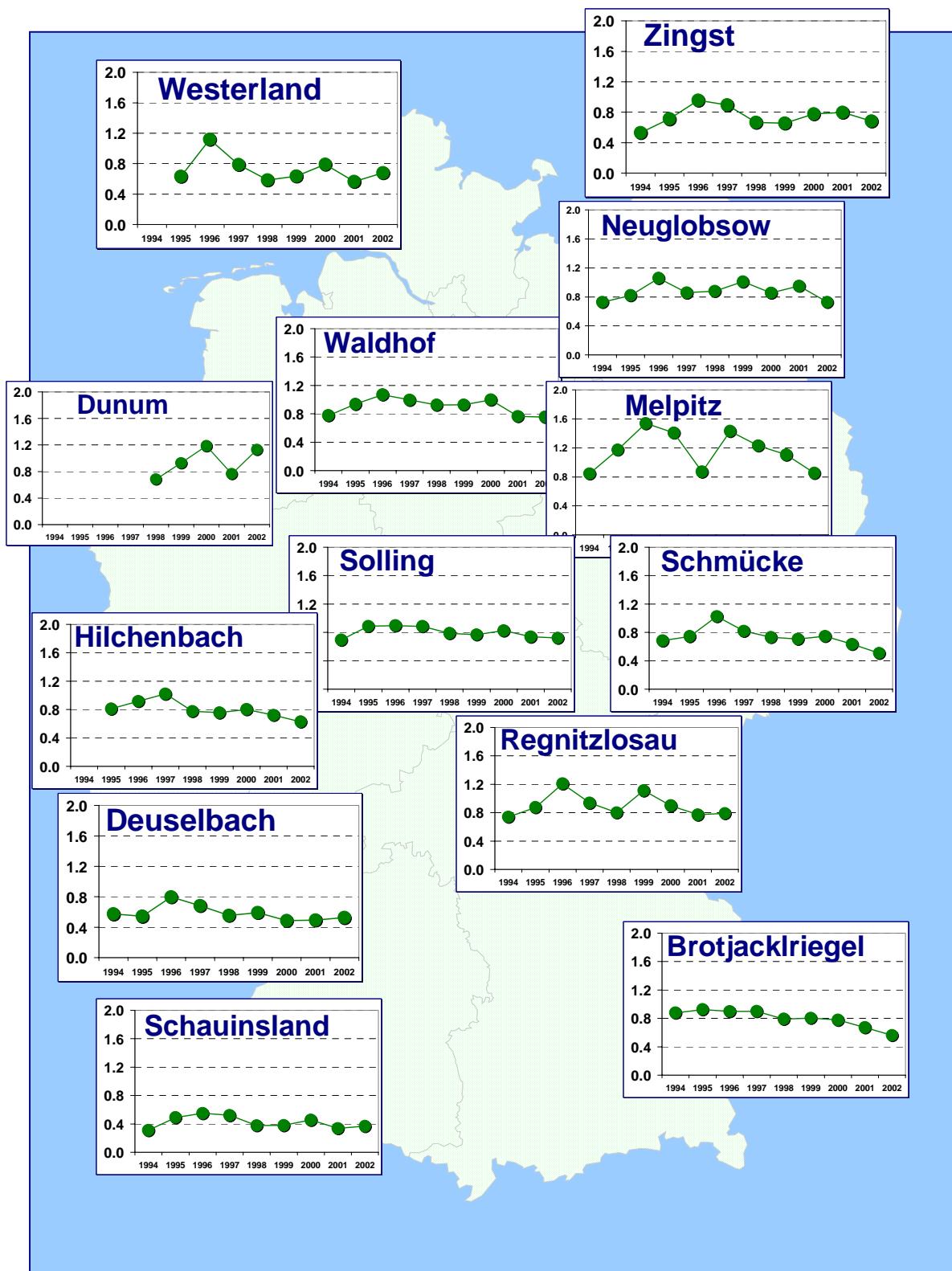


Abbildung 68: Jahresmittel Ammonium im Niederschlag 1994 bis 2002 in mg/l, wet-only-Messungen

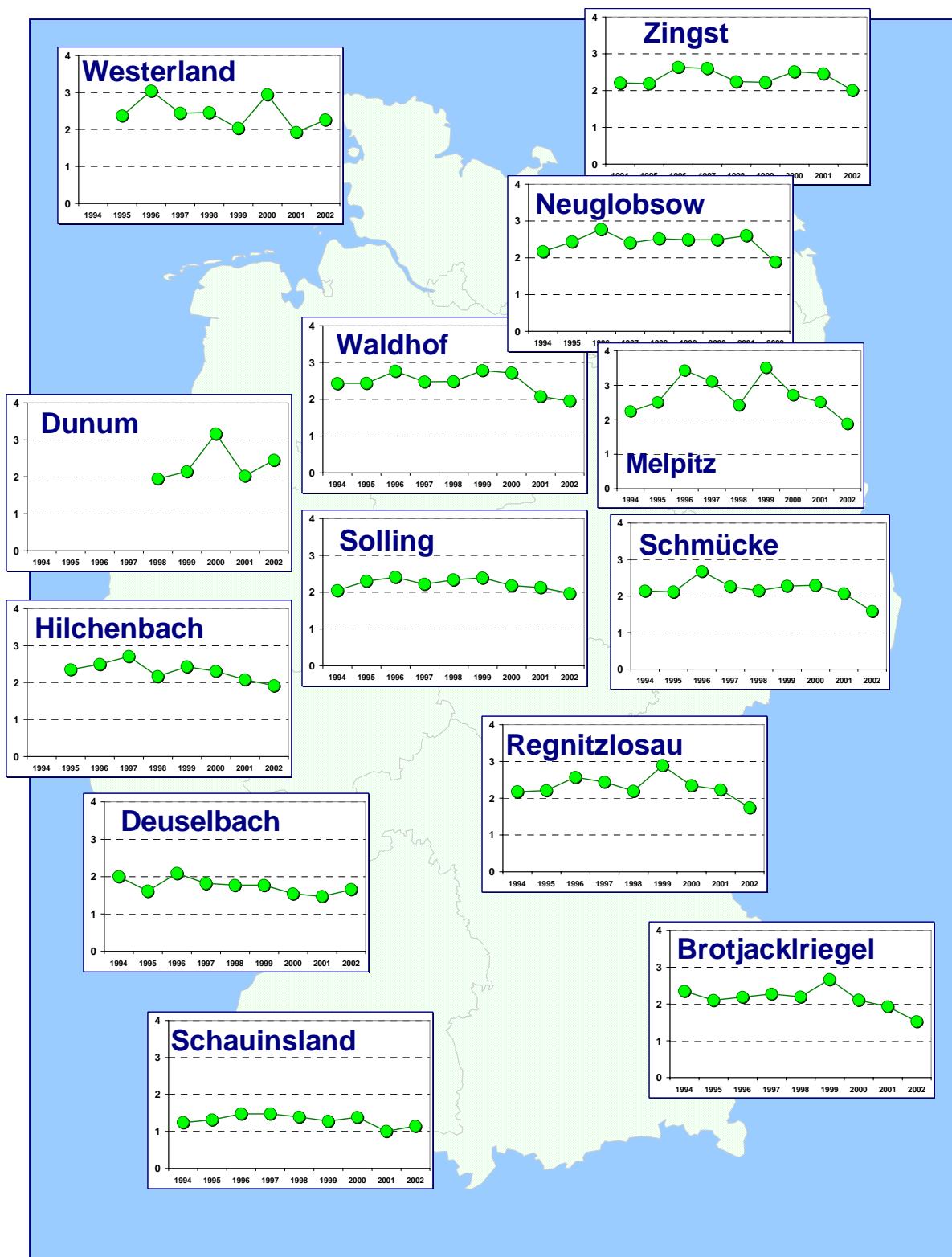


Abbildung 69: Jahresmittel Nitrat im Niederschlag 1994 bis 2002 in mg/l, wet-only-Messungen

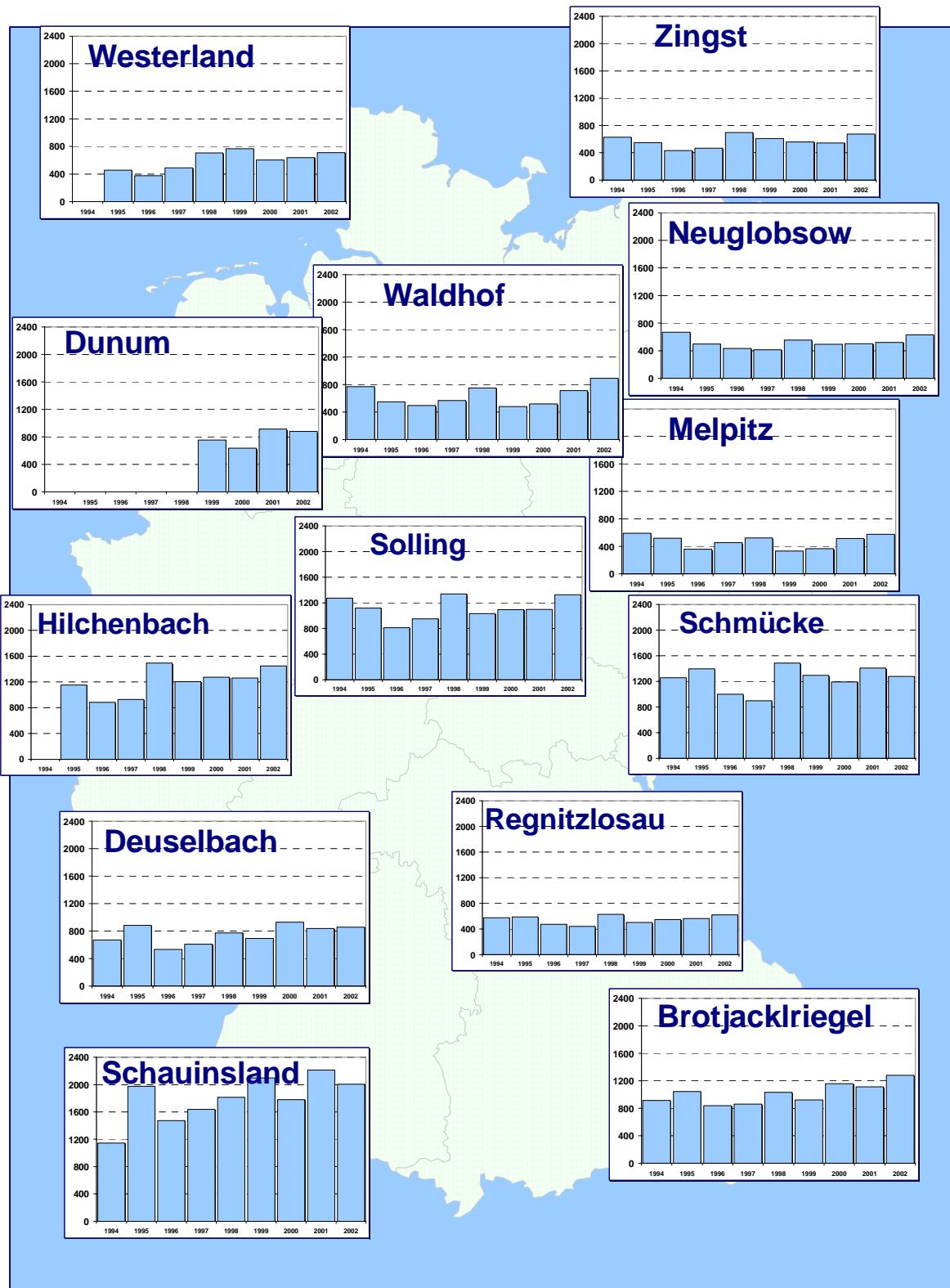


Abbildung 70: Jahressummen der Niederschlagsmengen von 1994 bis 2002 in mm, wet-only-Messungen

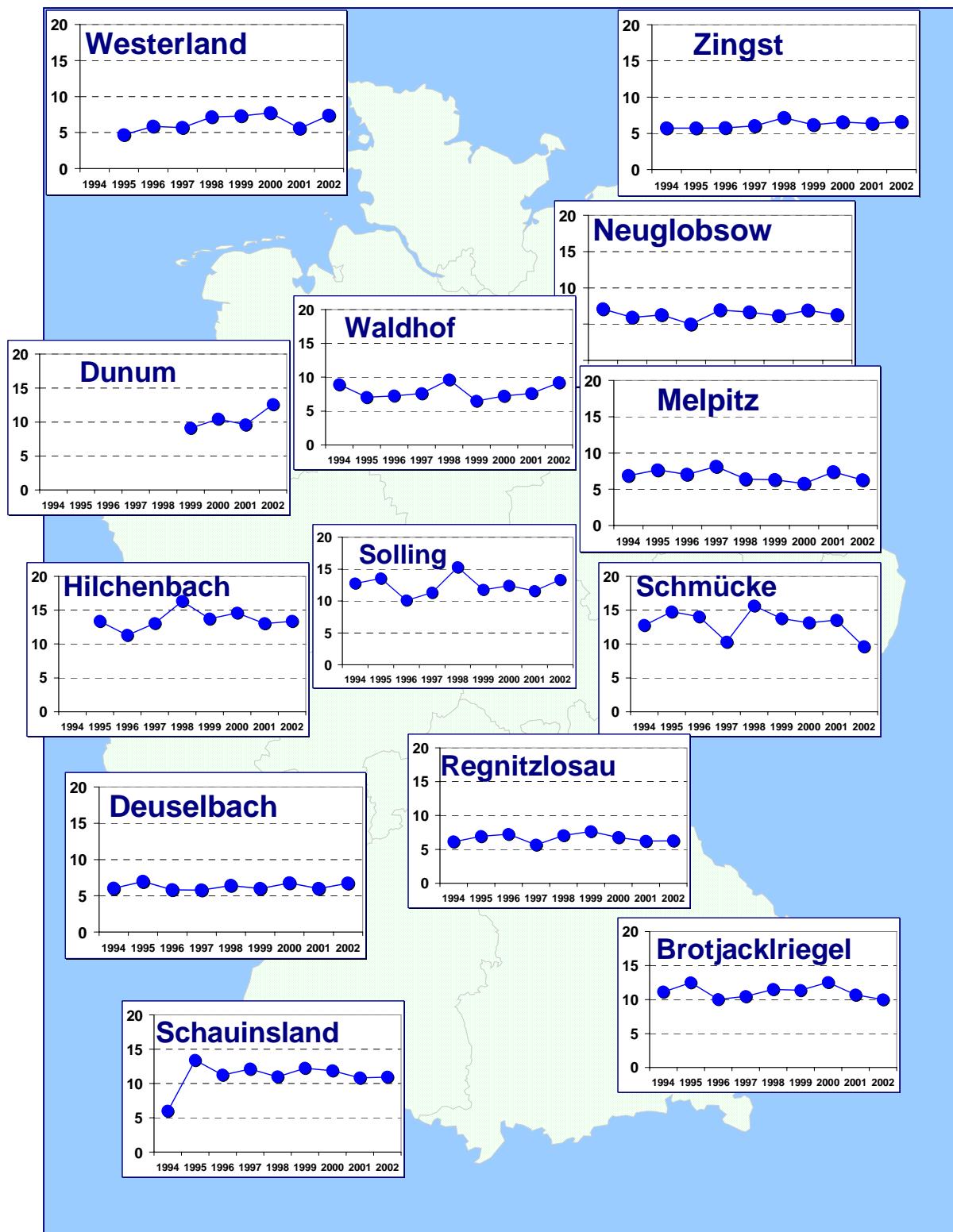


Abbildung 71: Jahresmittel der Stickstoff-Deposition aus dem Niederschlag, 1994 bis 2002 in kg/ha, wet-only-Messungen

Tabelle 94: Jahresmittel der Konzentrationen im Niederschlag für 2002, weekly wet-only-Messnetz.  $\text{XSO}_4^-$  = seesalzkorrigiertes Sulfat

Stat.	Regen [mm]	pH-Wert	Leitf. [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	$\text{NH}_4^+$ [mg/l]	$\text{Na}^+$ [mg/l]	$\text{K}^+$ [mg/l]	$\text{Ca}^{++}$ [mg/l]	$\text{Mg}^{++}$ [mg/l]	$\text{SO}_4=$ [mg/l]	$\text{XSO}_4=$ [mg/l]	$\text{NO}_3^-$ [mg/l]	$\text{Cl}^-$ [mg/l]
BR	1279.9	5.18	8.98	0.56	0.10	0.04	0.33	0.03	1.05	1.03	1.52	0.15
DE	857.8	4.80	12.05	0.53	0.24	0.04	0.19	0.05	1.21	1.15	1.66	0.42
DU	879.4	4.97	22.90	1.13	1.75	0.14	0.35	0.26	2.03	1.59	2.45	2.91
FA	567.2	4.76	14.79	0.78	0.20	0.07	0.25	0.04	1.93	1.89	1.99	0.35
HI	1449.8	4.73	15.01	0.63	0.35	0.05	0.17	0.06	1.46	1.37	1.92	0.56
KL	907.3	4.84	12.46	0.60	0.15	0.05	0.38	0.04	1.37	1.33	1.82	0.27
LM	1201.0	4.88	11.49	0.66	0.13	0.04	0.24	0.03	1.44	1.41	1.45	0.23
MP	576.4	4.87	13.37	0.85	0.18	0.08	0.26	0.04	1.68	1.64	1.88	0.34
NG	630.3	4.90	13.56	0.73	0.32	0.08	0.35	0.06	1.57	1.49	1.89	0.54
OE	859.2	4.84	12.37	0.63	0.21	0.10	0.28	0.04	1.20	1.15	1.88	0.37
RE	621.9	5.06	11.15	0.79	0.12	0.06	0.22	0.03	1.35	1.32	1.74	0.21
RS	1113.3	5.14	8.75	0.62	0.06	0.04	0.26	0.03	0.79	0.85	1.53	0.12
SC	2007.4	4.92	8.49	0.37	0.10	0.02	0.12	0.02	0.85	0.82	1.14	0.17
SG	1326.0	4.79	14.42	0.72	0.36	0.05	0.17	0.06	1.51	1.42	1.97	0.60
SM	1277.4	4.83	11.12	0.51	0.20	0.05	0.15	0.03	1.08	1.03	1.58	0.28
WA	894.4	4.85	14.48	0.76	0.41	0.04	0.22	0.08	1.51	1.41	1.95	0.73
WE	710.6	4.72	43.38	0.68	5.21	0.21	0.38	0.66	2.69	1.39	2.26	9.17
ZG	672.4	4.90	16.27	0.68	0.88	0.06	0.46	0.13	1.77	1.55	2.01	1.53

Tabelle 95: Jahresmittel der Depositionen im Niederschlag für 2002, 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	1279.9	8.39	717.9	123.5	48.4	418.8	41.1	1347.6	1312.6	1950.1	193.2
DE	857.8	13.56	452.5	204.2	30.1	163.8	38.5	1034.1	982.5	1419.6	355.9
DU	879.4	9.50	992.0	1538.0	126.0	310.2	232.2	1783.6	1395.3	2158.3	2561.5
FA	567.2	9.95	444.0	112.4	41.3	140.5	23.3	1097.0	1070.2	1128.7	196.9
HI	1449.8	27.17	911.0	500.7	73.6	240.6	80.4	2110.2	1984.2	2778.7	817.5
KL	907.3	13.16	543.6	131.4	43.7	343.5	34.9	1246.4	1210.8	1647.5	246.4
LM	1201.0	15.69	797.2	153.8	49.1	284.0	34.2	1730.7	1691.7	1738.3	274.7
MP	576.4	7.73	490.9	102.6	47.5	147.2	21.9	970.0	944.9	1085.4	198.1
NG	630.3	8.01	459.0	198.8	46.99	217.5	37.5	987.4	936.2	1190.6	340.2
OE	859.2	12.30	539.1	178.5	82.4	237.0	32.9	1029.4	984.7	1618.4	314.1
RE	621.9	5.44	491.4	75.2	37.2	136.8	17.6	837.8	818.7	1083.9	129.4
RS	1113.3	8.00	690.9	67.0	38.8	286.4	35.0	880.4	940.4	1707.8	129.6
SC	2007.4	23.96	738.7	201.4	43.3	240.4	48.2	1701.4	1649.4	2295.7	340.5
SG	1326.0	21.63	956.5	475.8	69.2	231.0	74.9	2000.4	1876.7	2611.3	789.6
SM	1277.4	19.08	649.0	251.0	61.2	194.3	39.5	1382.6	1318.6	2023.8	359.1
WA	894.4	12.67	675.4	367.9	36.5	195.7	74.8	1353.9	1262.0	1746.9	656.9
WE	710.6	13.70	483.9	3700.5	148.8	266.3	466.0	1912.4	984.3	1607.4	6518.5
ZG	672.4	8.56	459.1	590.5	43.1	308.2	89.9	1191.2	1042.4	1349.0	1026.7

## 2.3 Meteorologischer Überblick 2002

### 2.3.1 Temperatur

Bezogen auf den Jahresmittelwert der Lufttemperatur war das Jahr 2002 im Vergleich zum 30-jährigen Durchschnitt (1961-1990) an den meisten Stationen um 1 bis 1,5 K wärmer. Größere Abweichungen von 2-2,5 K gab es im Wesentlichen nur gebietsweise im Alpenraum und dessen Vorland. An den im Flachland befindlichen Stationen wurden Jahresmittel zwischen 9 und 12 °C gemessen. Im Mittelgebirgsraum (500 m NN) lagen sie bei 8 °C und im höheren Bergland (1000 m NN) bei 6 °C (siehe Tabelle 96).

In Tabelle 97 sind die absoluten Temperaturmaxima (Halbstundenwerte) jeden Monats des Jahres 2002 angeführt. Der höchste Halbstundenwert trat im Juni in Gittrup (Münsterland) mit 37 °C auf. Selbst auf den Bergstationen in Höhenlagen zwischen 1000 und 1200 m über NN wurden sommerliche bis hochsommerliche Temperaturen registriert (Schauinsland 27 °C, Schmücke 29 °C, Brotjacklriegel 30 °C). Wie aus der Tabelle ersichtlich, kamen im Jahr 2002 die maximalen Halbstundenwerte entweder im Juni oder im Juli vor, nicht aber - wie so oft - im August. Andererseits ist zu erkennen, dass in den Wintermonaten auch milde Wetterlagen herrschten mit Tageshöchsttemperaturen von 15 – 18 °C.

In Tabelle 98 sind die absoluten Temperaturminima (Halbstundenwerte) jeden Monats des Jahres 2002 dargestellt. Der niedrigste Halbstundenwert trat im Januar mit –19 °C an der Station Schorfheide (ca. 50 km nordnordöstlich von Berlin) auf. Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass im Tiefland die letzten Frosttage (Temperaturminimum unter 0 °C) im April auftraten und der erste Frost bereits wieder im September einsetzte. Berücksichtigt man die höheren Bergstationen (bis 1200 m Höhe), dann blieben in Deutschland im Jahr 2002 nur die Monate Juni bis August gänzlich frostfrei. Die kältesten Wetterabschnitte stellten sich im Januar und Dezember ein.

In der Tabelle 99 sind die Jahresmittelwerte der Lufttemperatur seit 1982 aufgeführt. Bemerkenswert ist dabei, dass ab 1988 die Jahresmittel meistens höher als in den Jahren zuvor lagen.

Nach der Anzahl der „Sommertage“ (Temperaturmaximum 25 °C und darüber) und der „Heißen Tage“ (Temperaturmaximum 30 °C und darüber) nahm der Sommer 2002 einen mittleren Platz in der Reihe seit 1970 ein. An der Küste traten ungefähr 10 „Sommertage“ auf, im Norddeutschen Tiefland 20 bis 40, sonst 40 bis 60. Die meisten „Sommertage“ kamen im Oberrheingraben vor (64 Tage).

Im Jahre 2002 traten weniger „Frosttage“ (Temperaturminimum unter 0 °C) und „Eistage“ (Temperatur von 0 bis 24 Uhr durchweg unter 0 °C) als im Durchschnitt auf. Im Allgemeinen liegt die Anzahl der „Frosttage“ zwischen 75 und 125, die der „Eistage“ zwischen 10 und 50.

Anhand der seit 1974 vorliegenden UBA-Temperaturmessungen nahmen die Jahres-Mittelwerte der Lufttemperatur des Jahres 2002 in der Rangordnung der wärmsten Jahre folgende Plätze ein:

- Die Messstelle Westerland, gelegen auf der Nordsee-Insel Sylt in 12 m über NN, mit 9,9 °C den 7. Platz.
- Die Messstelle Waldhof, gelegen im Norddeutschen Tiefland (Lüneburger Heide) in 74 m über NN, mit 9,4 °C den 8. Platz.
- Die Messstelle Deuselbach, gelegen im Mittelgebirgsraum (Hunsrück) in 480 m über NN, mit 9,4 °C den 7. Platz.
- Die Messstelle Brotjacklriegel, gelegen im Bayerischen Wald in 1016 m über NN, mit 7,2 °C den 2. Platz.
- Die Messstelle Schauinsland, gelegen im Schwarzwald in 1205 m über NN, mit 6,7 °C den 2. Platz.

Die Platzbelegung weist zwischen der Nordsee-, Tiefland- und Mittelgebirgsstation keine größeren Unterschiede in der Rangfolge auf, wohl aber zu den im höheren Bergland befindlichen.

Tabelle 96: Monats- und Jahresmittel der Temperatur für 2002 in °C

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	4	5	5	8	13	16	17	20	16	9	5	1	10
ZG	3	5	5	7	13	17	18	20	16	8	5	0	10
HG	4	5	5	8	12	15	17	19	16	10	6	2	10
AU	4	5	5	8	14	17	18	20	15	8	5	0	10
UE	3	5	6	8	15	18	19	21	15	9	4	-2	10
NG	2	4	5	8	15	17	18	20	15	8	4	-2	9
SH	2	4	5	8	15	17	19	20	14	7	4	-2	9
BA	3	6	5	9	14	16	17	19	14	8	5	-1	10
WA	2	5	5	8	15	17	18	20	14	7	4	-2	9
GI	4	-	7	9	15	18	19	20	15	9	8	2	12
FA	2	5	6	9	16	18	20	21	15	9	4	-2	10
MP	2	6	6	8	15	17	19	20	14	9	5	-1	10
LF	1	5	5	7	13	16	17	19	13	8	5	-1	9
LM	-1	3	3	6	13	15	17	17	11	7	4	-3	8
LU	-2	2	3	6	14	16	17	19	12	6	3	-4	8
SM	-2	0	2	4	10	14	14	16	9	4	2	-3	6
RE	-1	3	4	6	13	16	17	18	12	7	4	-2	8
DE	1	5	6	8	13	17	17	17	12	9	7	3	9
EB	0	2	3	5	10	15	14	15	10	6	4	0	7
OE	0	6	7	9	14	19	18	19	13	10	7	3	10
FB	-2	2	4	6	13	16	16	16	10	6	5	0	8
BR	-1	2	4	5	12	16	15	16	10	5	4	-1	7
RS	-1	5	6	7	13	18	17	17	12	9	6	2	9
SC	1	1	3	5	8	15	13	14	9	7	4	2	7

Tabelle 97: Monatliche maximale Halbstundenwerte der Temperatur für 2002 in °C

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	9	11	13	18	23	30	29	28	24	17	11	6
ZG	11	15	18	18	26	31	32	29	27	20	12	6
HG	8	10	12	15	20	26	25	25	22	17	10	8
AU	12	15	16	19	27	34	32	31	26	20	11	8
UE	13	15	19	18	28	33	34	30	27	19	10	6
NG	13	16	19	20	28	33	33	33	28	20	11	7
SH	14	16	19	19	27	33	34	32	28	20	12	6
BA	13	16	16	20	27	34	33	32	27	20	12	8
WA	13	16	19	21	28	34	34	32	27	20	12	8
GI	15	-	19	20	27	37	34	32	30	19	14	11
FA	14	16	18	19	29	32	34	31	27	19	12	6
MP	15	17	19	18	26	32	33	29	28	19	13	7
LF	12	16	16	18	25	32	31	29	26	17	11	9
LM	12	14	17	17	23	29	29	26	23	18	13	5
LU	13	11	16	16	24	31	30	28	25	15	15	5
SM	7	11	14	14	24	29	29	27	23	15	10	6
RE	11	10	17	16	24	30	31	27	24	18	12	9
DE	12	15	16	21	26	32	30	30	23	20	13	11
EB	10	11	13	17	23	29	26	25	18	17	11	8
OE	14	18	20	19	28	36	32	30	27	19	14	12
FB	10	16	15	15	23	29	29	24	22	16	19	9
BR	11	15	15	15	24	30	28	24	21	14	17	9
RS	15	16	18	20	27	33	29	27	26	21	16	12
SC	15	16	13	14	22	27	23	23	18	16	11	10

Tabelle 98: Monatliche minimale Halbstundenwerte der Temperatur für 2002 in °C

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

Tabelle 99: Jahresmittel der Temperatur für 1982 bis 2002 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	7	6	7	-	
1997	9	9	9	-	9	9	9	9	9	9	9	-	9	9	10	10	9	-	
1998	9	9	9	-	-	11	9	-	9	10	-	-	9	9	10	10	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	
2002	10	10	10	10	-	-	10	-	9	-	9	-	10	9	-	12	-	10	
Stat.	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	EB	AS	OE	BR	FB	RT	SC	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	-	
1996	7	7	-	4	-	-	3	6	6	7	-	5	-	4	-	8	5	-	
1997	10	9	10	6	-	-	5	8	8	9	-	8	-	5	-	10	6	-	
1998	10	-	-	6	-	-	5	9	8	9	-	9	-	6	-	10	6	-	
1999	10	9	-	-	8	8	5	-	10	9	-	9	-	7	-	-	6	-	
2000	11	9	-	-	7	8	6	-	9	10	-	10	-	7	8	-	7	-	
2001	10	9	-	-	7	7	5	-	7	9	9	-	12	6	7	-	6	-	
2002	10	9	-	-	8	8	6	-	8	9	7	-	10	7	8	-	7	9	

## 2.3.2 Sonnenschein

Mit einer Sonnenscheindauer von etwa 1300 bis 1800 Stunden entsprachen die Jahressummen im Allgemeinen dem 30-jährigen Durchschnitt. Nur vereinzelt traten Abweichungen von 20% nach oben oder unten auf. Jahressummen der Sonnenscheindauer über 1800 Stunden kamen nur an der Ostsee (Kap Arkona/Rügen: 1845 STunden) und örtlich in Süddeutschland (München: 1856 Stunden) vor, wobei auf der Zugspitze die höchste Jahressumme von 1871 Stunden zustande kam. Jahressummen unter 1300 Stunden wurden in den Mittelgebirgen wie z.B. auf dem Kamm des Thüringer Waldes (Schmücke: 1279 Stunden) oder auf dem Kahlen Asten (1229 Stunden) im Rothaargebirge registriert.

## 2.3.3 Niederschlag und Bewölkung

Im Jahre 2002 fiel in Deutschland, bis auf wenige Ausnahmen, überdurchschnittlich viel Niederschlag, vereinzelt bis zu 60% mehr. Die geringsten Niederschlagsmengen (um 600 Liter pro Quadratmeter) wurden in dem Gebiet zwischen dem Berliner Raum und der Ostseeküste gemessen, die höchsten in den Kammlagen der Mittelgebirge sowie in den Alpen (1500- 2000 l/m<sup>2</sup>). Extreme Niederschläge fielen innerhalb weniger Tage im August (z.B. in Lehnsmühle bei 300 mm, siehe Abbildung 72), die eine Hochwasserkatastrophe an der Elbe und Donau sowie den Nebenflüssen auslösten. An mindestens 142 Tagen im Jahr trat Niederschlag auf, meistens jedoch an 160 bis 200 Tagen und vereinzelt an bis zu 269 Tagen. Damit wurde die durchschnittliche Anzahl der Tage stellenweise bis zu 20 Tagen sowohl unter- als auch überschritten.

Die durchschnittliche Anzahl „Trüber Tage“ (Bedeckungsgrad der Bewölkung über 80%), die im Allgemeinen zwischen 150 und 175 liegt, wurde gebietsweise um 20 bis 60 Tage übertroffen, teilweise aber auch bis zu 30 Tagen unterschritten.

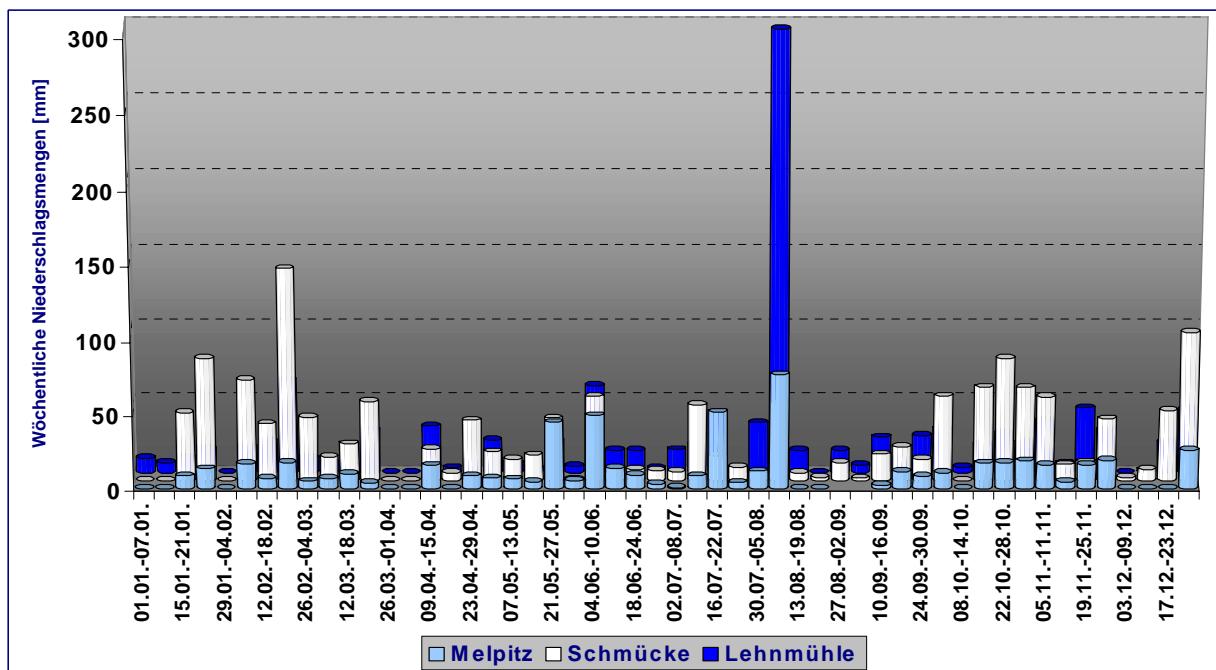


Abbildung 72: Wöchentliche Niederschlagsmengen für 2002 in Lehnsmühle, Melpitz und auf der Schmücke

## 2.3.4 Jahresverlauf an ausgewählten UBA-Stationen

### 2.3.4.1 Jahresverlauf der Temperatur

Stellvertretend für das Küstengebiet und die norddeutsche Tiefebene sowie für das mittlere und höhere Bergland werden hier nur folgende Messstellen betrachtet: Westerland, Waldhof, Deuselbach und Schauinsland. Der wärmste Monat des Jahres 2002 war in Westerland (Abbildung 73), Waldhof (Abbildung 74) und Deuselbach (Abbildung 75) der August, auf dem Schauinsland (Abbildung 76) der Juni. Der kälteste Monat des Jahres war in Westerland und Waldhof der Dezember, in Deuselbach und am Schauinsland der Januar. Die Monatsmittel der Lufttemperaturen lagen an den Stationen von Januar durchweg bis Juni über den langjährigen (28-jährigen) Durchschnittswerten, wobei an der Messstelle Schauinsland sogar das höchste Junimittel seit 1974 zu beobachten war. In der 2. Jahreshälfte lagen die Monatsmittel teilweise unter dem vieljährigen Durchschnitt. An allen Stationen befanden sich die Monatsmittel des Jahres 2002 8 bis 9-mal über den langjährigen Durchschnittswerten.

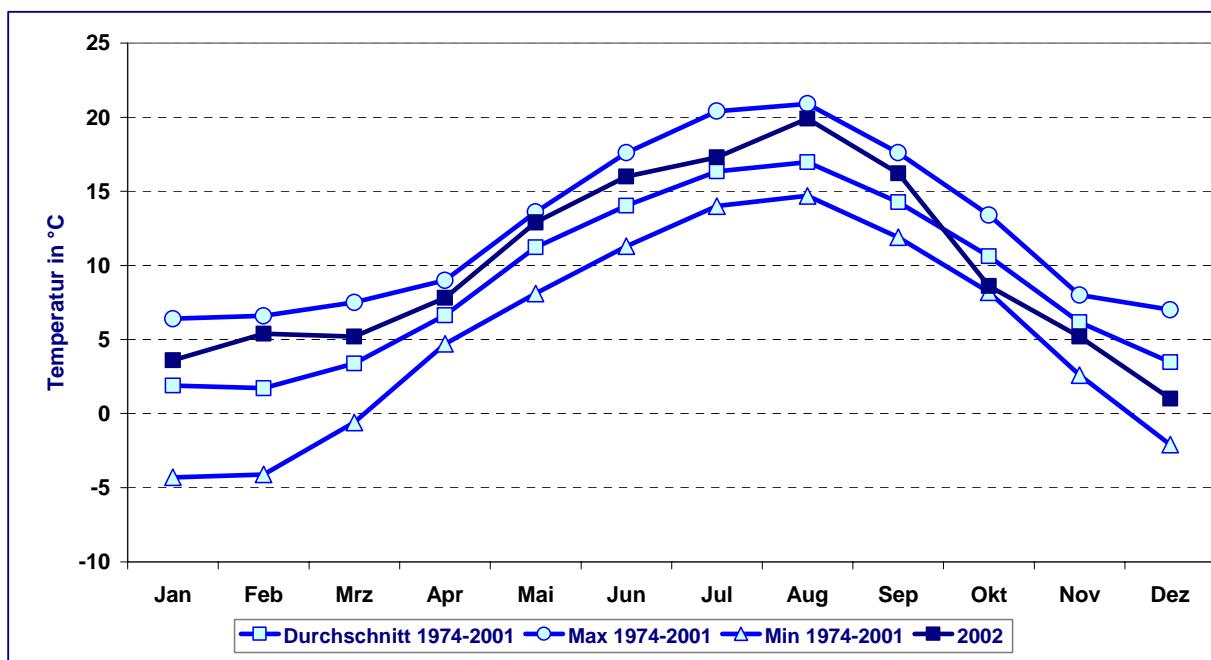


Abbildung 73: Monatsmittel der Lufttemperatur für 2002 im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (1974-2001) sowie zu den absolut höchsten und niedrigsten Monatsmitteln dieses Zeitraumes in Westerland.

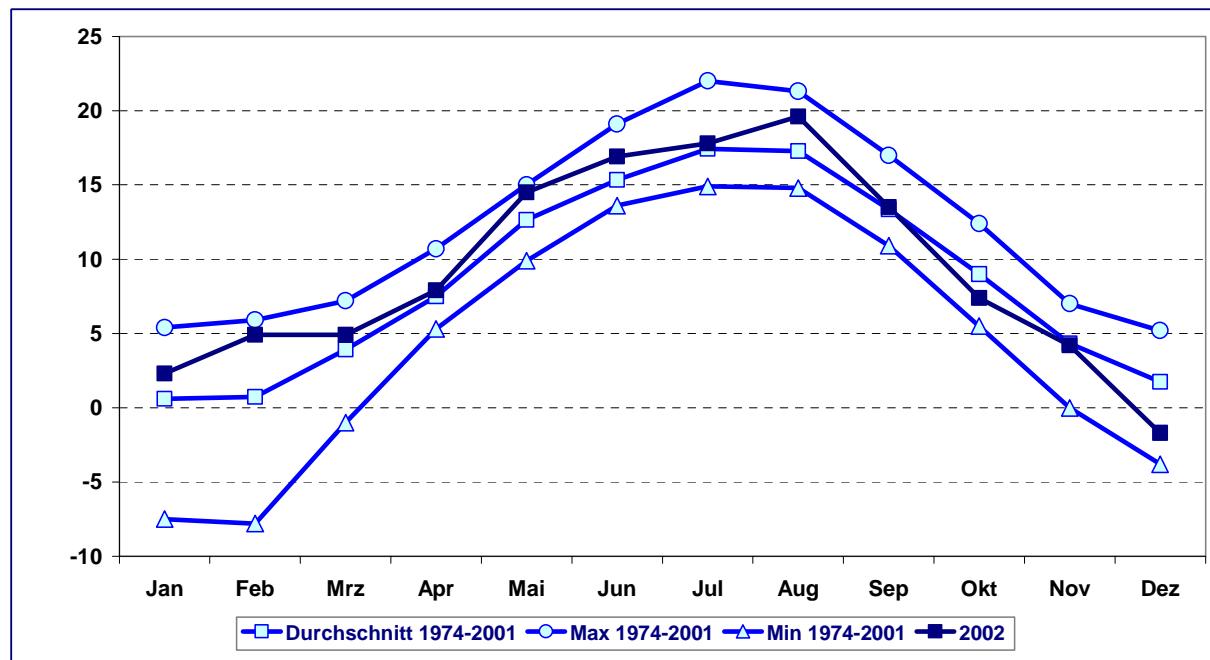


Abbildung 74: Monatsmittel der Lufttemperatur für 2002 im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (1974-2001) sowie zu den absolut höchsten und niedrigsten Monatsmitteln dieses Zeitraumes in Waldhof.

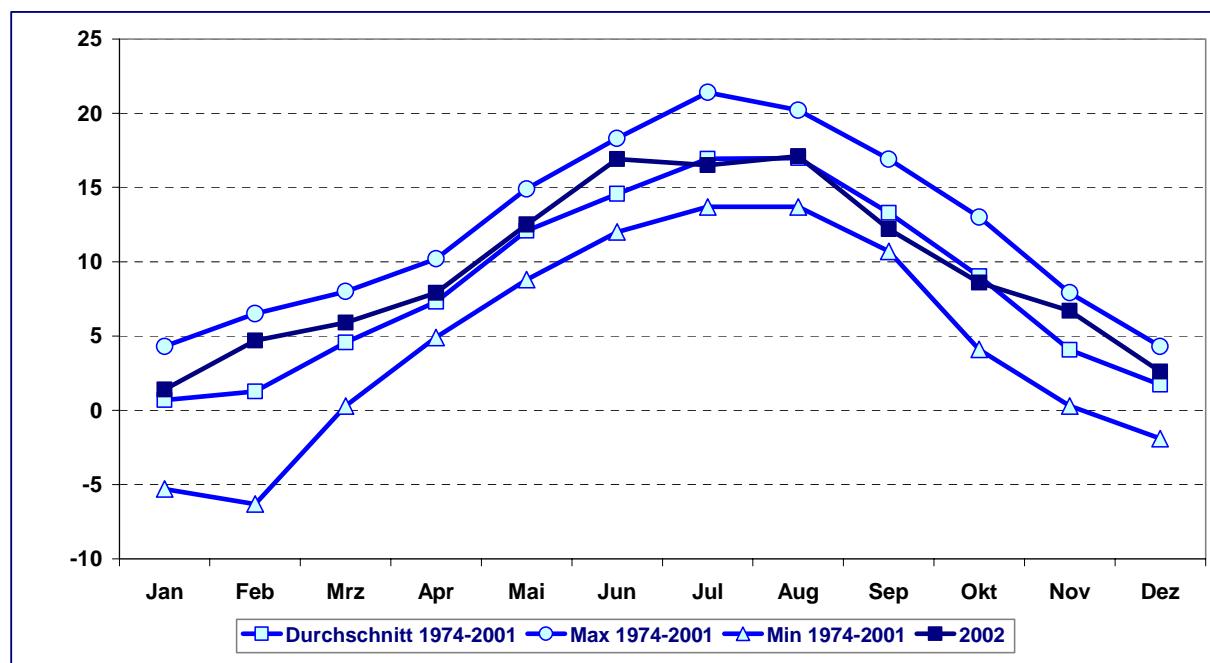


Abbildung 75: Monatsmittel der Lufttemperatur für 2002 im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (1974-2001) sowie zu den absolut höchsten und niedrigsten Monatsmitteln dieses Zeitraumes in Deuselbach.

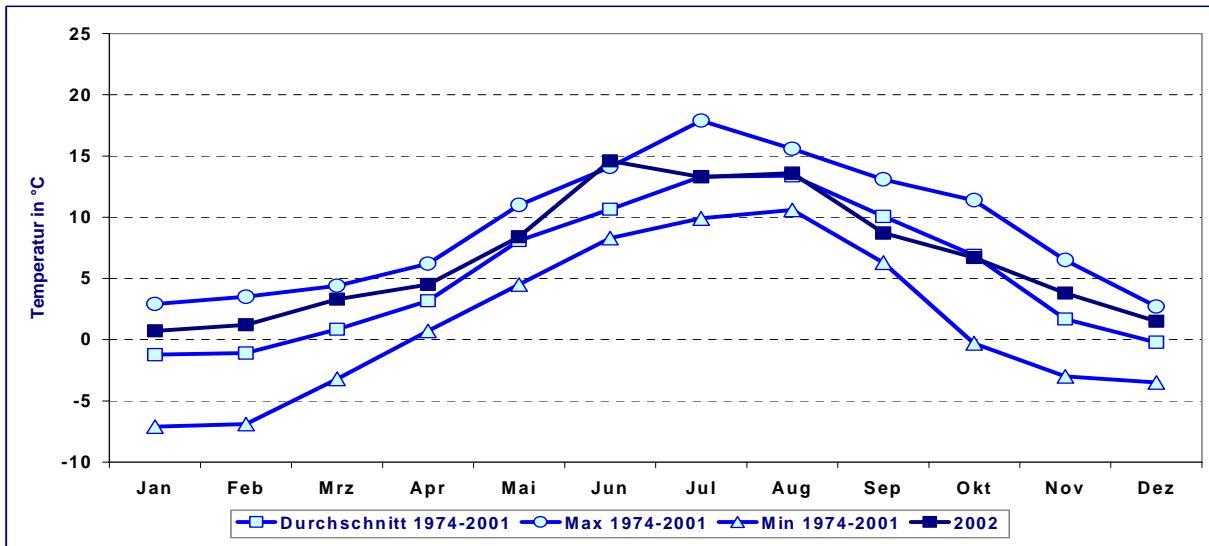


Abbildung 76: Monatsmittel der Lufttemperatur für 2002 im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (1974-2001) sowie zu den absolut höchsten und niedrigsten Monatsmitteln dieses Zeitraumes auf dem Schauinsland.

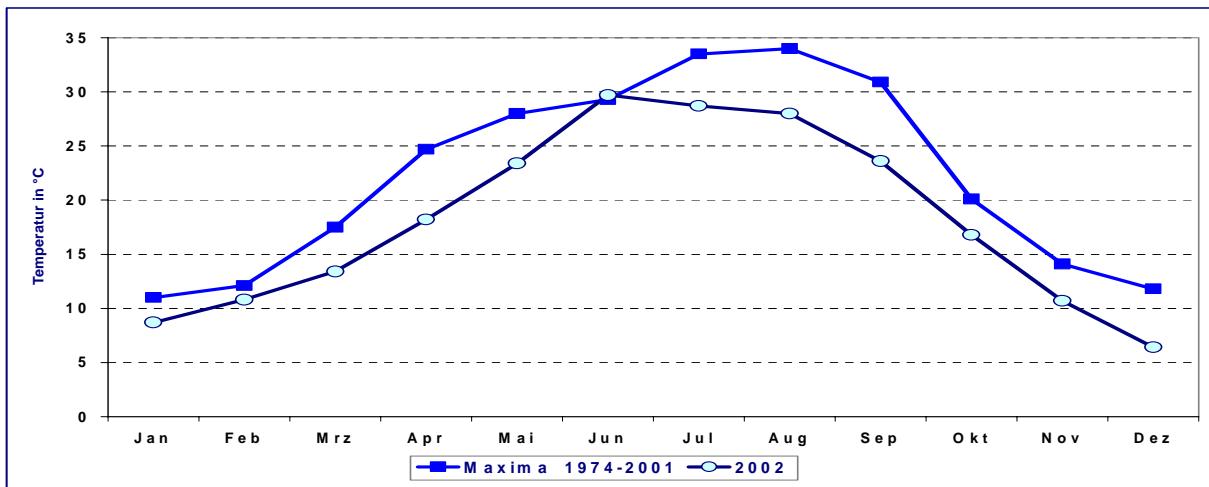


Abbildung 77: Temperaturmaxima (Halbstundenwerte) für 2002 im Vergleich zu den absoluten Maxima des Zeitraumes (1974-2001) an der Station Westerland.

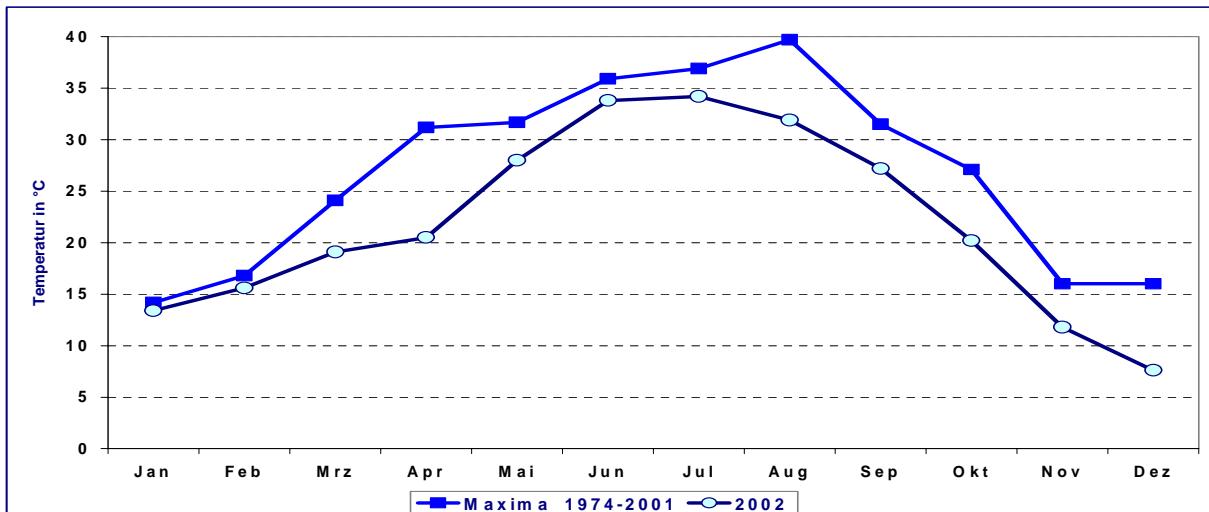


Abbildung 78: Temperaturmaxima (Halbstundenwerte) für 2002 im Vergleich zu den absoluten Maxima des Zeitraumes (1974-2001) an der Station Waldhof.

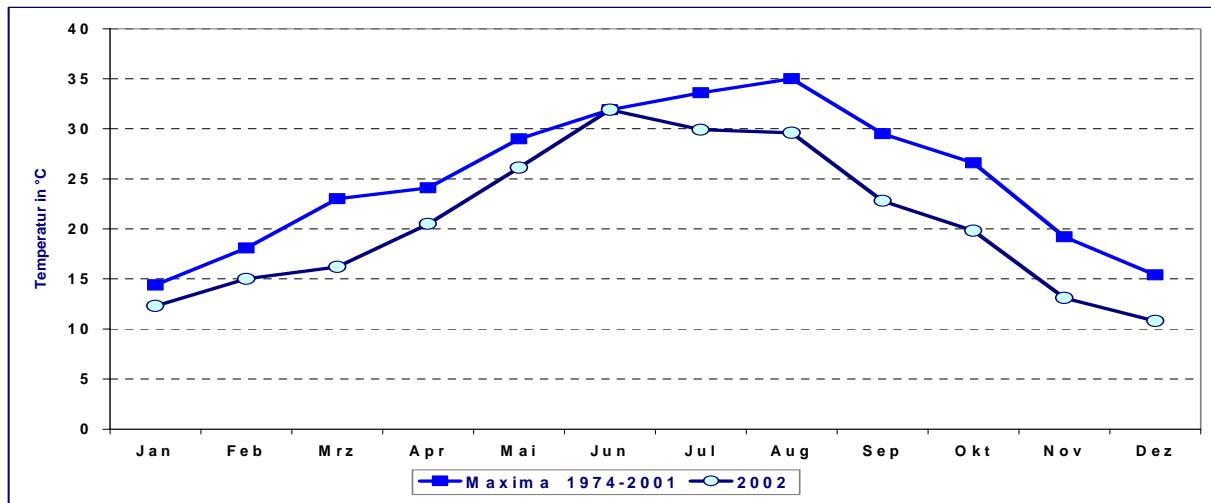


Abbildung 79: Temperaturmaxima (Halbstundenwerte) für 2002 im Vergleich zu den absoluten Maxima des Zeitraumes (1974-2001) an der Station Deuselbach.

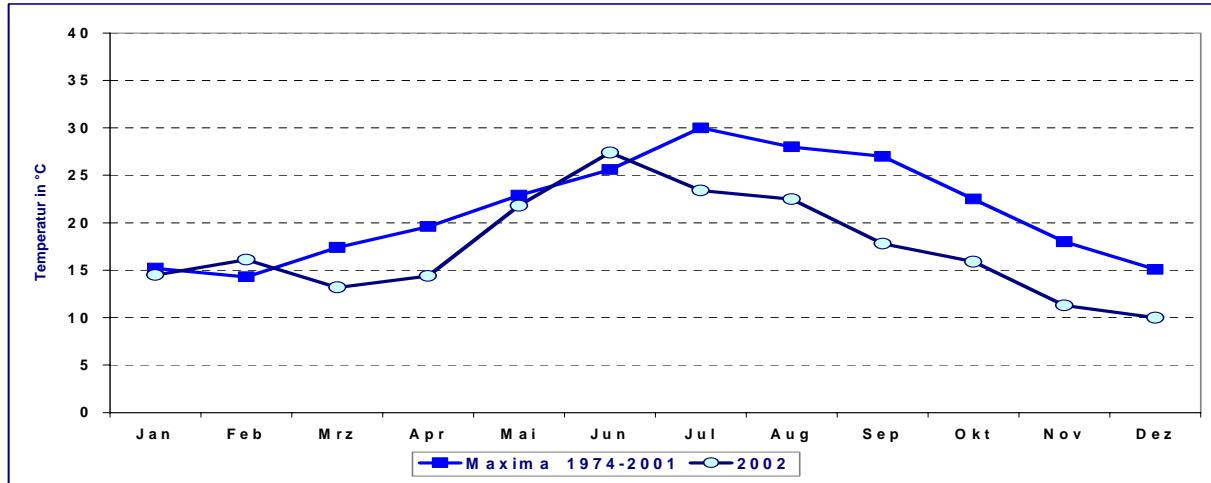


Abbildung 80: Temperaturmaxima (Halbstundenwerte) für 2002 im Vergleich zu den absoluten Maxima des Zeitraumes (1974-2001) an der Station Schauinsland.

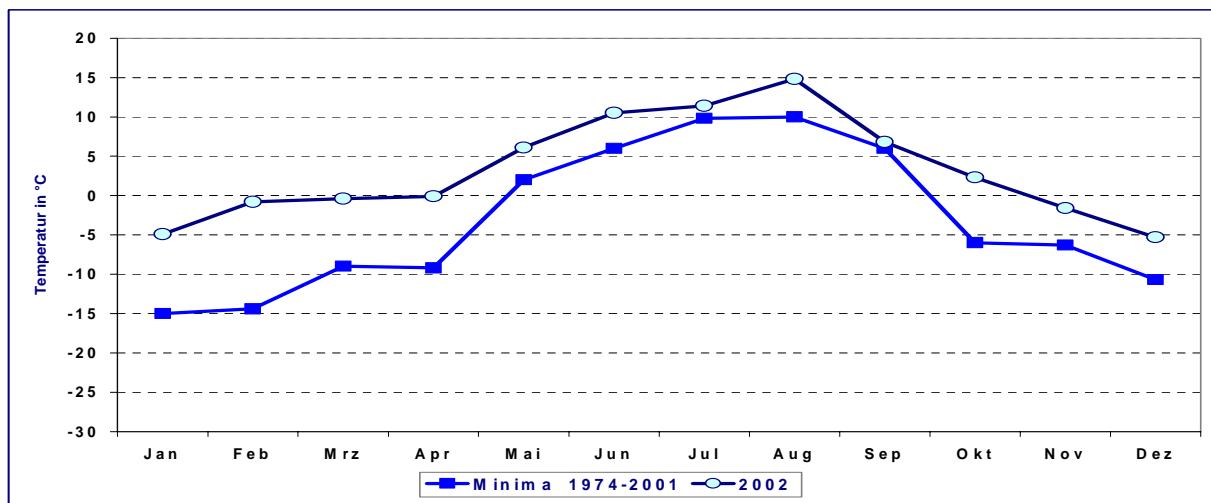


Abbildung 81: Temperaturminima (Halbstundenwerte) für 2002 im Vergleich zu den absoluten Minima des Zeitraumes (1974-2001) an der Station Westerland.

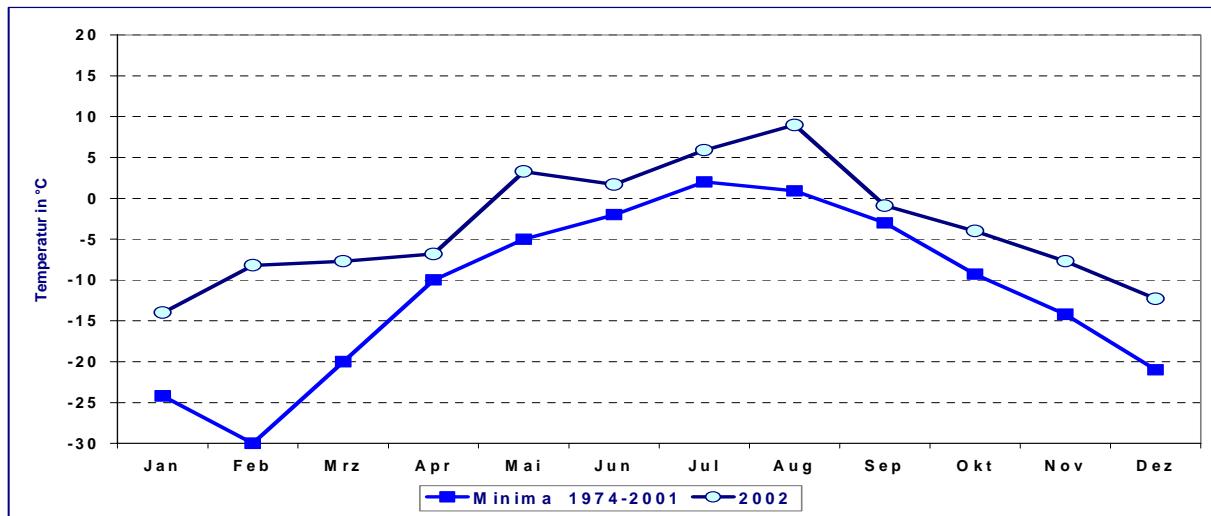


Abbildung 82: Temperaturminima (Halbstundenwerte) für 2002 im Vergleich zu den absoluten Minima des Zeitraumes (1974-2001) an der Station Waldhof.

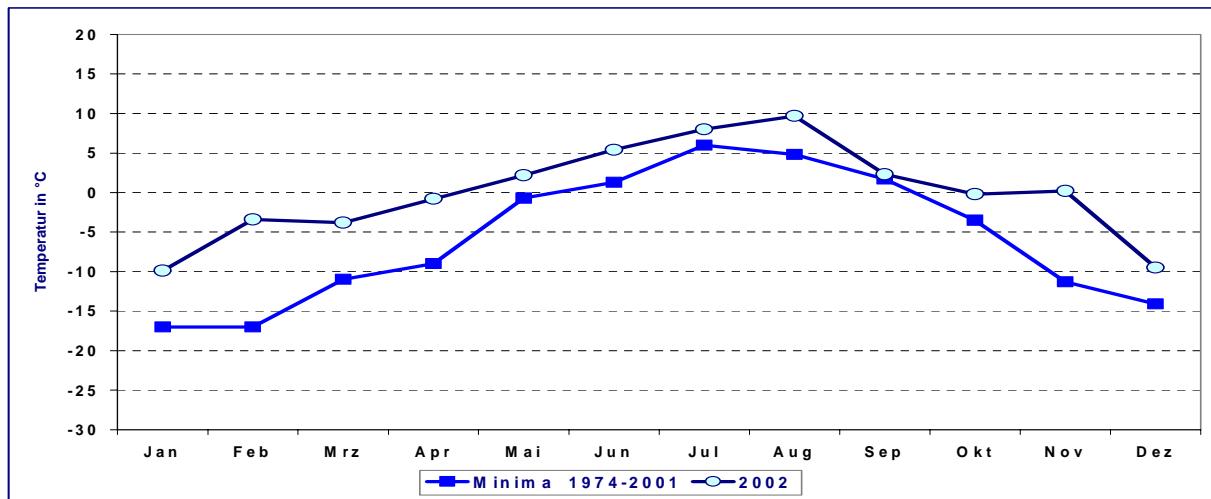


Abbildung 83: Temperaturminima (Halbstundenwerte) für 2002 im Vergleich zu den absoluten Minima des Zeitraumes (1974-2001) an der Station Deuselbach.

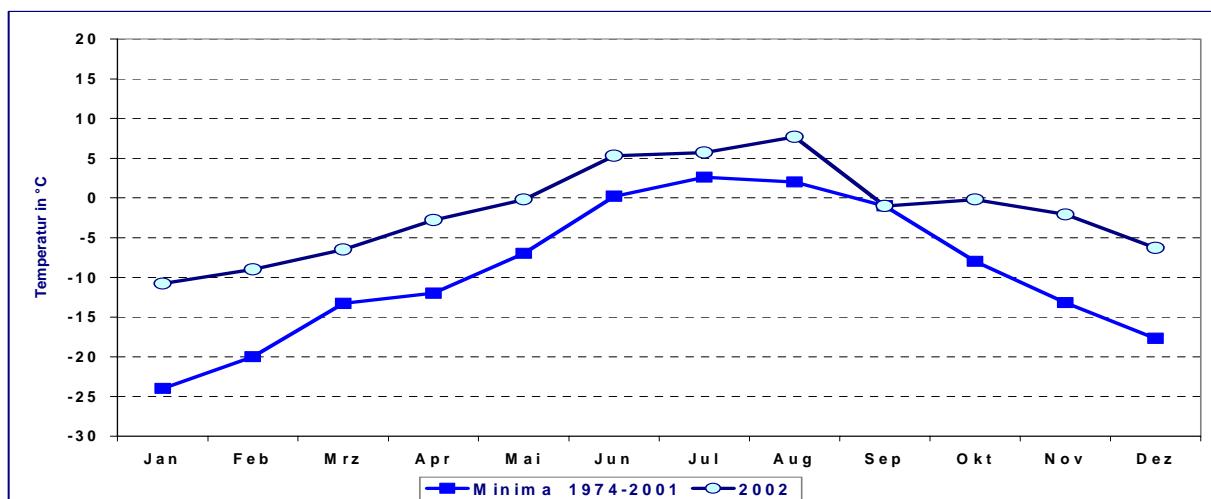


Abbildung 84: Temperaturminima (Halbstundenwerte) für 2002 im Vergleich zu den absoluten Minima des Zeitraumes (1974-2001) an der Station Schauinsland

### 2.3.4.2 Jahresverlauf der relativen Luftfeuchte

Neben der Einschätzung des Jahres 2002 anhand der Niederschlagssumme und Bewölkungsverhältnisse gestatten die kontinuierlichen Messungen der relativen Feuchte sich einen lückenlosen Einblick in den Feuchtezustand der Atmosphäre zu verschaffen. Die Jahresmittel der relativen Feuchte (siehe Tabelle 100) des Jahres 2002 weisen innerhalb ihrer Reihen seit Messbeginn keine Besonderheiten auf. Bezuglich regionaler Unterschiede ist zu erkennen, dass im Jahr 2002 auf dem Kamm des Thüringer Waldes (Schmücke) das höchste Jahresmittel (90%) der relativen Feuchte registriert wurde, gefolgt von der Station Helgoland (88%) und Westerland (87%). Die niedrigsten Jahresmittel traten an den Stationen im Bayerischen Wald Forellenbach (75%) und Brotjacklriegel (76%) sowie Falkenberg (ca. 60 km südöstlich von Berlin gelegen, 76%) auf. Das lässt auf den stärksten Einfluss kontinentaler Luftmassen innerhalb Deutschlands schließen.

In Bezug auf die Jahresmittel der relative Luftfeuchtigkeit traten zwischen den in unterschiedlichen Höhen gelegenen UBA-Stationen keine größeren Abweichungen in der Platzbelegung auf. Die Messstelle Waldhof belegte von den 29 möglichen Plätzen mit 80.3% den 21. Rang, Brotjacklriegel mit 76.1% den 19. und Schauinsland mit 78.5% den 16. Rang.

Im Jahre 2002 traten auf dem Schauinsland (Abbildung 88) am häufigsten über dem langjährigen Durchschnitt (1974-2001) gelegene Monatsmittel der relativen Feuchtigkeit auf (7 Monatsmittel). In Deuselbach (Abbildung 87) war dies nur 3-mal der Fall, in Waldhof (Abbildung 86) und Westerland (Abbildung 85) 4-mal. Erwähnenswert ist dabei, dass in Deuselbach im Jahre 2002 der bisher trockenste März seit 1974 registriert wurde.

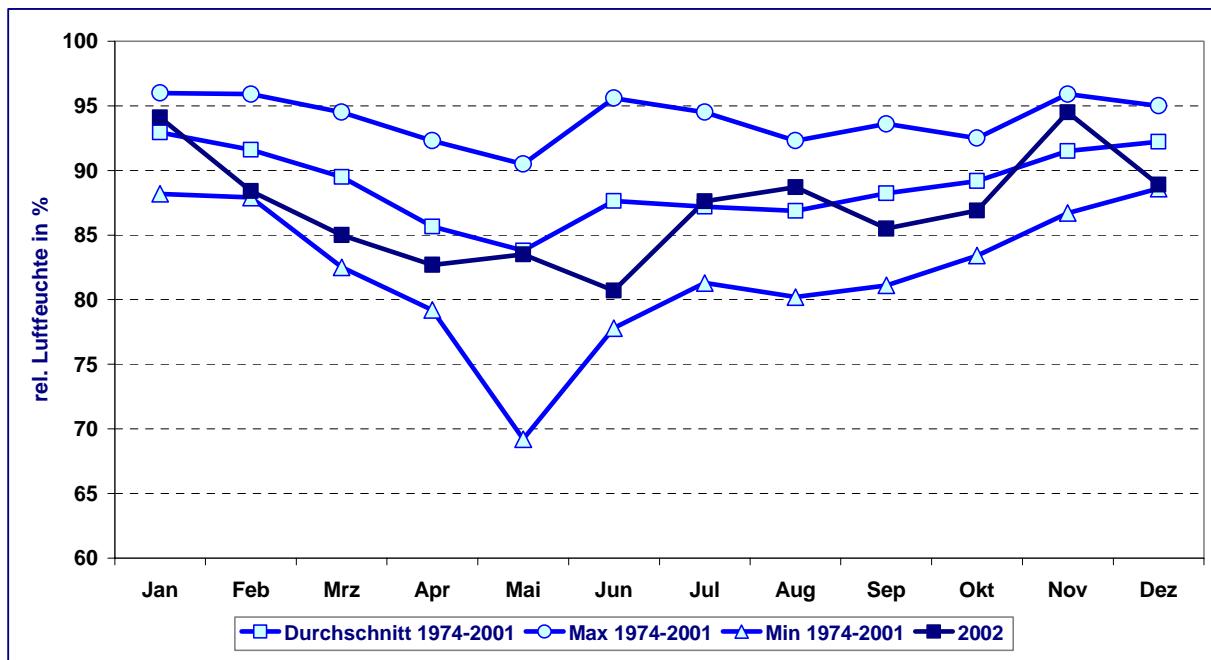


Abbildung 85: Monatsmittel der relativen Luftfeuchte für 2002 im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (1974-2001) sowie zu den absolut höchsten und niedrigsten Monatsmitteln dieses Zeitraumes in Westerland.

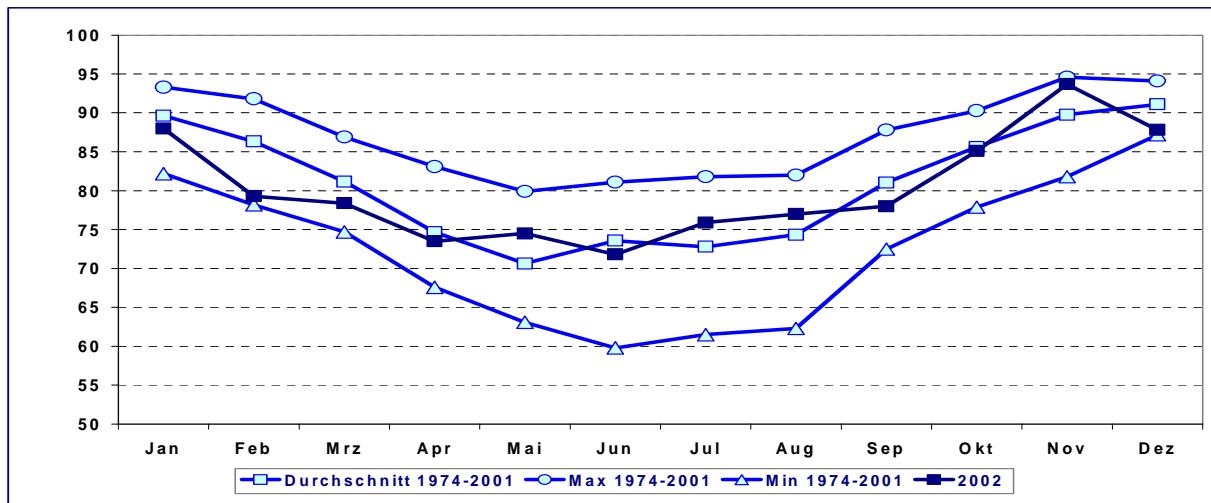


Abbildung 86: Monatsmittel der relativen Luftfeuchte für 2002 im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (1974-2001) sowie zu den absolut höchsten und niedrigsten Monatsmitteln dieses Zeitraumes in Waldhof.

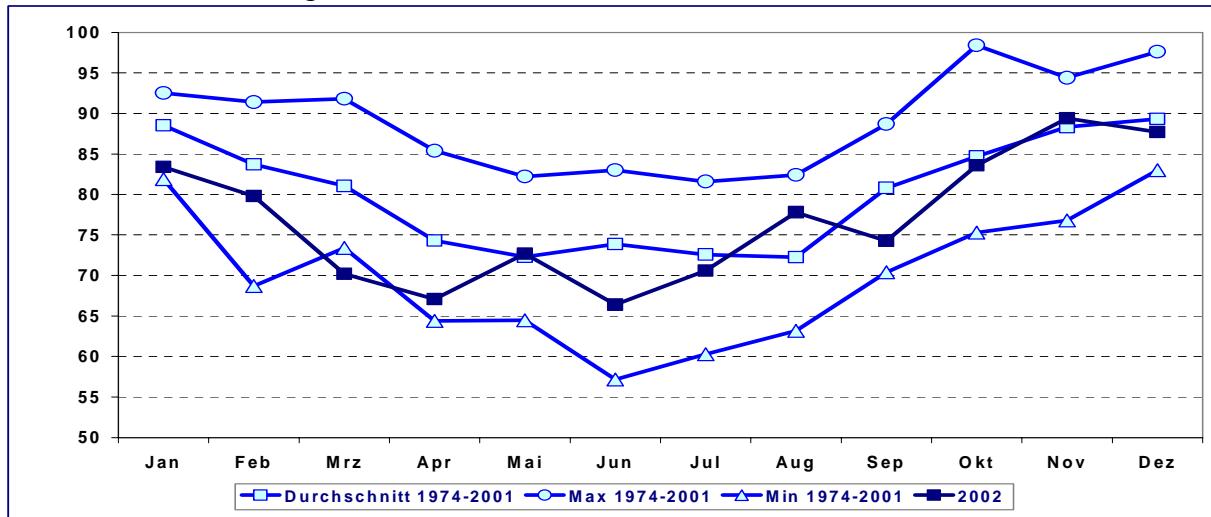


Abbildung 87: Monatsmittel der relativen Luftfeuchte für 2002 im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (1974-2001) sowie zu den absolut höchsten und niedrigsten Monatsmitteln dieses Zeitraumes in Deuselbach.

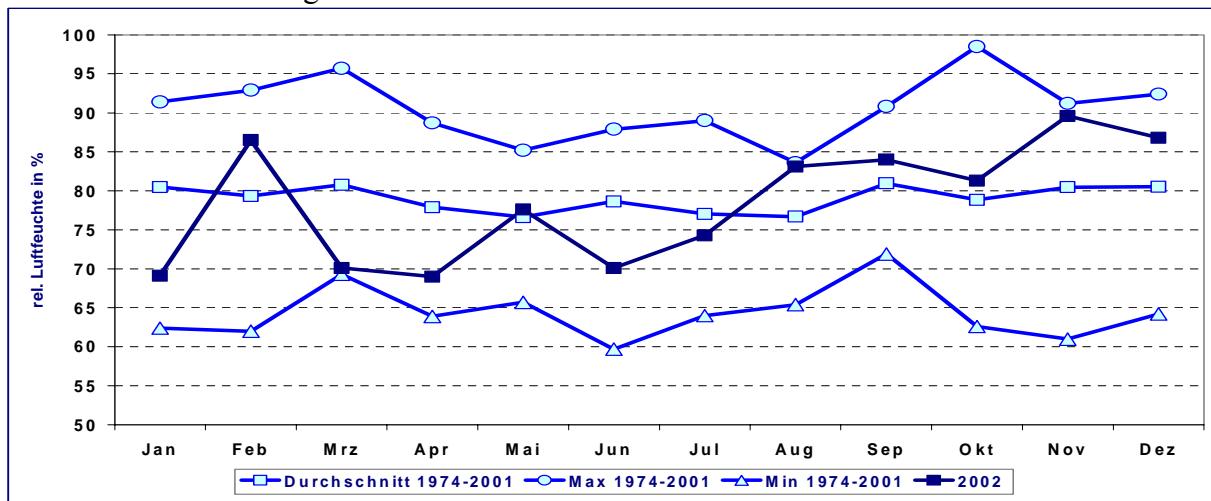


Abbildung 88: Monatsmittel der relativen Luftfeuchte für 2002 im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (1974-2001) sowie zu den absolut höchsten und niedrigsten Monatsmitteln dieses Zeitraumes auf dem Schauinsland.

Tabelle 100: Monats- und Jahresmittel der relativen Luftfeuchte für 2002 in %

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	94	88	85	83	84	81	88	89	86	87	95	89	87
ZG	90	85	80	83	82	76	81	84	77	85	89	83	83
HG	88	82	88	90	91	86	88	90	81	86	97	95	88
AU	89	82	80	78	78	75	81	81	80	86	93	85	82
UE	84	78	75	79	78	73	76	77	76	85	88	83	79
NG	89	83	80	77	77	74	-	80	77	87	92	84	82
SH	86	80	79	73	72	69	73	74	74	85	91	81	78
BA	90	83	81	77	82	81	82	85	84	89	95	91	85
WA	88	79	78	74	75	72	76	77	78	85	94	88	80
GI	87	78	78	76	79	75	79	84	84	87	94	91	83
FA	83	77	73	73	73	69	69	72	73	82	90	81	76
MP	80	74	75	72	75	75	71	77	75	79	89	87	78
LF	87	79	79	78	82	79	80	81	82	86	94	95	84
LM	84	79	78	76	78	76	75	81	83	85	88	91	81
LU	86	81	74	71	71	70	73	75	77	85	93	90	79
SM	97	94	83	84	86	81	84	86	87	97	97	99	90
RE	91	88	80	79	81	76	77	82	83	91	94	96	85
DE	83	80	70	67	73	66	71	78	74	84	89	88	77
EB	85	88	76	72	79	72	78	84	80	92	98	98	83
OE	83	76	72	68	75	68	73	79	76	83	88	86	77
FB	83	80	65	68	68	65	72	77	76	85	80	84	75
BR	77	83	67	69	70	66	72	78	75	86	82	87	76
RS	81	75	74	73	75	72	76	80	82	81	89	90	79
SC	69	87	70	69	78	70	74	83	84	81	90	87	78

Tabelle 101: Monatliche minimale Halbstundenwerte der rel. Luftfeuchte für 2002 in %

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	53	46	37	29	33	35	50	48	49	47	65	38
ZG	56	50	36	41	43	37	43	39	39	51	48	36
HG	46	41	44	52	51	51	47	56	49	52	74	53
AU	49	34	33	28	34	35	34	35	34	44	49	37
UE	40	44	24	27	24	32	31	34	36	47	49	34
NG	53	31	22	26	24	29	-	35	35	44	48	36
SH	50	19	18	22	23	25	24	25	27	36	41	29
BA	52	34	44	37	44	43	37	43	40	47	72	50
WA	39	31	27	26	34	31	27	30	32	37	50	45
GI	47	37	34	35	41	36	36	41	39	47	64	48
FA	47	42	29	29	25	32	24	27	30	35	46	33
MP	41	36	31	27	29	33	27	27	30	37	50	47
LF	43	35	35	38	40	43	38	40	40	46	68	68
LM	30	29	25	35	35	35	38	37	38	44	48	38
LU	19	22	19	27	26	27	29	30	27	34	50	41
SM	48	35	27	39	38	42	36	42	43	53	50	80
RE	43	39	31	30	40	42	35	34	43	48	57	58
DE	34	33	32	33	33	33	34	36	31	39	45	52
AS	12	35	35	38	34	38	40	42	37	45	47	84
OE	50	36	27	30	33	31	31	35	34	39	48	48
FB	29	13	22	32	30	31	30	35	32	31	26	25
BR	10	17	18	32	27	31	33	39	30	23	28	34
RS	31	29	20	31	29	27	30	37	34	32	44	37
SC	11	22	16	31	31	32	36	40	24	18	41	19

### 2.3.4.2 Jahresverlauf der Windgeschwindigkeiten an ausgewählten Stationen

An der Messstelle Westerland (Abbildung 89) lagen die Monatsmittel der Windgeschwindigkeit zweimal über und zehnmal unter dem langjährigen Durchschnitt (1974-2001). An der Nordseeküste gab es also insgesamt ein windschwaches Jahr. Im August und November wurden sogar die niedrigsten Monatsmittel seit 1974 registriert.

In Waldhof (Abbildung 90) befanden sich die Monatsmittel der Windgeschwindigkeit viermal unter dem langjährigen Durchschnitt. Im Norddeutschen Tiefland (Lüneburger Heide)stellten sich also insgesamt leicht überdurchschnittliche Windgeschwindigkeitsverhältnisse ein. Das höchste Monatsmittel trat im Februar auf. Es war das bisher höchste Monatsmittel seit 1974. Die windschwächsten Monate fielen auf den August und September.

In Deuselbach (Abbildung 91) blieben die Monatsmittel der Windgeschwindigkeit in acht Fällen unter dem langjährigen Durchschnitt. Auch an der im Hunsrück gelegenen Station kam im Februar das höchste Monatsmittel vor, das zugleich den Rekordwert seit 1974 darstellt. Die niedrigsten Monatsmittel waren – wie auch in Waldhof – im August und September gemessen worden.

In Abbildung 96a und b sowie Abbildung 97a und b sind die Windrichtungsrosen dargestellt, die die Anzahl der Tage für das Jahr 2002 im Vergleich zum 10-jährigen Durchschnitt (1992 bis 2001) angeben. Alle Abbildungen weisen keine gravierenden Unterschiede in der Windrichtung zwischen dem Jahr 2002 und dem langjährigen Durchschnitt auf. Etwas stärker vertreten waren im Jahr 2002 die östlichen Windrichtungssektoren an den Stationen Westerland, Waldhof und Regnitzlosau. In Deuselbach und Regnitzlosau herrschte der Südwestwind im Jahr 2002 wie auch im langjährigen Mittel vor. Dort wehte der Wind nur an etwa 40 Tagen aus östlichen Richtungen - in Waldhof dagegen an 60 Tagen und in Westerland an 80 Tagen.

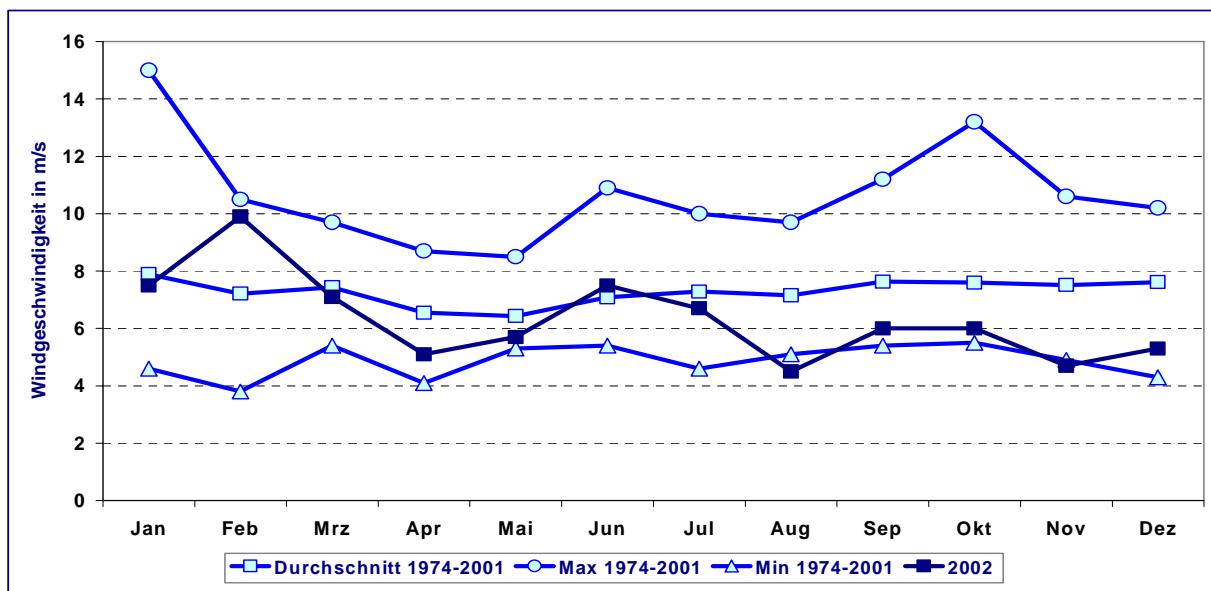


Abbildung 89: Monatsmittel der Windgeschwindigkeit für 2002 im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (1974-2001) sowie zu den absolut höchsten und niedrigsten Monatsmitteln dieses Zeitraumes in Westerland.

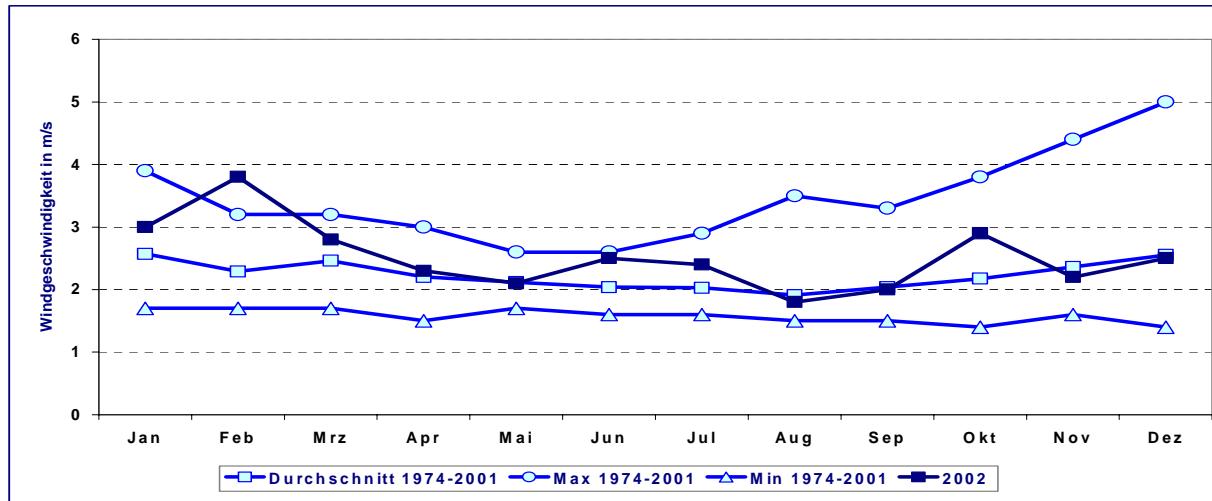


Abbildung 90: Monatsmittel der relativen Luftfeuchte für 2002 im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (1974-2001) sowie zu den absolut höchsten und niedrigsten Monatsmitteln dieses Zeitraumes in Waldhof

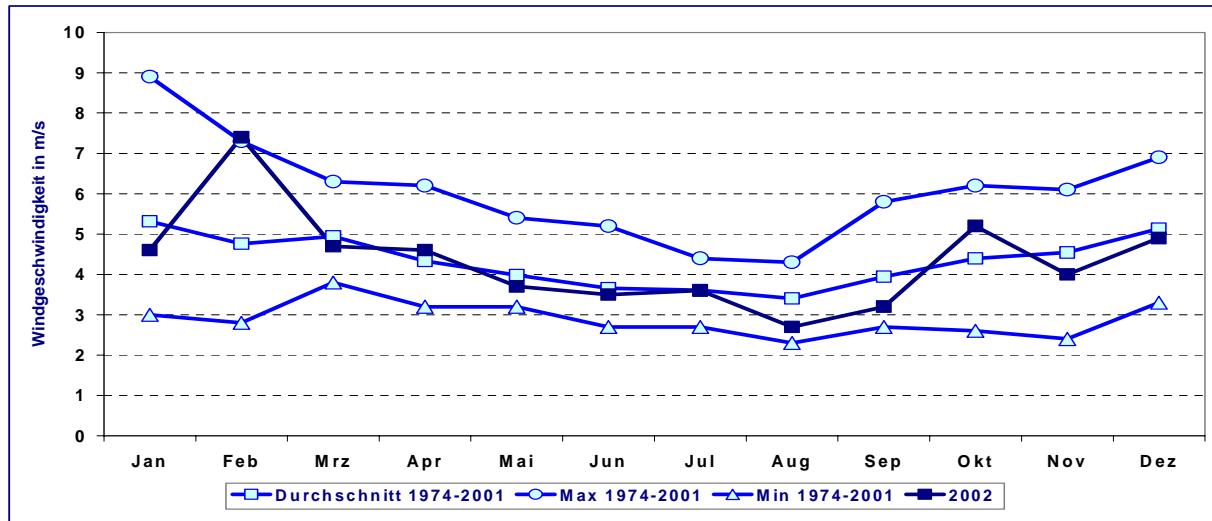


Abbildung 91: Monatsmittel der relativen Luftfeuchte für 2002 im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (1974-2001) sowie zu den absolut höchsten und niedrigsten Monatsmitteln dieses Zeitraumes in Deuselbach.

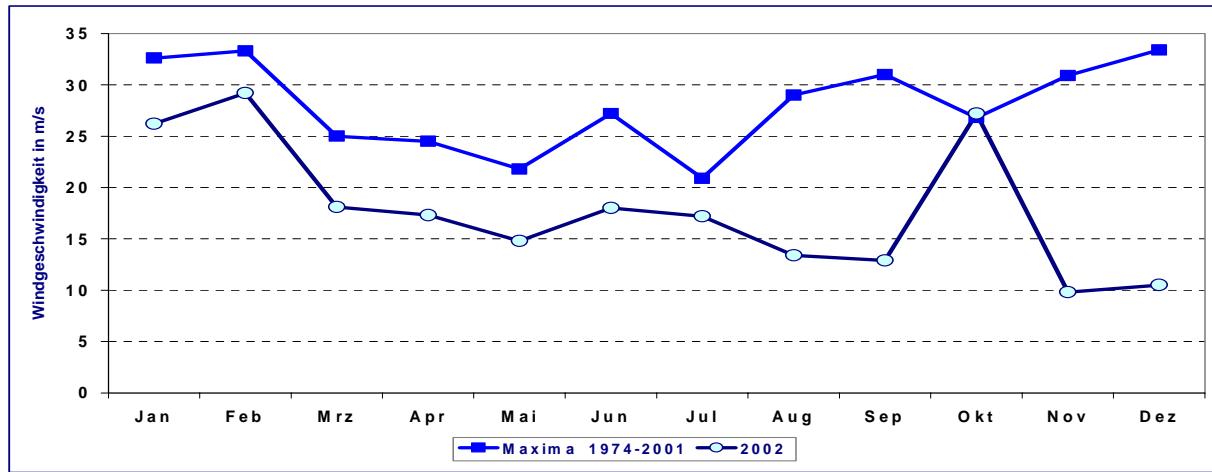


Abbildung 92: Windgeschwindigkeitsmaxima (Halbstundenwerte) für 2002 im Vergleich zu den absoluten Maxima des Zeitraumes (1974-2001) an der Station Westerland.

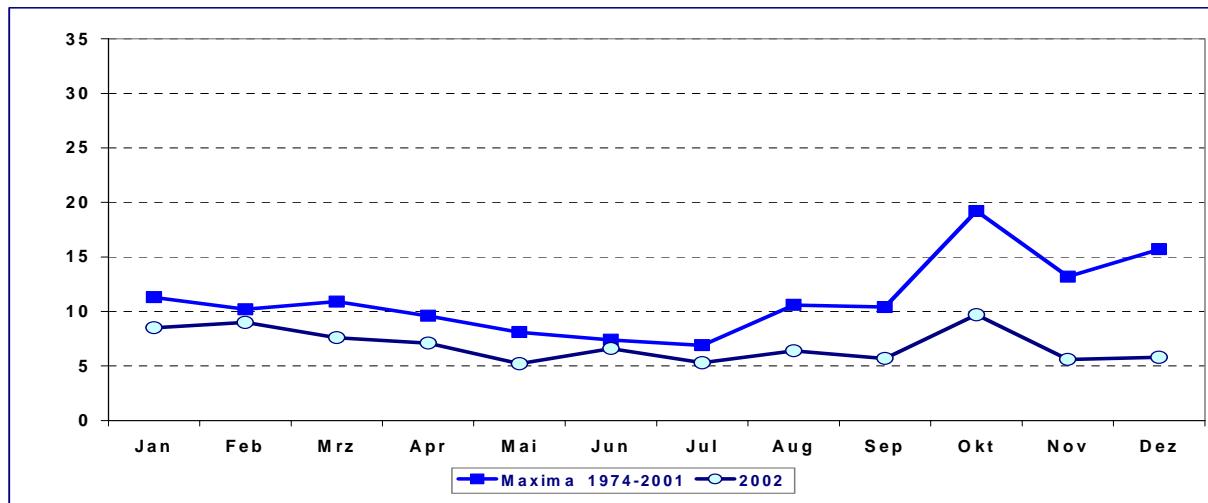


Abbildung 93: Windgeschwindigkeitsmaxima (Halbstundenwerte) für 2002 im Vergleich zu den absoluten Maxima des Zeitraumes (1974-2001) an der Station Waldhof.

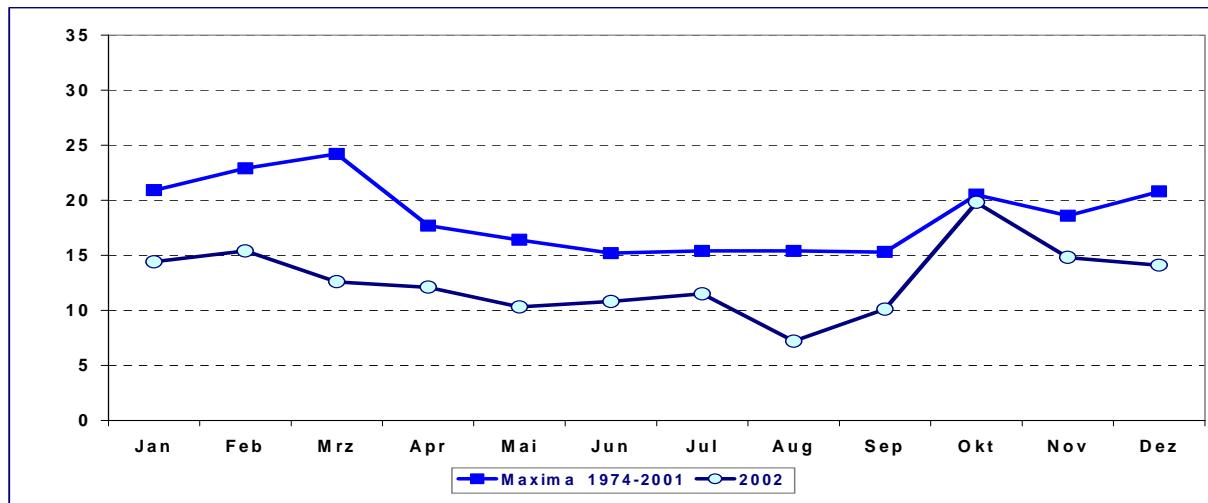


Abbildung 94: Windgeschwindigkeitsmaxima (Halbstundenwerte) für 2002 im Vergleich zu den absoluten Maxima des Zeitraumes (1974-2001) an der Station Deuselbach.

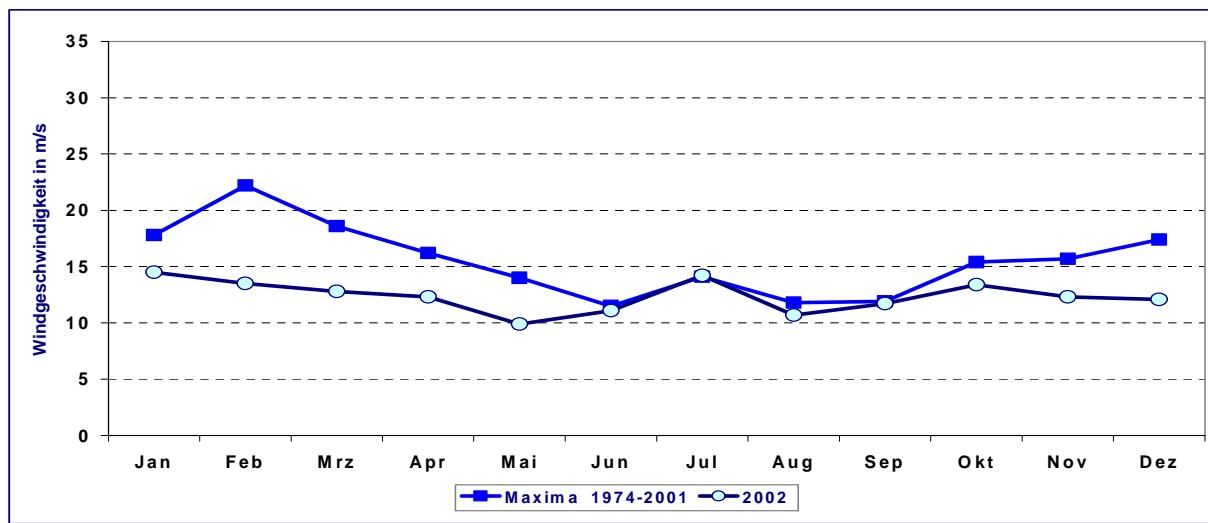


Abbildung 95: Windgeschwindigkeitsmaxima (Halbstundenwerte) für 2002 im Vergleich zu den absoluten Maxima des Zeitraumes (1988-2001) an der Station Regnitzlosau.

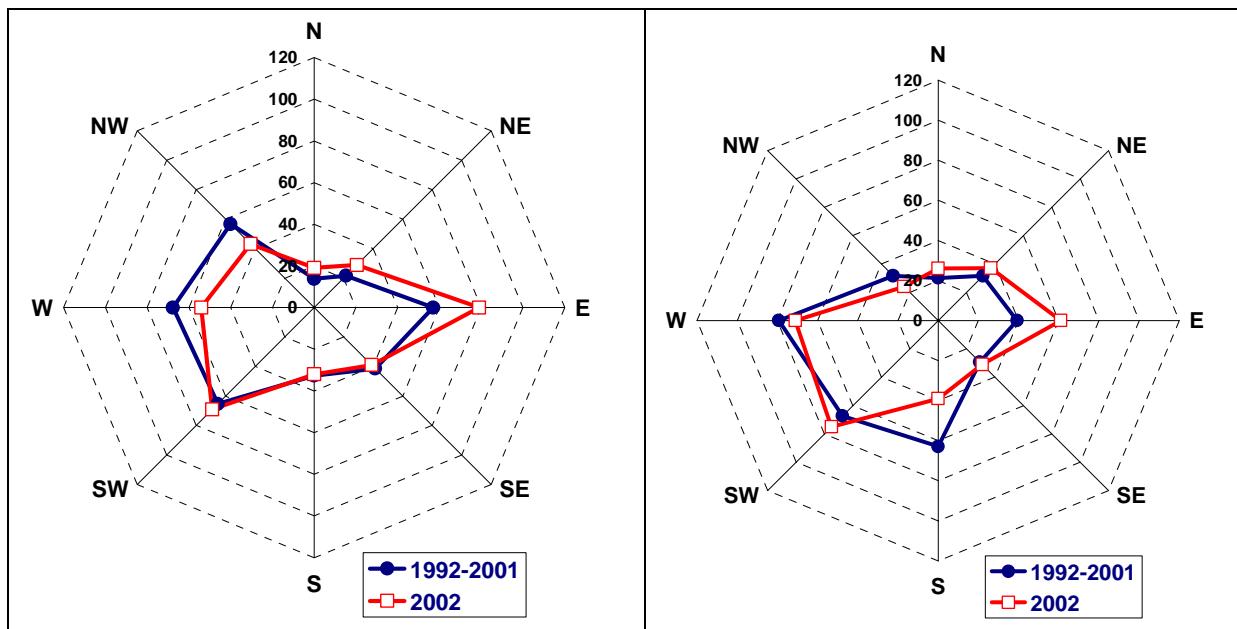


Abbildung 96a und b: Anzahl der Tage mit vorherrschender Windrichtung aus den jeweiligen Sektoren für das Jahr 2002 im Vergleich zum 10-jährigen Durchschnitt (1992-2001) für Westerland und Waldhof

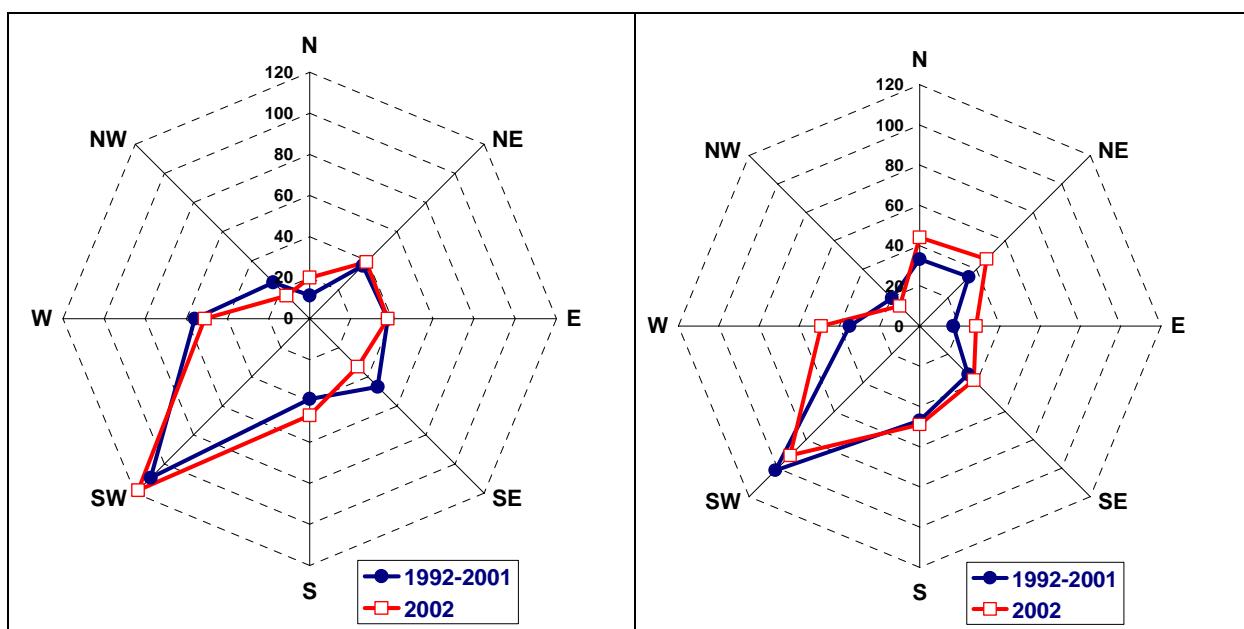


Abbildung 97a und b: Anzahl der Tage mit vorherrschender Windrichtung aus den jeweiligen Sektoren für das Jahr 2002 im Vergleich zum 10-jährigen Durchschnitt (1992-2001) für Deuselbach und Regnitzlosau

Tabelle 102: Monats- und Jahresmittel der Windgeschwindigkeit für 2002 in m/s

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	8	10	7	5	6	8	7	5	6	6	5	5	6
ZG	5	6	5	5	4	5	4	4	4	5	4	5	5
HG	7	9	7	5	5	5	6	4	6	7	6	7	6
AU	4	5	4	3	2	3	3	2	2	3	3	-	3
UE	4	5	4	3	2	3	3	2	2	3	2	2	3
NG	3	3	3	2	2	2	2	-	2	2	-	2	2
SH	2	3	2	-	2	2	2	-	-	2	2	2	2
BA	-	2	2	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1
WA	3	4	3	2	2	3	2	2	2	3	2	3	3
GI	4	-	3	3	2	3	3	2	2	3	2	3	3
FA	5	6	4	4	3	4	4	3	3	5	4	4	4
MP	5	6	4	4	3	3	3	2	3	4	3	4	4
LF	4	5	4	4	3	3	3	2	3	4	3	3	3
LM	3	3	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2
LU	3	4	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2
SM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RE	5	7	5	5	4	4	4	3	3	5	4	4	4
DE	5	7	5	5	4	4	4	3	3	5	4	5	4
EB	5	6	4	4	3	3	4	3	3	5	4	4	4
OE	4	6	3	4	3	3	3	2	3	4	3	3	3
FB	2	3	2	3	2	3	2	2	3	2	2	2	2
BR	3	4	3	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3
RS	3	5	3	3	2	2	2	2	2	3	2	2	3
SC	4	5	3	3	2	3	3	2	3	4	3	3	3

Tabelle 103: Monatliche maximale Halbstundenwerte der Windgeschwindigkeit für 2002 in m/s

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	26	29	18	17	15	18	17	13	13	27	10	11
ZG	13	19	11	12	10	10	9	8	13	15	12	10
HG	19	28	17	15	12	13	15	11	16	23	17	13
AU	12	13	9	9	6	7	6	6	6	9	7	-
UE	14	15	11	14	7	9	10	7	7	14	9	6
NG	11	9	10	7	6	5	7	-	4	7	-	5
SH	6	8	6	-	4	5	5	-	-	5	5	4
BA	-	6	4	-	-	-	-	-	-	6	4	3
WA	9	9	8	7	5	7	5	6	6	10	6	6
GI	14	-	14	11	7	8	8	6	6	15	8	8
FA	15	15	14	12	10	10	15	9	8	18	12	9
MP	15	15	15	12	9	9	13	9	9	13	12	8
LF	13	13	12	10	7	8	7	7	9	16	9	9
LM	8	8	8	6	5	5	5	5	6	10	7	5
LU	8	9	8	8	6	5	5	4	5	10	7	7
SM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RE	15	14	13	12	10	11	14	11	12	13	12	12
DE	14	15	13	12	10	11	12	7	10	20	15	14
EB	12	11	10	10	8	7	7	7	8	11	10	10
OE	15	14	13	11	9	9	9	8	8	15	10	13
FB	9	12	8	10	7	11	11	8	16	12	7	12
BR	8	8	7	7	6	7	7	7	7	9	7	9
RS	14	13	14	11	9	8	12	9	7	15	12	12
SC	12	11	10	10	8	6	7	6	8	12	10	11

Tabelle 104: Jahresmittel der Windgeschwindigkeit für 1982 bis 2002 m/s

Stat.	WE	ZG	HG	AU	HW	TE	UE	SW	NG	AN	SH	KY	BA	WA	WI	GI	LI	FA	DL
1982	7.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1	-	-	-	-	-	
1983	9.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.4	-	-	-	-	-	
1984	8.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2	-	-	-	-	-	
1985	8.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	-	-	-	-	-	
1986	8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.8	-	-	-	-	-	
1987	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	-	-	-	-	-	
1988	7.5	-	-	-	1.5	-	-	-	-	-	-	-	2.2	-	3.2	-	-	-	
1989	7.3	-	-	-	1.4	-	-	-	-	-	-	-	2.0	-	2.8	-	-	-	
1990	7.7	-	-	-	1.5	-	-	-	-	-	-	-	2.2	-	3.2	-	-	-	
1991	7.1	-	-	-	1.6	-	-	-	-	-	-	-	1.9	-	2.8	-	-	-	
1992	7.2	-	-	-	1.4	-	-	-	-	-	-	-	2.0	-	3.0	-	-	-	
1993	7.1	4.2	-	-	1.6	-	-	-	-	-	-	-	2.0	-	2.9	-	-	-	
1994	7.2	4.0	6.3	-	1.4	-	-	-	1.0	-	-	-	2.0	3.6	3.1	-	-	-	
1995	7.1	4.2	6.5	-	1.5	-	-	-	1.2	-	-	-	1.9	3.4	2.8	-	-	-	
1996	6.3	-	6.2	-	1.2	-	-	-	-	-	-	-	1.7	3.2	2.6	-	-	-	
1997	6.8	4.6	6.0	-	1.2	-	-	-	1.3	-	-	-	2.2	3.3	2.4	-	-	-	
1998	7.4	4.9	6.5	-	-	-	-	-	2.2	-	-	-	-	2.5	3.5	2.8	-	-	
1999	6.9	4.6	6.0	2.8	-	-	2.8	-	2.1	-	1.6	-	-	2.5	-	3.1	-	3.7	-
2000	6.9	4.5	-	2.8	-	-	3.0	-	2.1	-	1.9	-	-	2.6	-	3.2	-	3.8	-
2001	6.2	4.5	6.3	2.5	-	-	3.0	-	2.1	-	1.9	-	1.3	2.4	-	2.8	-	3.8	-
2002	6.3	4.5	6.2	2.8	-	-	3.0	-	2.2	-	2.0	-	1.4	2.5	-	2.7	-	4.0	-
Stat.	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	EB	AS	OE	BR	FB	RT	SC	RS	ZU
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.1	-	-	-	2.9	-	-	3.2	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.1	-	-	-	3.0	-	-	3.4	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.8	-	-	-	2.8	-	-	3.1	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.0	-	-	-	2.8	-	-	3.2	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.2	-	-	-	2.7	-	-	3.1	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.6	-	-	-	2.6	-	-	3.1	-	-
1988	-	-	1.4	-	-	-	-	-	4.3	4.6	-	1.3	-	2.8	-	-	3.0	-	-
1989	-	-	1.3	3.4	-	-	-	-	3.9	4.2	-	1.2	-	2.8	-	-	3.0	-	-
1990	-	-	1.5	3.9	-	-	-	-	4.2	4.6	-	1.2	-	2.8	-	-	3.0	-	-
1991	-	-	1.3	3.6	-	-	6.7	-	4.0	4.4	-	1.2	-	2.9	-	-	2.8	-	-
1992	-	-	1.4	3.6	-	-	-	-	4.1	4.2	-	1.2	-	2.8	-	-	2.7	-	-
1993	3.6	-	1.4	3.8	-	-	-	-	4.3	4.4	-	1.2	-	2.9	-	-	2.9	-	-
1994	-	-	-	3.8	-	-	-	-	4.4	4.4	-	1.3	-	2.7	-	-	3.0	-	-
1995	-	-	-	3.7	-	-	-	-	4.2	4.2	-	1.2	-	2.7	-	-	2.9	-	-
1996	-	-	-	3.7	-	-	-	-	3.7	4.0	-	1.1	-	2.6	-	-	2.5	-	-
1997	-	-	1.2	3.4	-	-	-	-	3.9	4.0	-	-	-	2.5	-	-	2.7	-	-
1998	-	-	-	3.8	-	-	-	-	3.9	4.5	-	-	-	2.7	-	-	3.2	-	-
1999	3.8	3.1	-	-	2.1	2.3	-	-	4.1	4.6	-	1.1	-	2.5	-	-	3.0	-	-
2000	3.8	3.1	-	-	2.1	2.4	-	-	4.3	4.4	-	1.3	-	2.6	2.0	-	3.0	-	-
2001	3.6	3.0	-	-	2.0	2.7	-	-	4.2	4.3	3.9	-	-	2.5	2.1	-	3.2	-	-
2002	3.8	3.2	-	-	2.0	2.3	-	-	4.2	4.3	4.0	-	3.2	2.7	2.3	-	3.0	2.6	-

## 2.3.5 Die Witterung im Jahresverlauf im Bezug auf die Luftschadstoffe

Wie sich die Witterung in den einzelnen Monaten des Jahres 2002 gestaltete und auf die Luftbelastung auswirkte, wird in den folgenden Abschnitten behandelt:

**Januar:** In der ersten Monatshälfte herrschte eine kalte Witterung mit mäßigem bis strengem Frost. Gebietsweise bildete sich auch im Tiefland eine geschlossene Schneedecke. In der zweiten Monatshälfte stellte sich eine Westlage ein mit Zufuhr milder und feuchter Luft. Insgesamt fielen die Monatsmittel der Lufttemperatur 1 bis 2 K höher aus als im Durchschnitt der vergangenen 5 Jahre. Eine Besonderheit stellten die überdurchschnittlich vielen antizyklonal geprägten Wetterlagen dar. Es traten deshalb nahezu über den gesamten Monat hinweg Inversionen auf, was unterschiedliche Auswirkungen vor allem auf die Stickstoffdioxid- und Ozonbelastungen in Bodennähe bzw. in den höheren Bergregionen zur Folge hatte: Im Vergleich zu den 5-jährigen Durchschnittswerten wurden auf den Bergen bis zu 3 µg/m<sup>3</sup> (Schauinsland/Schwarzwald) geringere NO<sub>2</sub>- bzw. bis zu 8 µg/m<sup>3</sup> (Schauinsland) höhere Ozon-Monatsmittelwerte und am Boden umgekehrt 2-3 µg/m<sup>3</sup> höhere NO<sub>2</sub>- bzw. 1 bis 3 µg/m<sup>3</sup> niedrigere Ozon-Monatsmittel gemessen.

**Februar:** Die Dominanz von Südwest- (50%) und Nordwestlagen (30%), was eine Zufuhr atlantischer Luftmassen bedeutete, bewirkte bezüglich der Lufttemperaturen gegenüber den 5-jährigen Durchschnittswerten (1997-2001) eine positive Abweichungen von 1 bis 3 K. Die vorwiegende Beeinflussung durch Luftmassen, die gering mit Schadstoffen belastet waren und in denen eine umfassende vertikale Durchmischung stattfand, ergab verhältnismäßig niedrige Luftbelastungen. Die SO<sub>2</sub>-Belastung lag, gemittelt über alle UBA-Stationen, im Vergleich zum 5-jährigen Durchschnitt um 2 µg/m<sup>3</sup> und die NO<sub>2</sub>-Belastung um 5 µg/m<sup>3</sup> niedriger, die Ozon-Belastung umgekehrt um 5 µg/m<sup>3</sup> höher. Im Februar wurden die höchsten Monatsmittel der Windgeschwindigkeit des Jahres registriert. Diese Monatsmittel waren die bisher höchsten seit 1974 im Binnenland (siehe Abbildung 90 und Abbildung 91). Neben den bisher genannten Ursachen trug auch zu einem bestimmten Teil der Auswaschungseffekt aufgrund häufigen Auftretens von Niederschlägen zur Luftreinigung bei.

**März:** Charakteristisch für den Monat war die Zufuhr ozeanischer Luftmassen aus den mittleren oder polaren Breiten. Da einerseits milde Luftmassen nach Mitteleuropa gelangten und andererseits vorübergehend Kaltluft aus Nordost einfloss und obendrein zeitweise Hochdruckwetterlagen mit erheblichen Schwankungen der Lufttemperaturen zwischen Tag und Nacht (10 bis 15 °C) wetterbestimmend waren, wichen die Monatsmittel nur unbedeutend (0 bis 1 K) vom 5-jährigen Durchschnitt ab. Weil über zwei Drittel der Wetterlagen antizyklonalem Einfluss unterlagen, traten relativ viele Tage mit Boden- und freien Inversion in der Grundsicht auf. Die in den Nachtstunden entstandenen Bodeninversionen lösten sich tagsüber jedoch meistens wegen der zu dieser Zeit bereits stärker werdenden Sonneneinstrahlung auf. Als Resultat der Luftmassentransporte sowie Durchmischungs- und Strahlungsprozesse kam

insgesamt eine Luftbelastung zustande, die den vieljährigen Durchschnittsverhältnissen entsprach. Abweichend davon wäre als besonderes Ereignis die Osterzeit Ende des Monats zu erwähnen, in der eine austauschbare Wetterlage bestimmt war und somit durch Osterfeuer vorübergehend eine überaus markante und großflächig einsetzende Erhöhung der Staubbelastung in Norddeutschland verursacht wurde.

**April:** Im April traten häufig (12 Tage) Wetterlagen mit geringen Luftdruckgegensätzen über Mitteleuropa auf. Sonst strömten Luftmassen teils aus Südwest, Nordwest, Südost und Nordost ein. Es bestand ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Tagen mit Hoch- bzw. Tiefdruckeinfluss. Damit herrschten zwar unterschiedliche, aber letztlich recht ausgeglichene Witterungsbedingungen vor, was sich in geringen Abweichungen der Lufttemperaturen und der Luftbelastung von den 5-jährigen Durchschnittswerten widerspiegelte.

**Mai:** Am häufigsten traten Südwestlagen auf (etwa 17), gefolgt von Südostlagen (etwa 7). Je zur Hälfte kamen zyklonal bzw. antizyklonal beeinflusste Wetterlagen vor. Während die erste Monatsdekade verhältnismäßig kühl ausfiel, waren vor allem in der zweiten Dekade Temperaturanstiege bis über 25 °C zu beobachten. Aufgrund der geringen Anzahl von heiteren Tagen (Bewölkung unter 20%) und folglich unterdurchschnittlicher Sonnenscheindauer blieben die Monatsmittel der Ozonkonzentrationen an allen Stationen unter dem Durchschnitt der vergangenen 5 Jahre. Für die anderen Luftschaadstoffe spielte dieser witterungsbedingte Effekt keine Rolle.

**Juni:** Wie bereits im Vormonat setzte sich die hohe Anzahl von Südwestlagen fort (an 15 Tagen). Die übrige Zeit traten Nordwestlagen (7 Tage) bzw. strömungsschwache Wetterlagen (6 Tage) auf. Da zu zwei Dritteln des Monats antizyklonal geprägter Einfluss vorherrschte, kamen Monatsmittel der Lufttemperaturen von 1 bis 4 K über dem 5-jährigen Durchschnitt und verbreitet überdurchschnittlicher Sonnenschein zustande. Die warmen Witterungsphasen und der überdurchschnittliche Sonnenschein (30-40% mehr) wirkte sich bei den Bergstationen Schauinsland und Brotjacklriegel durch um 6 µg/m<sup>3</sup> über dem 5-jährigen Durchschnitt liegende Monatsmittel der Ozonkonzentrationen aus. Am 18. wurden die höchsten Ozonkonzentrationen des Jahres registriert (Stundenmittel an einigen Stationen in Baden-Württemberg und Hessen über 240 µg/m<sup>3</sup> bis maximal 292 µg/m<sup>3</sup>).

**Juli:** Mehrere Wetterlagentypen (aus Südwest, Nordwest, Südost und windschwaches Wetter) und zahlenmäßig ausgeglichene zyklonale wie antizyklonale Anteile prägten den Witterungsverlauf. Die Monatsmittel der Lufttemperaturen entsprachen somit den langjährigen Durchschnittswerten (1974-2001) sowohl im Küstenbereich als auch im Binnentiefland und Bergland. Die wärmsten und sonnenscheinreichsten Tage traten Ende der ersten und dritten Monatsdekade auf, was zu den höchsten Ozonkonzentrationen des Monats führte.

**August:**

In der nördlichen Hälfte Deutschlands fiel die Witterung wärmer aus als in Süddeutschland. Die Monatsmittel der Lufttemperaturen lagen beispielsweise in Westerland/Sylt (Abbildung 73) und Waldhof /Lüneburger Heide (Abbildung 74) deutlich über dem langjährigen Durchschnitt (1974-2001), in Deuselbach/Hunsrück (Abbildung 75) und auf dem Schauinsland/ Schwarzwald (Abbildung 76) dagegen kaum. Die Witterungsunterschiede im August zwischen Nord- und Süddeutschland verdeutlicht auch eindrucksvoll die Anzahl der Tage, an denen Halbstundenmittel der Lufttemperatur von 25 °C und darüber auftraten. In Waldhof trat dieser Fall an 21 Tagen ein, an der Station Raisting, die sich im Voralpenraum befindet, an nur 5 Tagen. Die wärmere und sonnigere Witterung in Norddeutschland spiegelte sich in positiven Abweichungen der Ozon-Monatsmittel vom Durchschnitt der vergangenen fünf Jahre wider gegenüber den negativen Abweichungen in Süddeutschland. Intensive Niederschläge um den 12. führten zu der verheerenden Hochwasserkatastrophe an der Elbe, Donau und Moldau (siehe Abbildung 72).

**September:**

In Norddeutschland dominierte der Einfluss von Hochdrucklagen über dem Nordmeer und über Skandinavien. Süddeutschland stand stärker unter dem Einfluss von Tiefdrucktätigkeiten über dem Mittelmeer. Auf das Temperaturniveau wirkten sich die unterschiedlichen Einflüsse an den in der nördlichen Hälfte Deutschlands gelegenen Stationen durch leicht überdurchschnittliche und in der Südhälfte befindlichen durch leicht unterdurchschnittliche Monatsmittel gegenüber dem langjährigen Mittelwerten (1997-2001) aus. Die unterschiedlichen Witterungseinflüsse machten sich auch in der Ozonbelastung bemerkbar. Im Vergleich zum 5-jährigen Durchschnitt lagen die Monatsmittel in Norddeutschland um ungefähr 10 µg/m<sup>3</sup> darüber, in Süddeutschland um etwa 5 µg/m<sup>3</sup> darunter. Auffälligstes Ereignis in der Luftbelastung des Monats waren die vorübergehenden Konzentrationszunahmen des Feinstaubs in Norddeutschland, die auf Ferntransporte von ausgedehnten Waldbränden in der Umgebung Moskaus herrührten.

**Oktober:**

Da über die Hälfte des Monats zyklonale Südwest- und Nordwestlagen auftraten und in der übrigen Zeit meist kontinentale Kaltluft aus Nord bis Ost nach Deutschland eindrang, blieben die Monatsmittel der Lufttemperaturen besonders deutlich in den nördlichen Teilen unter dem langjährigen Durchschnitt (19974-2001). Während insgesamt reichlich Niederschlag fiel, erreichte die Sonnenscheindauer keine Normalwerte. Die Oktoberwitterung schlug sich im Allgemeinen in einem verhältnismäßig niedrigen Schadstoffniveau nieder.

**November:**

Der Einfluss skandinavischer Hochdruckgebiete führte im Küstengebiet und Norddeutschen Tiefland zu unterdurchschnittlichen Temperaturen. In den anderen Teilen verursachte die vorherrschende Zufuhr atlantischer Luftmassen positive Temperaturabweichungen, reichlichen Niederschlag und unterdurchschnittlichen Sonnenschein. In den Gebieten zwischen Elbe und Oder bzw. Neiße bildete sich in der 1. Monatsdekade eine Schneedecke, stellenweise 5 bis 9 cm hoch. Die November-Witterung übte keinen besonderen Einfluss auf die Luftbelastung aus.

**Dezember:**

Das häufige Vorhandensein von Hochdruckgebieten über Nordeuropa und von Tiefdruckgebiete über dem Mittelmeerraum hatte zur Folge, dass mit der

vorherrschenden östlichen Bodenströmung (60-80%) Kaltluft nach Mitteleuropa gelangte. Die Monatsmittel der Lufttemperaturen lagen demzufolge auch deutlich unter dem 5-jährigen Durchschnitt der letzten Jahre (1 bis 4 K). Gebietsweise bildete sich im Tiefland eine geschlossene Schneedecke. Es setzten Stabilisierungsprozesse in den bodennahen Luftsichten ein, die den Vertikalaustausch stark einschränkten. Dies führte im Allgemeinen zu erhöhten SO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>- und Staubbefestigungen bzw. zu einem geringeren Ozoniveau.

## 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 6.3, Februar 1998*

(2) UBA (2003)

*Emissionsdaten für Deutschland 1990 bis 2001, Strogies, Umweltbundesamt II 6.3*

(3) Abraham, J. et al, (2001)

*Common Report on Air Quality in the Black Triangle Region 2001, Jelenia Gora, Polen, 2002, p 43*

(4) Sachstand zum Thema: Erhöhter Stickoxid-Ausstoß von LKW

*Pressemitteilung des UBA vom 14.2.2003*

(5) 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.*

(6) UBA Jahresbericht 1999, Berlin 2000

(7) 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*

(8) Solberg, S. (2003)

*VOC measurements 2001, EMEP/CCC-Report 2/2003, NILU, Norway*

(9) UBA (2003) Staub- und Feinstaubemissionen in Deutschland, Strogies, Umweltbundesamt II 6.3

(10) Jäschke, M. und K. Uhse (2003)

*Osterfeuer – ein Phänomen, UBA Jahresbericht 2002, Berlin 2003,  
<http://www.umweltdaten.de/daten/mbm/osterfeuer.pdf>*

(11) 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*

(12) Müller, J. (1986)

*Invariant properties of atmospheric aerosol. J. Aerosol Science, Vol. 17, No. 3, pp. 277-282*

(13) Jahresbericht 1998 aus dem Messnetz des UBA, UBA Texte 66/99, Langen, Okt. 1999

(14) Jahresbericht 2001 aus dem Messnetz des UBA, UBA Texte 69/02, Langen, Dez. 2002, S. 153-168

(15) Fricke et al. (1997)

*Ergebnisse täglicher Niederschlagsanalysen in Deutschland von 1982 bis 1995, UBA-Texte, Berlin, 1997*

(16) 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*

(17) 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*

(18) Jahresbericht 1999 aus dem Messnetz des UBA, UBA Texte 58/00, S. 117-132, Langen, 12/2000

(19) Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12.2.2002 über den Ozongehalt der Luft, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, 9.3.2002, L 67/14-30

(20) Hjellbrekke, A. (2003)

*persönliche Mitteilungen, NILU*

### **3. SPEZIELLE UMWELTPROBLEME**

#### **3.1 Der nordhemisphärische Transport von Ozon und Feinstaub und sein Beitrag zur Luftqualität in Deutschland**

*Siegfried Beilke*

##### **3.1.1 Einleitung**

Dass Luftverunreinigungen nicht am Ort ihrer Entstehung verbleiben, ist schon seit vielen Jahrzehnten hinreichend bekannt. Bisher haben sich Wissenschaftler und Politiker nahezu ausschließlich mit der Ausbreitung von Schadstoffen innerhalb eines Kontinentes beschäftigt, seit einigen Jahren stoßen Schadstoffflüsse zwischen den Kontinenten, vor allem zwischen den Kontinenten auf der Nordhalbkugel, auf verstärktes Interesse.

Der Hauptgrund für das zunehmende Interesse liegt darin, dass der nordhemisphärische Transport von Luftschatdstoffen wie beispielsweise Ozon und Feinstaub in erheblichem Maße zu den in Deutschland gemessenen Konzentrationen dieser Stoffe beitragen kann. Da in Nordamerika und vor allem in Europa die Spitzenbelastungen dieser Stoffe aufgrund erheblicher Emissionsminderungen zurückgehen, wird der Unterschied zwischen den nordhemisphärischen Hintergrundkonzentrationen und den nationalen Standards zunehmend geringer, vor allem bei Ozon. Mit der weiteren Verschärfung der nationalen Standards in Nordamerika und Europa sowie angesichts der zunehmenden Hintergrundbelastungen, wie sie beispielsweise beim Ozon beobachtet werden, wird die Bedeutung des interkontinentalen Transports für die Überschreitungen dieser Standards zunehmen. Die Kenntnis des nordhemisphärischen Hintergrundes und dessen langzeitige Änderung ist für die Beurteilung der Wirksamkeit von Minderungsmaßnahmen wichtig, denn dieser Hintergrund markiert eine Grenze, die durch emissionsmindernde Maßnahmen in Deutschland allein nicht unterschritten werden kann. Vor allem beim Ozon ist es deshalb wichtig, die natürlichen und anthropogenen Anteile am nordhemisphärischen Hintergrund zu quantifizieren, denn nur der anthropogene Anteil kann durch weltweite Maßnahmen in Asien, Nordamerika und Europa verminder werden (Ref. 1, 2, 3).

Zwei Workshops, an denen Wissenschaftler und Behördenvertreter aus Asien, Nordamerika und Europa teilnahmen, befassten sich mit Problemen der interkontinentalen grenzüberschreitenden Belastung vor allem durch Ozon und Feinstaub:

- Workshop in Palisades, New York, USA, 12. bis 15. Juni 2001 (Ref. 2)
- Workshop in Bad Breisig, Deutschland, 7. bis 9. Oktober 2002. (Ref. 3)

In beiden Workshops standen Fragen der Herkunft dieser Luftschatdstoffe, ihrer Transportpfade sowie ihrer Langzeittrends im Vordergrund des Interesses.

In den folgenden Abschnitten dieses Kapitels werden die wichtigsten Ergebnisse beider Workshops zusammen mit neueren Erkenntnissen präsentiert, interpretiert und die Beiträge des nordhemisphärischen Hintergrundes zu den an einigen Stationen im UBA-Messnetz gemessenen Konzentrationen geschätzt.

## 3.1.2 Ergebnisse der Workshops

Die Ergebnisse beider Workshops basieren auf Feldmessungen (Messkampagnen und Langzeitbeobachtungen) sowie auf Modellstudien im regionalen, hemisphärischen und globalen Maßstab.

### 3.1.2.1 Hemisphärische Emissionen

Feinstaub und Ozonvorläufer ( $\text{NO}_x$ , NH-VOC,  $\text{CH}_4$ , CO) werden durch natürliche und anthropogene Quellen in die Atmosphäre emittiert. Die Emissionen der Ozonvorläufer aus Asien, Nordamerika und Europa haben sich seit der vorindustriellen Zeit mehr als verdoppelt (Ref. 3), im Wesentlichen durch die Emissionen aus Industrie und Verkehr ( $\text{NO}_x$ , CO, VOC) sowie aus der Landwirtschaft ( $\text{CH}_4$ ).

Wahrscheinlich haben auch die Feinstaubemissionen seit der vorindustriellen Zeit in Nordamerika, Europa und Asien erheblich zugenommen. Dies betrifft sowohl die direkten Emissionen aus stationären und mobilen Quellen (Industrie, Haushalte, Verkehr) als auch die Emissionen von sog. Sekundärpartikeln, die aus Gasen wie z.B.  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  und VOC innerhalb der Atmosphäre gebildet werden.

Eine einigermaßen verlässliche Angabe der globalen Emissionen und deren Trends ist jedoch nicht möglich vor allem durch die erheblichen Unsicherheiten der Emissionen in Asien. Entsprechend lassen Untersuchungen zur globalen nordhemisphärischen Emissionsentwicklung kein einheitliches Bild erkennen. Es besteht Konsens, dass die globale nordhemisphärische Ozonbildung weitgehend  $\text{NO}_x$ -kontrolliert ist und in Zukunft es auch bleiben wird (Ref. 4, 5, 6, 7). Aus diesem Grunde interessiert vor allem, wie sich die  $\text{NO}_x$ -Emissionen in Zukunft entwickeln werden.

Während in einer Arbeit (Ref. 8) die nordhemisphärischen NOx-Emissionen zwischen 1990 und 2020 als weitgehend konstant angegeben werden, da die abnehmenden Emissionen in Europa und Nordamerika durch zunehmende Emissionen in Asien kompensiert werden, wird in einer anderen Untersuchung (Ref. 6) davon ausgegangen, dass die asiatischen Emissionen die Abnahme in Europa und Nordamerika überkompensieren.

Aber auch bei konstanten nordhemisphärischen Emissionen wird das nordhemisphärische Hintergrund-Ozon sehr wahrscheinlich weiter zunehmen, da die  $\text{NO}_x$ -Emissionen in Asien aufgrund der klimatischen Gegebenheiten wesentlicher stärker zum nordhemisphärischen Hintergrund-Ozon beitragen als in Europa oder Nordamerika (Ref. 3, 9). Dieser sehr überraschende Befund, wonach die gleiche Menge  $\text{NO}_x$  in Asien wesentlich stärker zum nordhemisphärischen Hintergrund-Ozon beiträgt als in Europa oder Nordamerika, liegt an dem effektiveren Vertikaltransport durch Konvektion (ein  $\text{NO}_x$ -Molekül bildet in höheren Schichten der Troposphäre mehr  $\text{O}_3$ -Moleküle als in Bodennähe bei höheren  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen, Ref.

9, 10) und an der längeren Ozonsaison in Südostasien im Vergleich zu Europa und Nordamerika (Ref. 10).

Beim Feinstaub dürften die zurückgehenden Emissionen der Primär -und Sekundärpartikel in Nordamerika und vor allem in Europa ebenfalls durch zunehmende Emissionen in Asien weitgehend kompensiert oder sogar überkompensiert werden.

### **3.1.2.2 Transportpfade der nordhemisphärischen Luftschadstoffe**

Die Emissionen eines Kontinents können die Luftqualität auf einem anderen Kontinent durch eine allgemeine Zunahme der nordhemisphärischen Schadstoffbelastung sowie durch Episoden mit hohen Schadstofftransporten beeinflussen. Der Beitrag von interkontinentalen Transporten zur regionalen Luftqualität hängt von den Transportbedingungen sowie von den jeweiligen Stoffen ab.

Beim Feinstaub tragen vor allem Episoden mit verstärkten Transporten zur Überschreitung von Standards bei. Beispiele für verstärkte Staubtransporte sind die in Europa relativ häufig beobachteten Episoden mit Saharastaub oder die vor allem an der Westküste Nordamerikas beobachteten Staubtransporte aus der Wüste Gobi in Asien. Weitere Beispiele sind die im September 2002 in weiten Teilen Norddeutschlands beobachteten stark erhöhten Feinstaubkonzentrationen, die durch Waldbrände im Gebiet um Moskau verursacht worden sind oder der großräumige Transport von radioaktiven Staubteilchen aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl (Ukraine) nach Deutschland im Jahre 1986.

Grundsätzlich ist die räumliche und zeitliche Verteilung des Feinstaubes im hemisphärischen Maßstab wesentlich heterogener als die des Ozons, was hauptsächlich auf die episodische Natur von starken Emissionereignissen (z.B. Sandstürme, Waldbrände, Vulkanausbrüche) und weniger auf die Beseitigung des Feinstaubes durch Regen und Wolken zurückzuführen ist.

Im Gegensatz zum Feinstaub zeigten Ozon- Bodenmessungen (z.B. an der UBA-Station Westerland auf Sylt oder in Mace Head an der Westküste Irlands) bisher kaum einen entsprechenden Beitrag von Episoden, d.h. das aus Nordamerika, Asien und Europa stammende Ozon ist weitgehend in den nordhemisphärischen Hintergrund eingemischt.

Der interkontinentale Transport kann erfolgen durch:

- (a) Advektion innerhalb der Grenzschicht und/oder
- (b) durch Transport innerhalb der freien Troposphäre.

Bei Transportprozess (b) wird ein Teil der aus bodennahen Quellen stammenden Stoffe Ozon und Feinstaub sowie deren Vorläufer durch verschiedene meteorologische Prozesse (z.B. Konvektion, orographische Effekte, Wettersysteme im synoptischen Scale wie z.B. warm conveyor belts) quasi-kontinuierlich aus den bodennahen Schichten in die freie Troposphäre gepumpt. In der freien Troposphäre ist die atmosphärische Lebensdauer dieser Stoffe deutlich höher als in der bodennahen Troposphäre: Sie steigt von wenigen Tagen in der bodennahen Atmosphäre auf einige Wochen bis Monate in der freien Troposphäre. Die längeren Lebenszeiten resultieren beim Ozon vor allem aus dem sehr niedrigen Wasserdampfgehalt in der freien Troposphäre, wodurch der radikalische Ozonabbau sehr langsam erfolgt. Die lange

Lebensdauer des Feinstaubes resultiert hauptsächlich aus dem Fehlen von Wolken und Niederschlag (Hauptsenke für Feinstaub) in der freien Troposphäre.

Mit der allgemeinen Westwindzirkulation auf den gemäßigten Breiten der Nordhemisphäre können diese Stoffe innerhalb der freien Troposphäre unter Umständen mehrmals um die Nordhalbkugel zirkulieren bevor sie durch quasi-kontinuierliche Absinkprozesse wieder in die bodennahen Luftschichten heruntergemischt werden. Die wichtigsten Pfade beim Transport zwischen den einzelnen Kontinenten sind wahrscheinlich verschieden: Während der Transport von Ozon und Feinstaub zwischen Nordamerika und Europa über den Atlantik sowie zwischen Asien und Nordamerika über den Pazifik hinweg hauptsächlich in der freien Troposphäre und kaum innerhalb der maritimen Grenzschicht erfolgt, wird zwischen Europa und Asien ein nicht unerheblicher Teil auch innerhalb der atmosphärischen Grenzschicht transportiert (Ref. 3).

### 3.1.2.3 Herkunft der Luftverunreinigungen

Die Entwicklung einer quantitativen Beziehung zwischen den Quellen und Senken im interkontinentalen Maßstab ist sehr schwierig. Entsprechend unsicher (Faktor 2 und mehr) sind die bisher mit Hilfe von globalen 3D-Chemie-Transport-Modellen (CTM) berechneten Zahlen, wie am Beispiel des Ozons deutlich gemacht werden soll.

Die nordhemisphärischen Ozon-Hintergrundkonzentrationen auf den gemäßigten Breiten der Nordhalbkugel liegen in Bodennähe etwa zwischen 30 und 40 ppb. Dieser Konzentrationsbereich wurde beispielsweise bei länger andauernden Westwindwetterlagen an den europäischen Küstenstationen Westerland auf Sylt (Ref. 11, 12) und Mace Head an der Westküste Irlands (Ref. 13, *Transport von Ozon über den Atlantik*) sowie an Stationen an der Westküste Nordamerikas (Ref. 14, *Transport von Ozon über den Pazifik*) festgestellt.

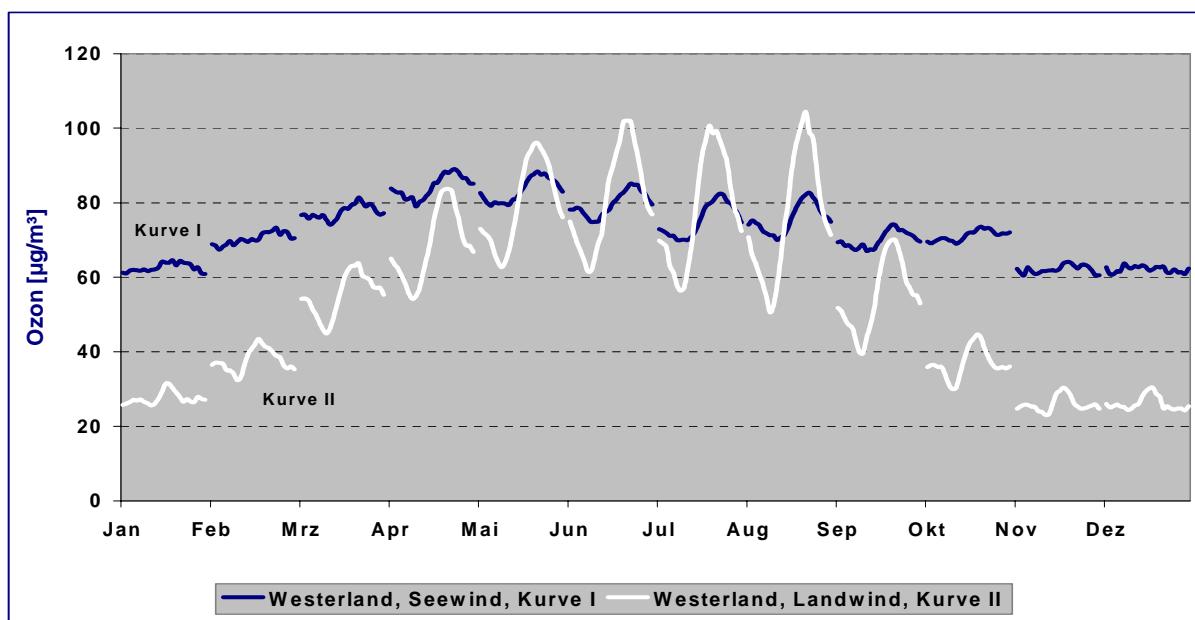


Abbildung 98: Mittlere monatliche Tagesgänge von Ozon für Westerland, gemittelt über den Zeitraum 1990 bis 2002, getrennt nach Süd bis Ostwind (Wind vom europäischen Kontinent) und Nord- bis Westwind (Wind von Atlantik und Nordsee).

In Abbildung 98 sind die von der Jahreszeit abhängigen Hintergrund-Ozonkonzentrationen beispielhaft für die UBA-Station Westerland dargestellt. Die Hintergrundkonzentrationen entsprechen der Kurve I (Wind von See aus westlichen Richtungen, Antransport von Ozon über den Atlantik und die Nordsee nach Sylt). Zum Vergleich ist auch die entsprechende Kurve für Wind aus süd- bis östlichen Richtungen (Antransport von Ozon vom europäischen Kontinent) mit eingezzeichnet (Kurve II). Während die Ozonkonzentrationen bei Wind von See nur geringe Schwankungen auf einem vergleichsweise hohem Niveau (30-45 ppb) zeigen, sind die Änderungen bei Ozontransporten vom europäischen Kontinent sowohl im Tages-, als auch im Jahresverlauf stärker (10 bis 50 ppb).

Woher stammen diese vergleichsweise hohen Ozon-Hintergrundwerte von 30 bis 40 ppb auf den gemäßigten Breiten der Nordhalbkugel und welche Beiträge liefern die verschiedenen Quellen zu den aktuellen Ozonkonzentrationen?

Diese Ozonwerte stammen sowohl aus der Troposphäre (Luftschicht zwischen Boden und ca. 10 km Höhe), wo das Ozon photochemisch aus Ozonvorläufern gebildet wird, als auch aus der darüber liegenden Stratosphäre (Schicht zwischen 10 und 50 km), aus der ein Teil des Ozons bis zum Erdboden herunter gemischt werden kann.

### **Stratosphärischer Beitrag**

Es besteht weitgehender Konsens, dass der stratosphärische Beitrag zu den bodennahen Ozonkonzentrationen gegenüber dem photochemisch innerhalb der Troposphäre gebildeten Ozon gering ist, vor allem im Sommer.

In neueren amerikanischen Arbeiten (*Ref. 15, 16*) wird der stratosphärische Beitrag zu den bodennahen sommerlichen Hintergrund-Konzentrationen in den USA (nördlich 13° N, 69 – 126° W) beispielsweise mit bis zu 2 ppb (bis ca. 5% Beitrag zu den aktuellen Ozonkonzentrationen) angegeben. (Modellrechnungen: Globales 3D-CT-Modell GEOS-CHEM)

Geringfügig höhere stratosphärische Beiträge zu den bodennahen sommerlichen Ozonkonzentrationen werden mit 2-4 ppb (5 bis 10%) für die Station Mace Head (53° N, 10° W) an der Westküste Irlands in einer englischen Arbeit angegeben, während im Winter bis maximal 8 ppb (bis ca. 20%) und im Jahresmittel etwa 5 ppb (ca. 15%) aus der Stratosphäre stammen (*Ref. 7*).

Der stratosphärische Beitrag zu den Jahresmitteln der Ozon-Bodenkonzentrationen für 20 mitteleuropäische EMEP-Stationen (u.a. auch die UBA- Station Waldhof) war mit 3 bis 4 ppb (ca. 5-10%) etwas geringer als für die Station Mace Head.

Ähnlich geringe stratosphärische Beiträge zu den bodennahen sommerlichen Ozonkonzentrationen in Mace Head wie in *Referenz 7* wurden in einer anderen Arbeit (*Ref. 5, 6*), mit etwa 2 bis 5 ppb (5-15%) angegeben, deutlich höhere stratosphärische Anteile dagegen für den Winter mit Beiträgen bis maximal 20 ppb (50% und mehr).

Für die gesamte außertropische Troposphäre der Nordhalbkugel (15° – 90° N) wurden im Jahresdurchschnitt ca. 25% als stratosphärischer Beitrag zu den bodennahen Ozonkonzentrationen berechnet, für den Sommer im Mittel etwa 15% (*Ref. 5, 6*). Der restliche Beitrag von 75% (Jahresmittel) bzw. 85% (im Sommer) stammt aus photochemischer Ozonbildung innerhalb der Troposphäre. Von den 75% photochemisch gebildeten Ozons

stammen nach diesen Modellrechnungen etwa 15% aus natürlichen Ozonvorläufern und etwa 60% aus anthropogenen Vorläufern (Ref. 6).

In Tabelle 105 sind die verschiedenen stratosphärischen Ozonbeiträge zu den bodennahen Ozonkonzentrationen, die mittels 3-D Chemie-Transport-Modellen berechnet worden sind, nochmals übersichtlich zusammengestellt.

Tabelle 105: Stratosphärische Ozonbeiträge zu den bodennahen Ozonkonzentrationen an verschiedenen Orten/Gebieten der Nordhalbkugel

<b>Ort/Gebiet</b>	<b>Stratosphärischer Beitrag zum bodennahen Ozon</b>	<b>Referenzen</b>
Nordhalbkugel (15° - 90° N)	ca. 15% (Sommer) ca. 25% (Jahresdurchschnitt)	5, 6
Nordamerika (13 °N, 69-126 °W)	bis ca. 2 ppb (ca. 5%) im Sommer	15, 16
Mace Head (Westküste Irland) (53 °N, 10 °W)	2-4 ppb (ca. 5 – 10%) im Sommer bis 8 ppb (bis ca. 20%) im Winter ca. 5 ppb (ca. 15%) im Jahresmittel	7
Mace Head (53 °N, 10 °W)	2-5 ppb (ca. 5 – 15%) im Sommer bis 20 ppb (ca. 50% im Winter)	5, 6
20 EMEP-Stationen (darunter die UBA-Station Waldhof)	3-4 ppb (ca. 5 – 10%) im Jahresmittel	7

### Troposphärischer Beitrag

Es besteht weitgehender Konsens, dass der Beitrag des photochemisch innerhalb der Troposphäre aus natürlichen und anthropogenen Ozonvorläufern gebildeten Ozons zu den bodennahen Ozonkonzentrationen erheblich größer ist als der Beitrag des stratosphärischen Ozons. Weniger Konsens besteht dagegen bezüglich des Beitrages der anthropogenen gegenüber den natürlichen Ozonvorläufern. Während der anthropogene Beitrag bei einigen Autoren deutlich überwiegt (Ref. 6, 7), ist der natürliche Beitrag in einer anderen Arbeit etwa von gleicher Größe wie der anthropogene Beitrag (Ref. 16).

Die verschiedenen Beiträge von natürlichen gegenüber den anthropogenen Ozonvorläufern resultieren wahrscheinlich vor allem aus den sehr unterschiedlichen Annahmen in den 3D-CT-Modellen bezüglich der natürlichen NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Böden sowie aus der Gewittertätigkeit. Möglicherweise wurde von einigen Autoren (z.B. Ref. 16) nicht berücksichtigt, dass die „natürlichen“ NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Böden mit hoher Wahrscheinlichkeit anthropogenen Ursprungs sind, da NO-Emissionen auch aus ungedüngten Böden (z.B. Waldböden) erst durch den atmosphärischen Eintrag von N-Verbindungen (überwiegend anthropogen) in die Böden zustande kommen (Ref. 17). Da der atmosphärische Eintrag von N-Verbindungen seit Beginn der Industrialisierung stark zugenommen hat, ist es streng genommen nicht statthaft, die heute gemessenen NO-Emissionen aus (ungedüngten) Böden mit den entsprechenden Emissionen vor Beginn der Industrialisierung gleichzusetzen. Die Folge wären zu hohe damalige Ozonkonzentrationen und eine Überschätzung der Beiträge der natürlichen Ozonvorläufer in den Modellrechnungen.

## Beiträge aus Asien, Nordamerika und Europa

Erste Abschätzungen, wie hoch die Beiträge von Ozon und Feinstaub aus Asien, Nordamerika und Europa zu den auf diesen Kontinenten gemessenen Konzentrationen sind, liegen zum Teil weit auseinander. Die Gründe für diese Diskrepanzen sind vielfältiger Natur. Sie können sich beispielsweise ergeben aus den Unsicherheiten bei den natürlichen und anthropogenen Emissionen vor allem von NO<sub>x</sub> und Feinstaub aus Asien, der nichtlinearen Kopplung der verschiedenen chemischen und physikalischen Prozesse, usw.

Für Ozon wurden erhebliche Beiträge aus Nordamerika und Asien zu den bodennahen Ozonkonzentrationen in Europa in einer englischen Arbeit berichtet (Ref. 7). Für die Stationen Mace Head an der Westküste Irlands und Waldhof (UBA- Station in Lüneburger Heide) zeigten die 3D-CT-Modellrechnungen (STOCHEM) beispielsweise die in Tabelle 106 aufgelisteten Beiträge zum Ozon-Jahresmittelwert für 1998. Ähnliche prozentuale Beiträge wie für Waldhof wurden auch für 20 weitere EMEP–Stationen auf dem europäischen Festland berechnet.

Tabelle 106: Beiträge aus Nordamerika, Asien, Europa sowie anderer Quellen zu den bodennahen Ozon-Jahresmittelkonzentrationen 1998 an zwei europäischen Stationen berechnet nach Ref. 7 mittels 3D-CT-Modell STOCHEM.

	<b>Nordamerika</b>	<b>Asien</b>	<b>Europa</b>	<b>Rest: Globale Quellen, Stratosphäre</b>
<b>Mace Head</b>	ca. 40%	ca. 20%	ca. 25%	ca. 15%
<b>Waldhof</b>	ca. 25%	ca. 15%	ca. 50%	ca. 10%

Wegen der exponierten Lage an der Westküste Irlands und der im Jahreszeitraum vorherrschenden Westwindwetterlagen sind naturgemäß die Beiträge aus Nordamerika und Asien an der Station Mace Head größer und die Beiträge vom europäischen Kontinent geringer als an der kontinentalen UBA-Station Waldhof.

Die in Tabelle 106 für die Stationen Mace Head und Waldhof berechneten prozentualen Ozonbeiträge zu den Ozon-Jahreswerten werden durch Transporte aus allen Windrichtungen verursacht. Beschränkt man sich bei der Station Mace Head auf Transporte aus westlichen Richtungen (Antransport von Ozon über den Atlantik hinweg), so lassen sich die nordhemisphärischen Hintergrundkonzentrationen (30 bis 40 ppb) direkt bestimmen.

Die Beiträge der in Tabelle 106 angegeben Quellen zu den nordhemisphärischen Hintergrundkonzentrationen ändern sich unter diesen speziellen meteorologischen Bedingungen gegenüber den Tabellenwerten dahingehend, dass die Beiträge aus Nordamerika und Asien steigen, während die europäischen Ozonbeiträge erheblich sinken, da das europäische Ozon bei Westwindwetterlagen nicht direkt auf kürzestem Wege vom europäischen Festland nach Mace Head transportiert wird, sondern mit der Westwindzirkulation erst um den gesamten Globus über Asien und Nordamerika hinweg transportiert werden muss, bevor es die Station erreicht.

Für die Küstenstationen Mace Head und Westerland (UBA-Station auf Sylt) könnten die sommerlichen Beiträge zum nordhemisphärischen Ozon-Hintergrund von 30 – 40 ppb unter

den speziellen meteorologischen Bedingungen von stationären Westwindwetterlagen nach Literaturveröffentlichungen (*Ref. 2, 3, 11*) und eigenen Abschätzungen wie folgt aussehen (Tabelle 107):

Tabelle 107: Geschätzte Beiträge von stratosphärischem sowie photochemischem Ozon aus Asien, Nordamerika und Europa im Sommer zu den nordhemisphärischen Hintergrund-Ozonkonzentrationen gemessen in Mace Head (Irland) und Westerland (Sylt) bei Wind aus westlichen Richtungen (Antransport von Ozon über den Atlantik).

Stratosphärischer Beitrag	2-5 ppb (5 – 15%)
Photochemisches Ozon aus natürlichen und anthropogenen Ozonvorläufern aus Nordamerika, Asien und Europa	30-35 ppb (85-95%)

Abbildung 99 zeigt die mit Hilfe des 3D-CT-Modells STOCHEM berechneten saisonalen Ozonbeiträge aus Asien, Nordamerika und Europa zu den Ozonkonzentrationen an der UBA-Station Waldhof für das Jahr 1998 (*Ref. 7*). Die Modellwerte (ausgefüllte Flächen) sind Monatsmittel, die beobachteten Konzentrationen (schwarze, dicke Linie) sind Mittelwerte der täglichen maximalen 1-h-Werte. Während in den Sommermonaten die europäischen Beiträge gegenüber den Beiträgen aus Nordamerika und Asien klar dominieren, tragen in den Wintermonaten auch die außereuropäischen Ozontransporte erheblich zu den beobachteten Ozonkonzentrationen bei.

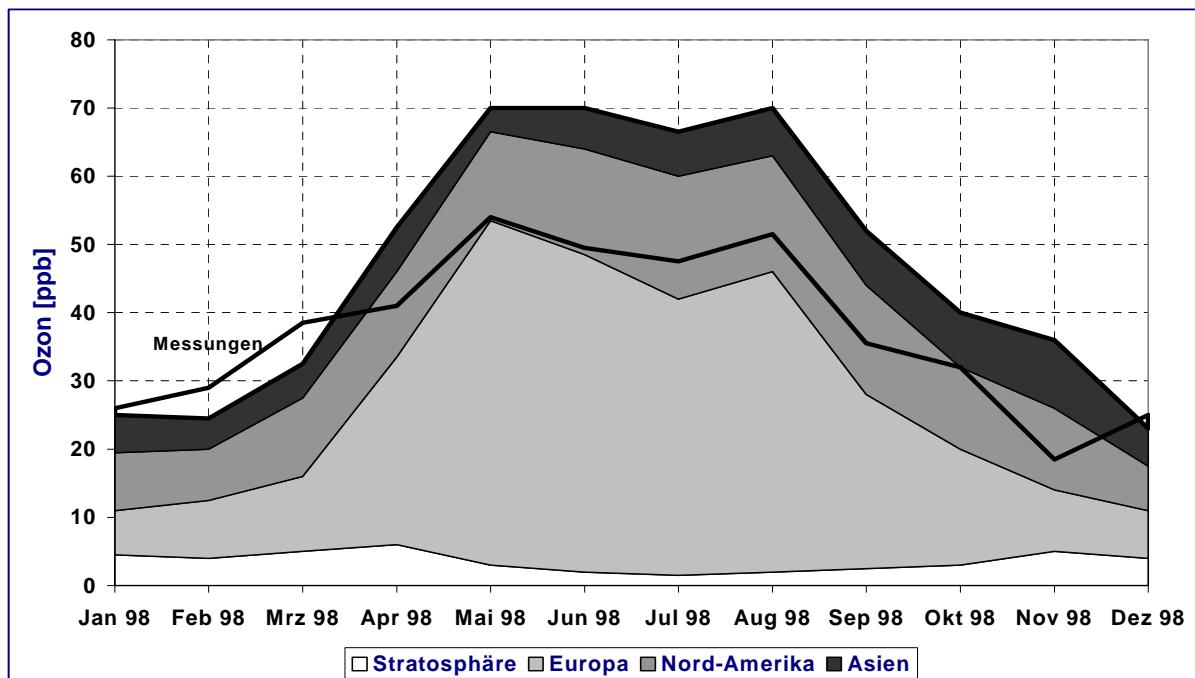


Abbildung 99: Ozonbeiträge aus Asien, Nordamerika und Europa zu den Ozonkonzentrationen an der UBA-Station Waldhof (1998). Modell: Monatsmittel, 3D, CTM STOCHEM, Derwent, 2002, Ref. 7, Beobachtungen: Mittelwerte der täglichen maximalen 1-Stundenwerte (durchgezogene Linie).

Abbildung 100 zeigt die entsprechenden saisonalen Ozonbeiträge zu den Ozonkonzentrationen an der irischen Küstenstation Mace Head. Neben den generell höheren Beiträgen aus Nordamerika und Asien und den geringeren Beiträgen aus Europa verglichen mit Waldhof tragen in Mace Head auch globale photochemische Quellen sowie stratosphärisches Ozon in geringem Maße zu den Ozonkonzentrationen bei.

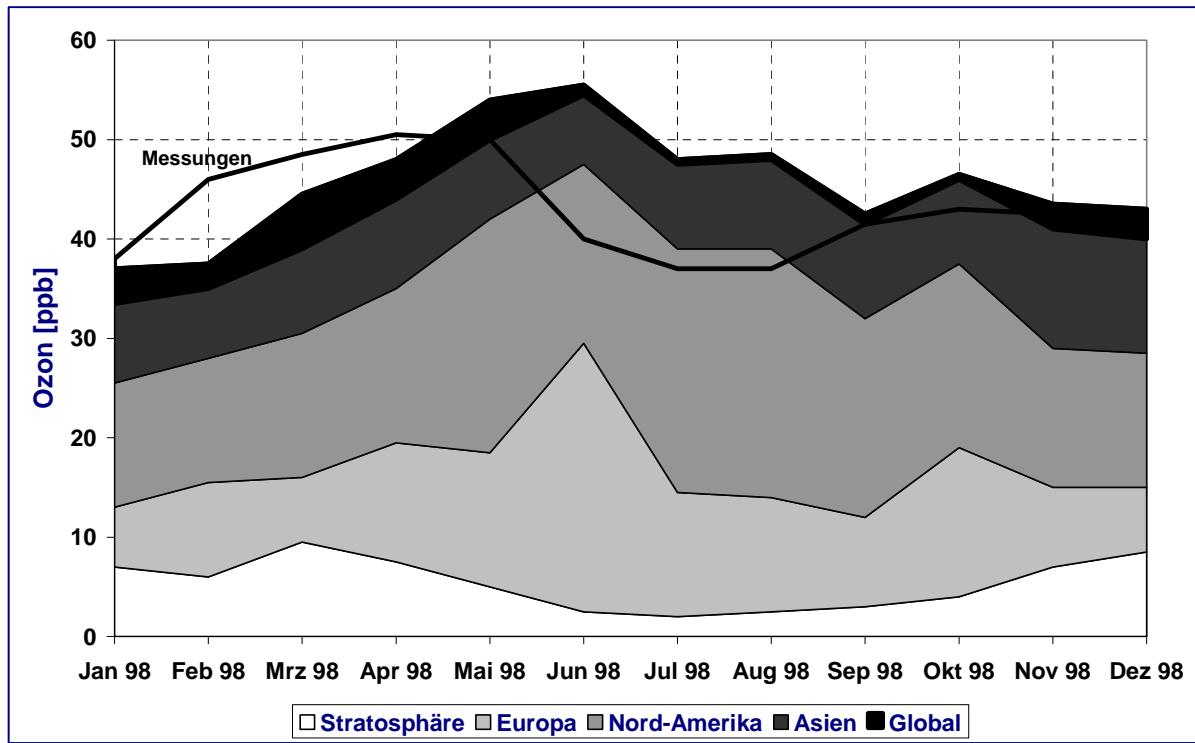


Abbildung 100: Ozonbeiträge aus Asien, Nordamerika und Europa zu den Ozonkonzentrationen an der Station Mace Head (Westküste Irlands, 1998), Ref. 7

Geringere Ozonbeiträge als im Beitrag von Derwent et al. (2002, Ref. 7) wurden in einer amerikanischen Arbeit (Ref. 15) berichtet. Im Unterschied zu der englischen Arbeit (Ref. 7) wurden in der amerikanischen Untersuchung (Ref. 15) relativ geringe anthropogene Beiträge aus Asien und Europa zu den Ozon-Hintergrundkonzentrationen in den USA angegeben. Die mit Hilfe des 3D-CT-Modells GEOS-CHEM berechneten Beiträge aus Asien plus Europa für den Sommer 1995 lagen in der Regel zwischen 4 und 7 ppb (typischer Bereich am Nachmittag, entspricht etwa 5% bis 15% Beitrag zu den gemessenen Ozonkonzentrationen in Bodennähe). In Einzelfällen wurden Beiträge bis 14 ppb berechnet (ca. 25%).

Noch geringere Ozon-Beiträge der Kontinente zu den Ozonbelastungen auf den jeweiligen anderen Kontinenten wurden in einer japanischen Arbeit berichtet (Ref. 3, 18). Nach diesen Berechnungen stammen im Jahresmittel nur etwa 1 ppb des Ozons in USA und nur etwa 0.8 ppb des Ozons in Europa aus Asien. Etwa 1.1 ppb des Ozons in Asien und etwa 0.9 ppb des Ozons in den USA stammen aus Europa, während 2 ppb des Ozons in Europa und 0.8 ppb des Ozons in Asien Quellen in den USA zuzuordnen sind.

Eine Abschätzung der Beiträge des quasi-kontinuierlichen nordhemisphärischen Transportes von Feinstaub aus anthropogenen Quellen in Asien, Nordamerika und Europa zu den aktuellen Feinstaub-Belastungen auf diesen Kontinenten ist schwieriger als beim Ozon, da die Beiträge des hemisphärischen Transportes relativ gering sind und eine genaue Separierung der Beiträge

aus anderen Kontinenten sehr aufwändige chemische Analysen notwendig macht. Relativ einfach lassen sich dagegen die Beiträge von episodenhaften hohen Feinstaub-Transporten bestimmen.

Sehr gut dokumentiert sind beispielsweise stark erhöhte Feinstaubkonzentrationen im Westen Nordamerikas nach Sandstürmen in der Wüste Gobi (Asien) oder im Südosten der USA nach Staubausbrüchen in der Sahara (Afrika).

So wurden beispielsweise an einigen Stationen im Westen und Nordwesten der USA (*Ref. 3, 14, 22, 23, 24*) Überhöhungen gegenüber den normalen Werten zwischen 4 und 63 µg/m<sup>3</sup> bei PM<sub>10</sub> für Staubepisoden aus Asien sowie zwischen 16 und 26 µg/m<sup>3</sup> an einer Station im Westen Kanadas (*Ref. 3, 25*) berichtet, d.h. während solcher Episoden mit starken Feinstaubtransporten können die Staubkonzentrationen um mehr als das Doppelte ansteigen.

### **3.1.2.4 Nordhemisphärische Ozon–Langzeittrends**

Bezüglich der nordhemisphärischen Ozon-Langzeittrends lassen Beiträge in den letzten Jahren kein einheitliches Bild erkennen. Ein möglicher Grund hierfür könnte sein, dass oft keine saubere Trennung zwischen globalem nordhemisphärischen Hintergrund-Ozon und dem Ozon vorgenommen wird, welches durch lokale bis regionale ozonbildende bzw. ozonzerstörende Prozesse mehr oder weniger stark beeinflusst wird. Bei Letzterem kann eine Änderung der Vorläuferemissionen u.U. zu gegensätzlichen Ozontrends führen.

Für das nordhemisphärische Hintergrund-Ozon zeigen mehrere Beiträge von Bad Breisig eine Zunahme (*Ref. 7, 13, 19, 20, 21*). Da an Stationen an den Westküsten Nordamerikas und Europas die Ozonkonzentrationen in erheblichem Maße durch den nordhemisphärischen Hintergrund bestimmt werden, sollten vor allem an diesen Stationen einheitliche Trends sichtbar werden.

Messungen an mehreren Ozonstationen an der amerikanischen Westküste haben eine Zunahme der bodennahen Ozonkonzentrationen während der letzten 20 Jahre um  $0.5 \pm 0.36$  ppb /Jahr ergeben (*Ref. 19*).

Eine ähnliche jährliche Zunahme wurde für die irische Station Mace Head berichtet (*Ref. 7, 13*). Zwischen 1987 und 2001 betrug die jährliche Zunahme der bodennahen Ozonkonzentrationen 0.56 ppb/Jahr.

Im Gegensatz zu den Stationen an den Westküsten von Nordamerika und Europa können die nordhemisphärischen Ozon-Hintergrundkonzentrationen an kontinentalen Stationen wegen lokaler bis regionaler ozonbildender- und zerstörender Einflüsse nicht direkt bestimmt werden. Eine indirekte Bestimmung am Meteorologischen Observatorium des Deutschen Wetterdienstes auf dem Hohenpeißenberg (900 m ü NN) durch eine saisonabhängige Selektion der Ozondaten nach Windgeschwindigkeiten erlaubte eine Abschätzung der nordhemisphärischen Ozon-Hintergrundkonzentrationen und deren Langzeittrends (*Ref. 20, 21*). Danach haben die Jahreswerte zwischen 1975 und 1999 von 31 auf 40 ppb (0.38 ppb/Jahr) zugewonnen.

### 3.1.2.5 Globale Emissionsminderung und nordhemisphärischer Hintergrund

Da die nordhemisphärische Ozonbildung weitgehend  $\text{NO}_x$ -kontrolliert ist, sollte eine weltweite Reduzierung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen das nordhemisphärische Ozon und dessen Beitrag zu den aktuellen Ozonwerten am effektivsten mindern.

Erste sehr grobe globale Modellrechnungen (*Ref. 7*) bestätigen dies. Mit Hilfe des 3D-CT-Modells (STOCHEM) wurde abgeschätzt, um wie viele ppb sich die aktuelle Ozonbelastung an 21 europäischen EMEP-Stationen vermindert, wenn die globalen anthropogenen Emissionen von Methan ( $\text{CH}_4$ ), Kohlenmonoxid (CO) und Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) um jeweils 50% reduziert werden.

Die Abbildung 101 und Abbildung 102 und zeigen beispielhaft die Ergebnisse einer 50%igen Reduzierung von CO und  $\text{NO}_x$  für die UBA-Station Waldhof. Während eine 50%ige Reduzierung der globalen CO-Emissionen die Ozonkonzentrationen saisonabhängig nur um 0.5 bis 2.5 ppb senkt, liegt die Minderung bei einer entsprechenden Reduzierung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen zwischen 3 und 11 ppb. Abbildung 103 zeigt die Ergebnisse einer 50%igen Reduzierung der globalen anthropogenen  $\text{CH}_4$ -Emissionen. Die Verminderung der Ozonkonzentrationen für die europäischen Länder ist mit 1 bis 1.5 ppb relativ gering.

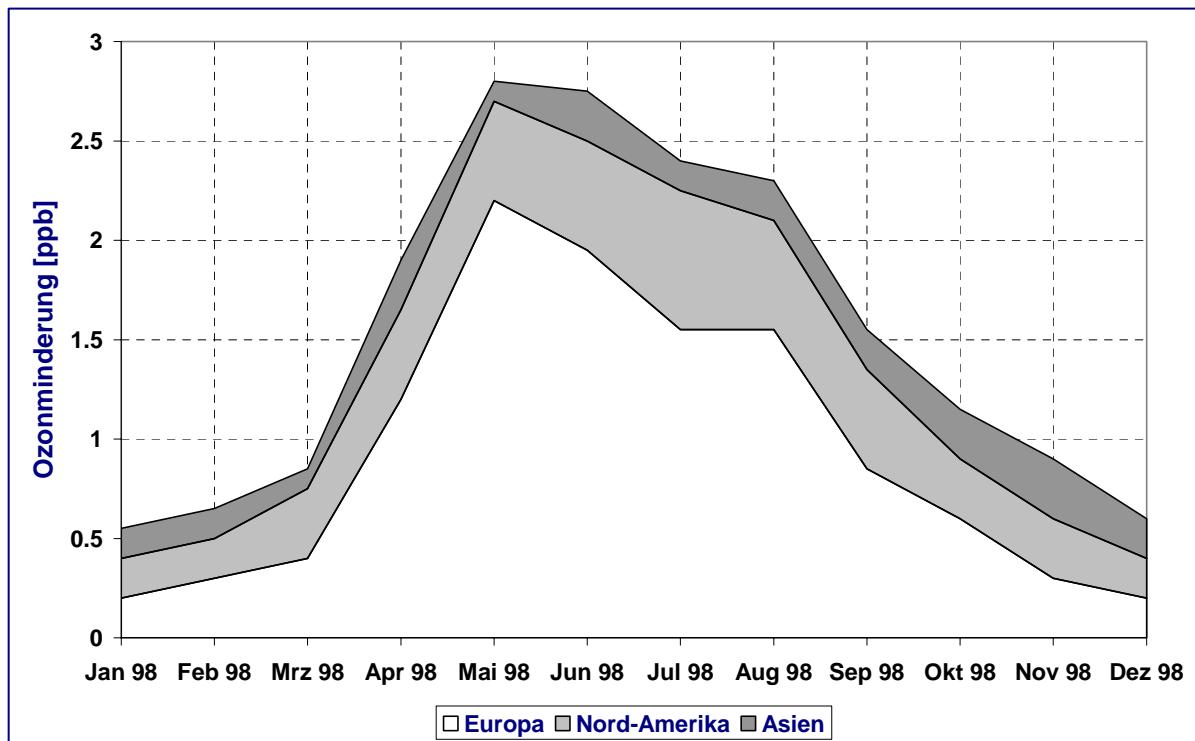


Abbildung 101: Ozonminderung in Waldhof unter der Annahme einer 50%igen Reduktion der globalen anthropogenen CO-Emissionen (*Ref. 7*)

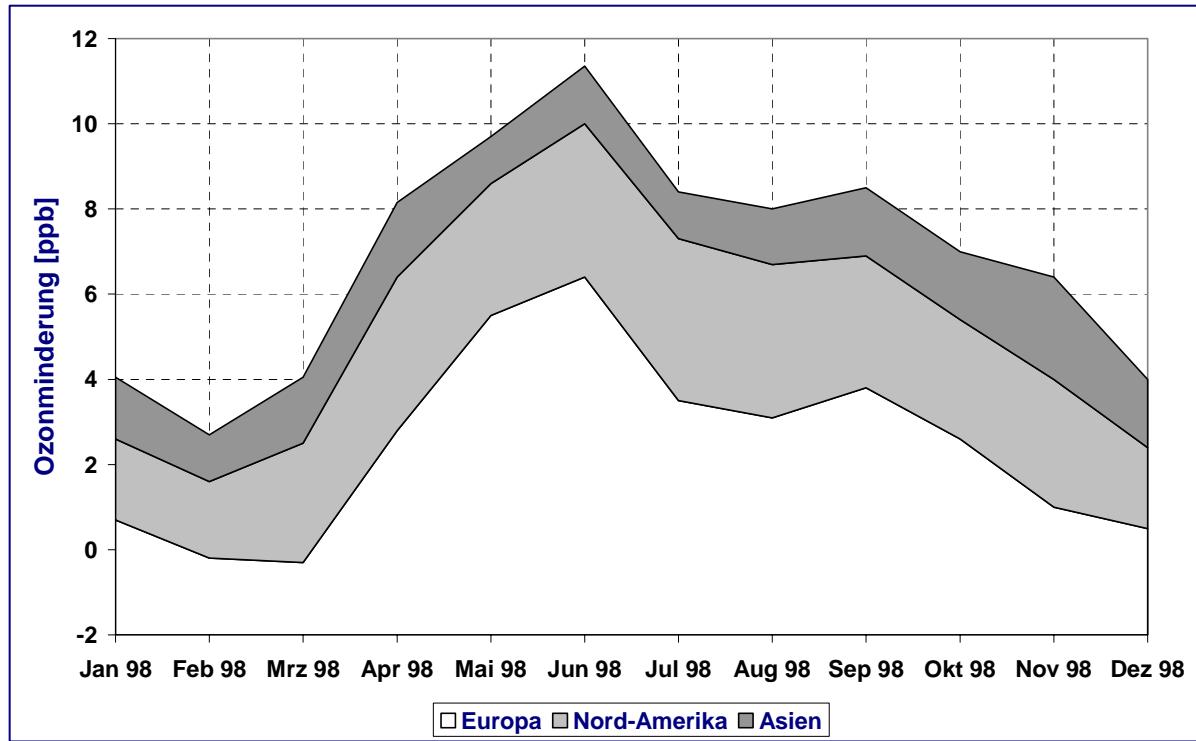


Abbildung 102: Ozonminderung in Waldhof unter der Annahme einer 50%igen Reduktion der globalen anthropogenen NO<sub>x</sub>-Emissionen (Ref. 7)

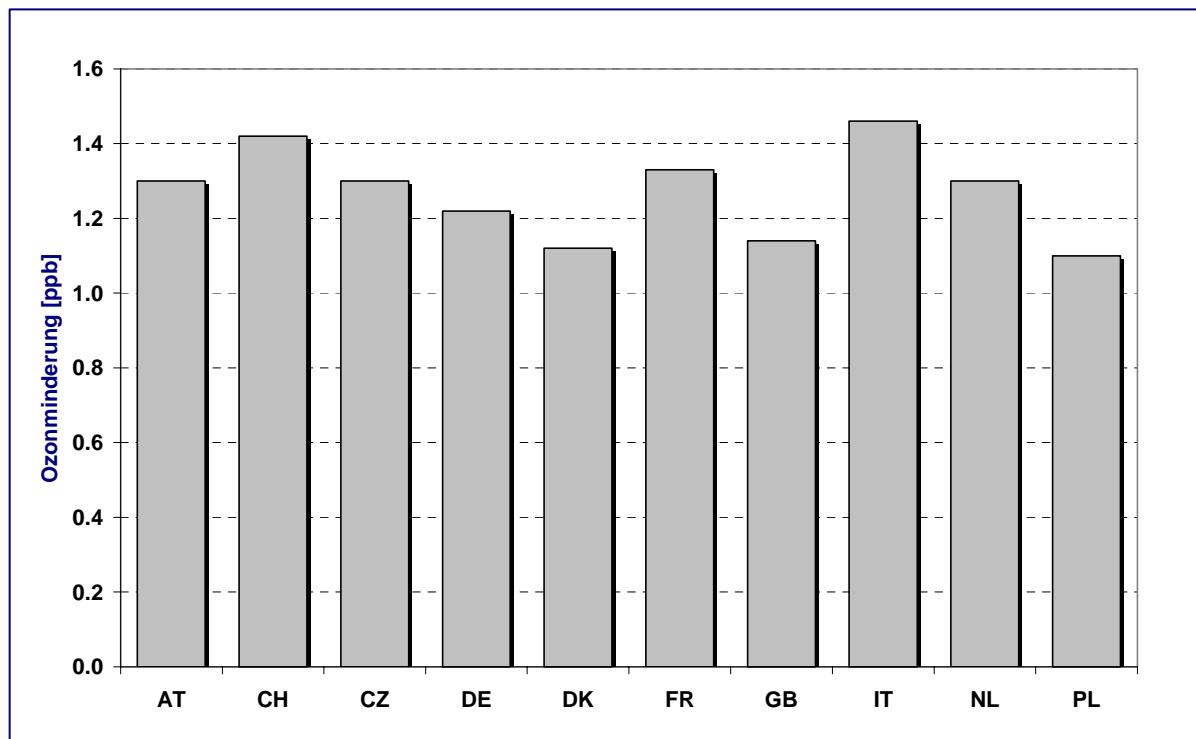


Abbildung 103: Ozonminderung unter der Annahme einer 50%igen Reduktion der globalen anthropogenen Methan-Emissionen (Ref. 7)

Noch unsicherer als beim Ozon sind die Auswirkungen globaler Emissionsänderungen beim Feinstaub. Satellitenmessungen zum Transport von Feinstaub über den Nordatlantik bzw. Nordpazifik zeigten hohe Feinstaubkonzentrationen an den Ostränden des amerikanischen bzw. asiatischen Kontinentes, dagegen in der Regel aber eine starke Abnahme der Konzentrationen während des weiteren Transportes. Dies steht im Gegensatz zum Ozon, dessen Konzentrationen sich über den gesamten Nordpazifik bzw. Nordpazifik hinweg nur relativ wenig ändert (Ref. 26).

Für Deutschland bedeutet dies, dass der interkontinentale Transport über den Nordatlantik hinweg für die deutsche Feinstaubgesetzgebung nicht die gleiche Bedeutung hat wie der entsprechende Transport von Ozon für die Ozongesetzgebung.

Angesichts der drastischen Reduzierung der Emissionen von Feinstaub in Deutschland während der letzten 15 Jahre werden dessen Konzentrationen in zunehmendem Maße durch die natürlichen Emissionen und vor allem durch den Ferntransport bestimmt, wobei aber der interkontinentale Transport – außer bei relativ selten vorkommenden Episoden mit hohen Feinstaubtransporten (z.B. Saharastaub) – gegenüber dem Ferntransport aus den europäischen Nachbarstaaten sehr gering zu sein scheint.

### **3.1.3 Literatur zu Kapitel 3.1**

- (1) *NARSTO Report, USA (2000)*  
*An Assessment of Tropospheric Ozone Pollution: A North American Perspective, NARSTO: The North American Research Strategy for Tropospheric Ozone, July 2000*
- (2) *Workshop Conclusions: Photooxidants, Particles, and Haze across the Arctic and North Atlantic: Transport, Observations and Models, Palisades, New York, USA, 12-15 June 2001.*
- (3) *Workshop Conclusions: Trends and Intercontinental Transport of Photo-oxidants, Particles and Their Precursors across the Northern Hemisphere (Observations, Models, Policy Implications). Bad Breisig, Germany, 7-9 October 2002.*
- (4) *Penkett, S. A. (2001)*  
*Trans-Atlantic Transport: A European Perspective. Paper presented under ref.2*
- (5) *Lelieveld, J. and F. Dentener (2000)*  
*What controls tropospheric ozone ? J. Geoph. Research, Vol.105, No.D3, pp.3531-3551.*
- (6) *Lelieveld, J. (2002)*  
*Global Northern Hemispheric Modeling of Tropospheric Ozone. Paper presented under ref. 3.*
- (7) *Derwent, R. (2002)*  
*Intercontinental transport and the contribution from global emission controls to ozone levels within Europe. Paper presented under ref. 3.*

- (8) Amann, M. (2002)  
*Hemispheric emission scenarios. Paper presented under ref. 3.*
- (9) Derwent, R. (2001)  
*Source-receptor relationships for ozone between North America and Europe calculated with a 3-D Lagrangian CTM Model. Paper presented under ref.2.*
- (10) Neftel, A. (2000)  
*NO-Emissionen aus Agrarflächen in Mitteleuropa, Vortrag gehalten am 20. November 2000 bei DECHEMA in Frankfurt/M.*
- (11) Beilke, S. und Wallasch, M. (2000)  
*Die Ozonbelastung in Deutschland seit 1990 und Prognose der zukünftigen Entwicklung. Immissionsschutz, 5. Jahrgang, Heft Nr.4, Dezember 2000, S. 149-155.*
- (12) Stick, C.; Beilke, S.; Adolphsen, A.; Hundhausen, E.; Wallasch, M. (1998)  
*Die lufthygienische Charakterisierung des Seeklimas an der deutschen Nordseeküste im Vergleich zum Binnenland. Phys. Rehab. Kur Med 8, S. 75-83.*
- (13) Derwent, D. (2002)  
*Persönliche Mitteilung*
- (14) Jacob, D. and Fiore, A. (2001)  
*Origin of background ozone in surface air over the United States in summer: contribution to pollution episodes. Paper presented at workshop under ref.2.*
- (15) Fiore, A.; Jacob, D. et al. (2002)  
*Background ozone over the United States in summer : origin, trend, and contribution to pollution episodes. J. Geoph. Research, 107 (D15), p.1029, 2002.*
- (16) Butterbach - Bahl, K. (2002)  
*Wälder als NO<sub>x</sub> – Quelle, Vortrag bei DECHEMA Frankfurt, 18. April 2002, DECHEMA/GDCh/DBG – Gemeinschaftsausschuss „Chemie der Atmosphäre“*
- (17) Wild, O. and Akimoto, H. (2001)  
*Intercontinental transport of ozone and its precursors in a three-dimensional global CTM, J.Geoph. Research, 106, 27, 729-27, 744, 2001.*
- (18) Jaffe, D. (1999)  
*Transport of Asian Air Pollution to North America, Geoph. Res. Letters 26, pp.711-714.*
- (19) Husar, R.B. et al. (2001)  
*Asian dust events of April 1998, J. Geoph. Research, 106, pp.18317-18330, 2001.*
- (20) Husar, R.B. (2002)  
*Global and local dust over North America. Paper presented at Bad Breisig, 7-9 October 2002.*

- (21) Vaughan, J.K. et al. (2001)  
*April 1998 Asian dust event over the Columbia Plateau, J. Geoph. Research, 106, pp. 18381-18402, 2001.*
- (22) Mc Kendry I.G. et al. (2001)  
*Long-range transport of Asian dust to the Lower Fraser Valley, British Columbia, Canada. J. Geoph. Research, 106, 18361-18370, 2001.*
- (23) Parrish, D. (2002)  
*Intercontinental transport of pollution: inflow to the West Coast and outflow from the East Coast of North America, Paper presented under ref.2.*
- (24) Fricke, W. (2002)  
*Diskussionsbeitrag, Bad Breisig Workshop, 7-9 Oktober 2002.*
- (25) DWD (2000)  
*Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes (DWD), Nr. 75, 6. Juni 2000, Autoren: Kaminski, U.; Gilge, S.*
- (26) Stordal, F. (2001)  
*A European component of the analysis of relationships between anthropogenic emissions and Concentrations of photooxidants and particles with focus on transport across the North Atlantic and the Arctic, Paper presented under ref.2*

## 3.2 Ozonmessungen auf der Zugspitze

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

*Ludwig Ries, Ulrich Treffert, Steffen Knabe, Christian Probst, Ralf Sohmer, Umweltbundesamt, FG II 6.6, GAW-Station Zugspitze*

*Wolfgang Fricke, Stefan Gilge, Hans Claude, Deutscher Wetterdienst, Hohenpeißenberg*

*Hans-Eckhart Scheel, Forschungszentrum Karlsruhe, IMK-IFU, Garmisch-Partenkirchen*

### 3.2.1 Einleitung

Die Messstelle Zugspitze im Schneefernerhaus ( $47^{\circ}, 24', 54''$  N und  $10^{\circ}, 58', 55''$  E) ist die südlichste und mit 2650 Metern Höhe auch die höchstgelegene Station im UBA-Messnetz. Sie liegt unterhalb des Zugspitzgipfels mit einer Höhe von 2964 m. Seit Mai 1999 bildet diese Station zusammen mit der Station Hohenpeißenberg eine globale GAW-Station (Global Atmosphere Watch), die vom Umweltbundesamt gemeinsam mit dem Deutschen Wetterdienst betrieben wird. Die Zugspitze und der Hohenpeißenberg sind 43 km Luftlinie voneinander entfernt.

Zwischen 1978 und 2001 wurden die Messungen von atmosphärischen Spurenstoffen auf dem Gipfel der Zugspitze vom Fraunhofer Institut für Atmosphärische Umweltforschung durchgeführt. Ab 1995 im Auftrag des Umweltbundesamtes, das von 1998 bis März 2002 auch für den operativen Betrieb des Gipfellabors sorgte. Das Messprogramm des Umweltbundesamtes am Schneefernerhaus soll chemisch reaktive (z.B. Ozon, Stickoxide,  $\text{HNO}_3$ , PAN, VOCs, CO) und klimarelevante Spurengase (z.B.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{SF}_6$ , FCKWs und  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) sowie Staub, Anionen und Kationen im Niederschlag und Schwermetalle umfassen. Seit 2001 ist ein Basismessprogramm mit  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{SF}_6$ , VOCs sowie Ozon, Stickoxiden und CO installiert.

Vom Deutschen Wetterdienst werden meteorologische Parameter wie Temperatur, Wind, Luftfeuchte, Luftdruck, Sichtweite, Globalstrahlung, direkte Sonnenstrahlung, Trübung sowie Aitkenkerne,  $\text{SO}_2$  und die Radionuklide  $^{7}\text{Be}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{3}\text{H}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  gemessen.

In diesem Beitrag sollen die Ergebnisse der Ozonmessungen auf dem Gipfel der Zugspitze von 1978 bis 2001 kurz dargestellt, interpretiert und durch Vergleiche mit anderen Messreihen in einen großräumigen Zusammenhang gestellt werden.

### 3.2.2 Ozonmessungen

Ozonmessungen werden seit 1978 auf dem Zugspitzgipfel durchgeführt. Zu Beginn der Messreihe wurden die Messungen mit einem Chemolumineszenzgerät vom Typ Bendix 8002 durchgeführt. Hinzu kam später ein UV-Absorptionsgerät Dasibi 1008AH. Beide Gerätetypen

wurden schließlich durch zwei UV-Absorptionsgeräte der Serie TE49 (Thermo Environmental Instruments) abgelöst. Seit Anfang 2000 werden diese Messungen mit dem gleichen Gerätetyp auch im Schneefernerhaus fortgesetzt, dort ergänzt durch ein Environics S300, und seit kürzerem auch mit einem Horiba, Typ APOA 350E. Durch Kalibrierung mit einem Transferstandard (TE49PS) im Rahmen einer Kooperation mit dem Fraunhofer Institut sowie als Ergebnis einer Auditierung durch das QA/SAC Schweiz sind die Werte seit Anbeginn auf den NIST-Standard (National Institute of Standards and Technology, USA) bezogen.

### 3.2.2.1 Mittlerer Tages- und Jahresgang

Abbildung 104 zeigt mittlere monatliche Tagesgänge der Ozonkonzentrationen für den Zeitraum zwischen 1995 und 2001 auf dem Zugspitz-Gipfel (im Folgenden Zugspitze, obere Kurve) im Vergleich mit den entsprechenden Tagesgängen an 3 anderen Stationen: Schauinsland (1205 m), Westerland (Sylt) und Frankfurt/Main. Die mittleren Konzentrationen auf der Zugspitze sind mit 90 bis 120 µg/m<sup>3</sup> am höchsten, die mittleren Tagesgänge sowie der Jahresgang sind auf dieser Bergstation am wenigsten ausgeprägt. Die maximalen mittleren Konzentrationen treten auf der Zugspitze zwischen April und Juli auf, die minimalen Konzentrationen zwischen November und Januar. Am stärksten sind die Tagesgänge sowie der Jahresgang in Frankfurt ausgeprägt: Ein wesentlicher Grund für die nur wenig ausgeprägten Tages- und Jahresgänge auf der Zugspitze liegt in der geringen Beeinflussung durch lokale Emissionen, vor allem von Stickoxiden, die Ozon sowohl bilden als auch abbauen können. Ferner fehlt an Bergstationen - im Gegensatz zum Flachland - der nächtliche Ozonverlust durch trockene Deposition.

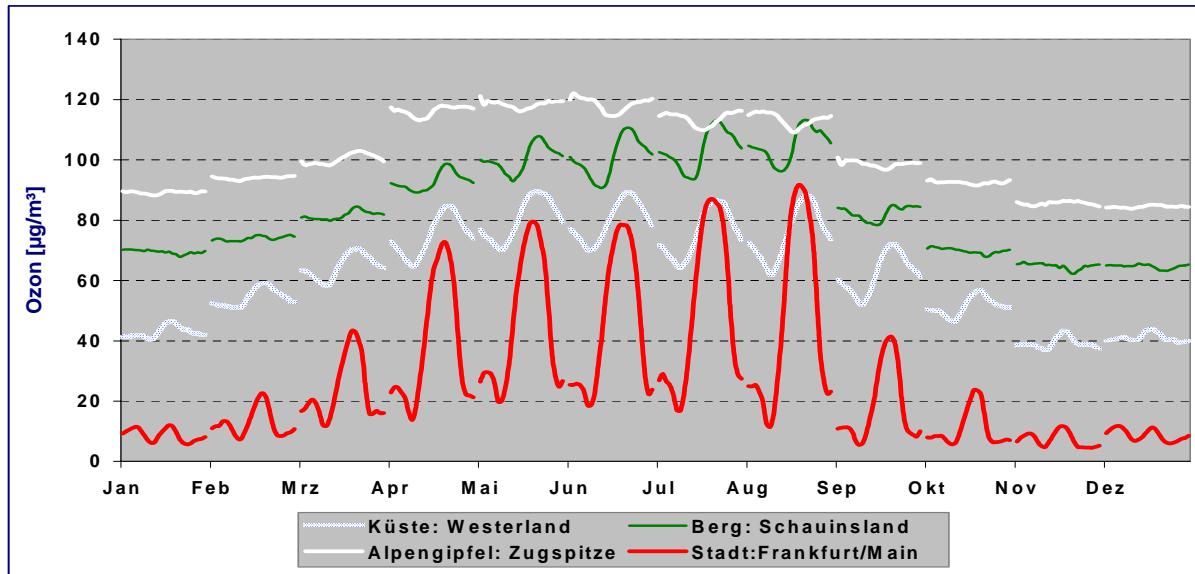


Abbildung 104: Mittlere monatliche Tagesgänge von Ozon an den UBA-Stationen Zugspitze, Schauinsland, Westerland und Frankfurt/Main zwischen 1995 und 2001

Eine genauere Betrachtung der mittleren Tagesgänge (Abbildung 105 und Abbildung 106) auf der Zugspitze zeigt einen etwas anderen Verlauf verglichen mit den Stationen in niedrigeren Lagen. Während im Winter auf der Zugspitze praktisch kein und an den anderen Stationen nur ein sehr schwach ausgeprägter Tagesgang beobachtet wird, tritt auf der Zugspitze in den Sommermonaten in den frühen Nachmittagsstunden ein schwaches Ozonminimum auf (Abbildung 105 und Abbildung 106). Dagegen weisen die tiefer gelegenen Stationen in den

Nachmittagsstunden ein mehr oder weniger ausgeprägtes Ozonmaximum auf. Ozonärmere Luftmassen aus dem Tal werden vormittags durch Konvektion zur Zugspitze transportiert und führen zu einem schwachen Minimum im mittleren Tagesgang der Hochgebirgsstation. An einzelnen Tagen, wenn die meteorologischen Bedingungen im Tal für die Ozonbildung günstig sind, kann die Konvektion zu einem Anstieg der Ozonkonzentrationen an der Zugspitze führen (wie z.B. Messungen mit CO als Tracer gezeigt haben, Ref. 1.).

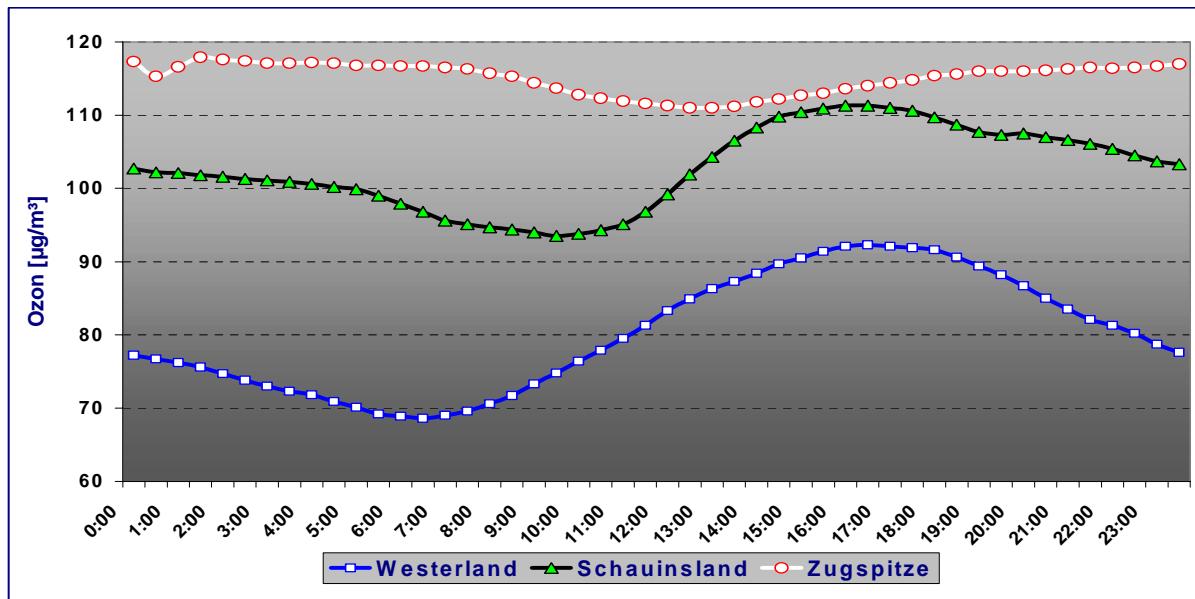


Abbildung 105: Mittlere Tagesgänge von Ozon an den Stationen Zugspitze, Schauinsland und Westerland für Juni bis August 1995 und 2001

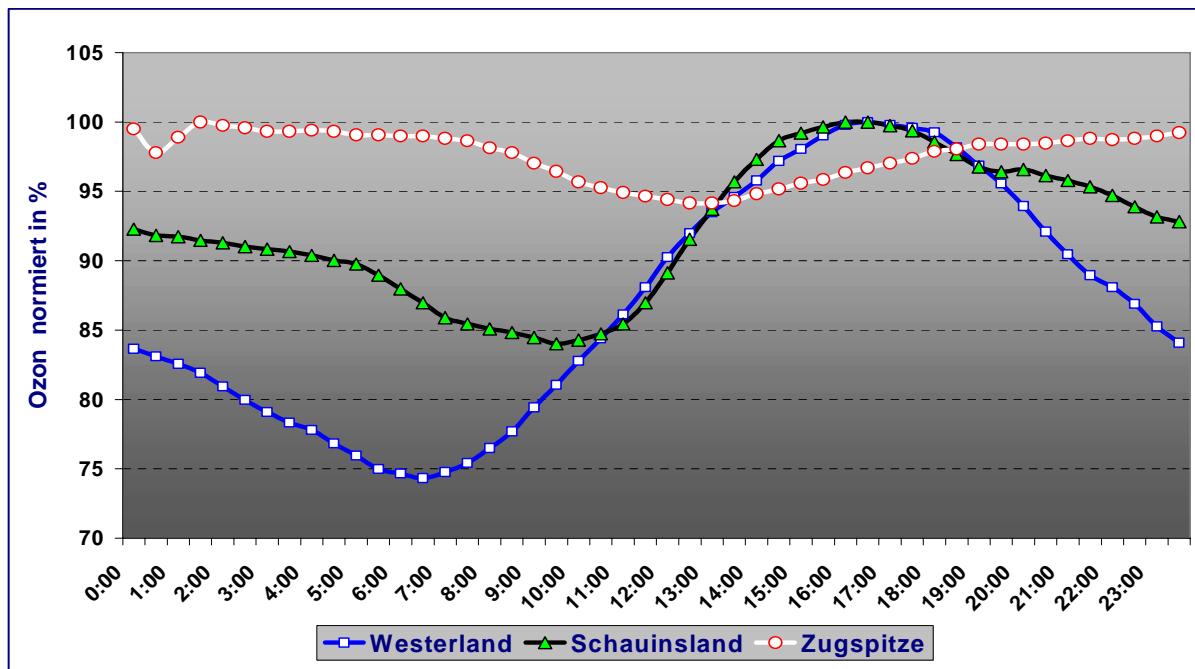


Abbildung 106: Mittlere Tagesgänge von Ozon an den Stationen Zugspitze, Schauinsland und Westerland für Juni bis August 1995 und 2001, normiert auf die maximalen Konzentrationen.

Ähnliche mittlere monatliche Tagesgänge sowie Konzentrationen wie auf der Zugspitze wurden auch auf dem Sonnblick (Österreich, 3106 m über N.N.) und auf dem Jungfraujoch (Schweiz, 3580 m über N.N.) beobachtet. Im sogenannten „DACH“-Verbund werden die Messdaten der alpinen GAW-Stationen aus Deutschland (**D**), Österreich (**A**) und der Schweiz (**CH**) zusammengefasst, um mit Hilfe dieser Kooperation Informationen über Trends von Luftschadstoffen und Klimaveränderungen in Mitteleuropa verfolgen zu können. Der Sonnblick ist 150 km Luftlinie von der Zugspitze entfernt, das Jungfraujoch 247 km, und zwischen Sonnblick und Jungfraujoch liegen 378 km.

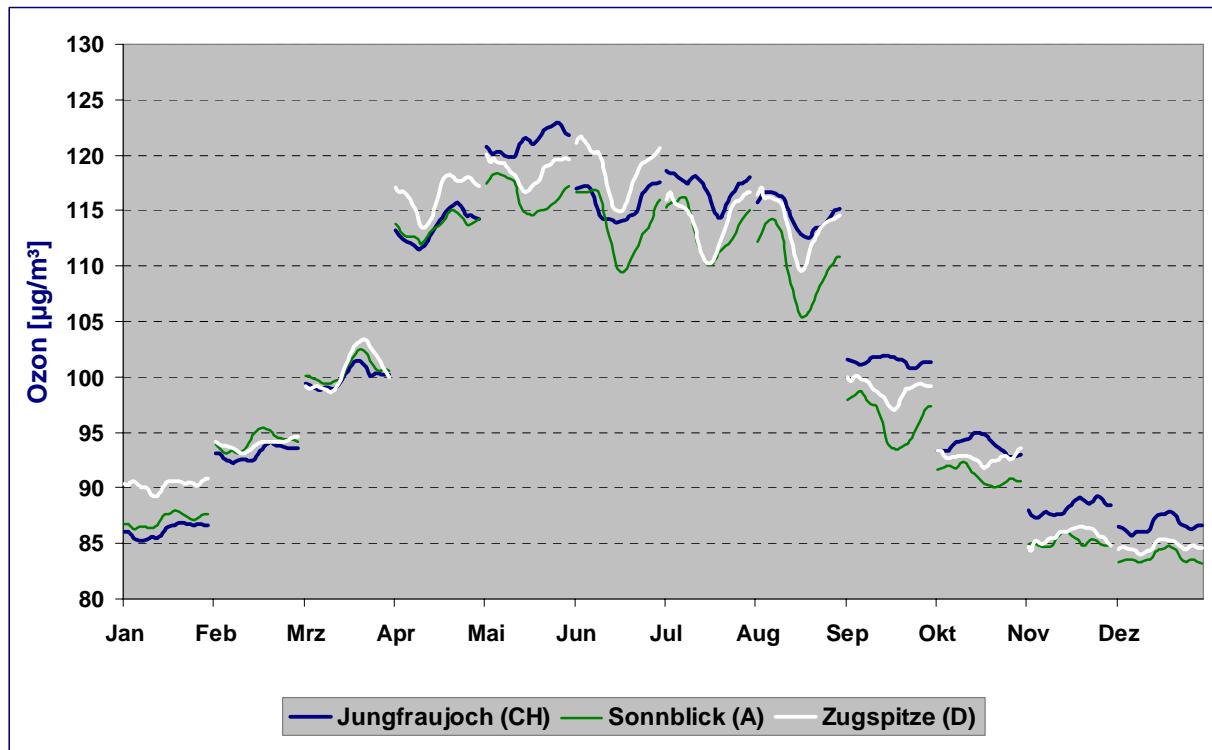


Abbildung 107: Mittlere monatliche Tagesgänge von Ozon an den GAW-DACH-Stationen Zugspitze (D), Sonnblick (A) und Jungfraujoch (CH) zwischen 1993 und 2001

Abweichend von den mittleren Tagesgängen werden auf der Zugspitze oft kurzzeitige Variationen der Ozonkonzentrationen beobachtet (oft innerhalb weniger Stunden). Untersuchungen mit Hilfe von CO und  $^{7}\text{Be}$  als Tracer für verunreinigte (CO) bzw. für stratosphärische ( $^{7}\text{Be}$ ) Luftmassen haben gezeigt, dass solche kurzzeitigen Variationen sowohl aus Abbau bzw. Bildung von Ozon in verunreinigten Luftmassen als auch aus Advektion von ozonarmen Luftmassen aus niederen Breiten (d.h. bei Transport aus südlichen Richtungen) sowie aus dem Absinken ozonreicher Luftmassen stratosphärischen Ursprungs resultieren können (Ref. 2).

Die in Abbildung 104 bis Abbildung 106 dargestellten Kurven werden durch lokale, regionale und globale Ozonbeiträge verursacht, wobei die globalen Ozonbeiträge an den Stationen Zugspitze und Westerland (siehe Kapitel 3.1) wesentlich größer sind als an den anderen Stationen. Um den Einfluss globaler Beiträge an diesen beiden Stationen deutlich zu machen, wurden zur Abtrennung lokaler Einflüsse die Ozondaten einer groben Filterung unterworfen: An der Zugspitze wurde CO und  $\text{NO}_y$  in Abhängigkeit von der Außentemperatur als Tracer für Luftverunreinigungen verwendet. Dazu wurden solche Ozon-Halbstundenwerte

herausgenommen, an denen entweder  $\text{NO}_y$   $4.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  überschritt oder die folgenden Überschreitungen von CO-Konzentrationen bei gleichzeitigen negativen Lufttemperaturen innerhalb folgender Temperaturbereiche lagen: //  $\text{CO} > 0.45 \text{ mg}/\text{m}^3$  und  $T < -10^\circ\text{C}$  //  $\text{CO} > 0.35 \text{ mg}/\text{m}^3$  und  $-15^\circ\text{C} < T < -10^\circ\text{C}$  //  $\text{CO} > 0.25 \text{ mg}/\text{m}^3$  und  $T > -10^\circ\text{C}$  //. Durch diese einfache Filterung wird sichergestellt, dass zumindest lokale Einflüsse (vor Ort wie z.B. Skitourismus sowie der Transport verunreinigter Luftmassen aus dem Tal, etc.) weitgehend eliminiert werden. Abbildung 108 zeigt, dass die Unterschiede zwischen den gefilterten und ungefilterten Ozonwerten auf der Zugspitze nur gering sind. In den Monaten November bis März liegen die gefilterten Werte naturgemäß etwas höher als die ungefilterten durch die geringere Beeinflussung bodennaher Luftmassen mit geringerer Ozonkonzentration.

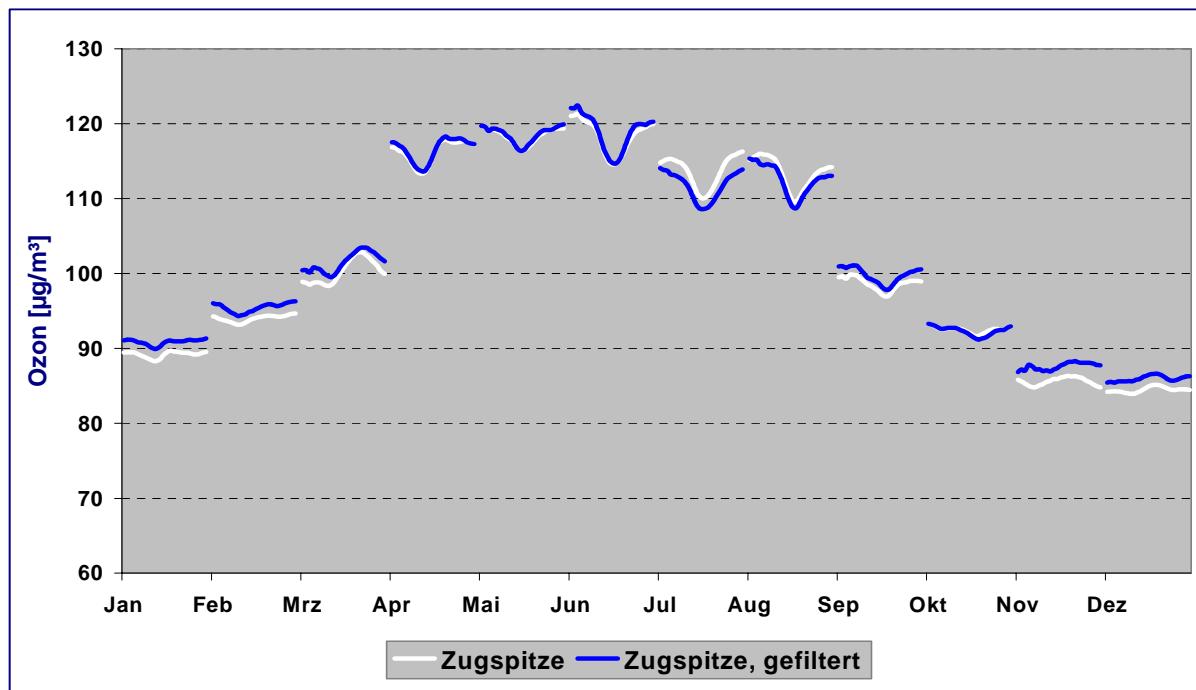


Abbildung 108: Mittlere monatliche Tagesgänge von Ozon auf dem Zugspitz-Gipfel zwischen 1996 bis 2001, weiße Linie: Originalwerte, schwarze Linie: gefilterte Werte, zur Eliminierung lokaler Quellen

Für die Nordseestation Westerland (Sylt) wurde zur Eliminierung lokaler und regionaler Einflüsse eine grundsätzlich andere Filterung als auf der Zugspitze vorgenommen. Zur verbesserten Abschätzung des Hintergrunds wurden die zwischen 1995 und 2001 gemessenen Ozonkonzentrationen nur für Windrichtungen aus dem Sektor Nordwest (von  $247.5^\circ$  (WSW) bis  $22.5^\circ$  (NNE) verwendet; d.h. Antransport von Ozon über den Atlantik und die Nordsee nach Sylt). Durch diese Selektion werden in Westerland lokale Quellen vollständig und regionale Quellen weitgehend eliminiert. Die Grobfilterung auf der Zugspitze minimiert zumindest lokale Einflüsse und reduziert wahrscheinlich auch die regionalen Einflüsse, die zu den auf der Zugspitze gemessenen Ozonkonzentrationen beitragen können (Ref. 3).

Abbildung 109 zeigt den gefilterten Jahresverlauf der Ozonwerte für die Zugspitze und für Westerland (1996 bis 2001). Wie zu erwarten war sind die mittleren Tagesgänge in Westerland nach Filterung gegenüber denen in Abbildung 104 deutlich schwächer ausgeprägt.

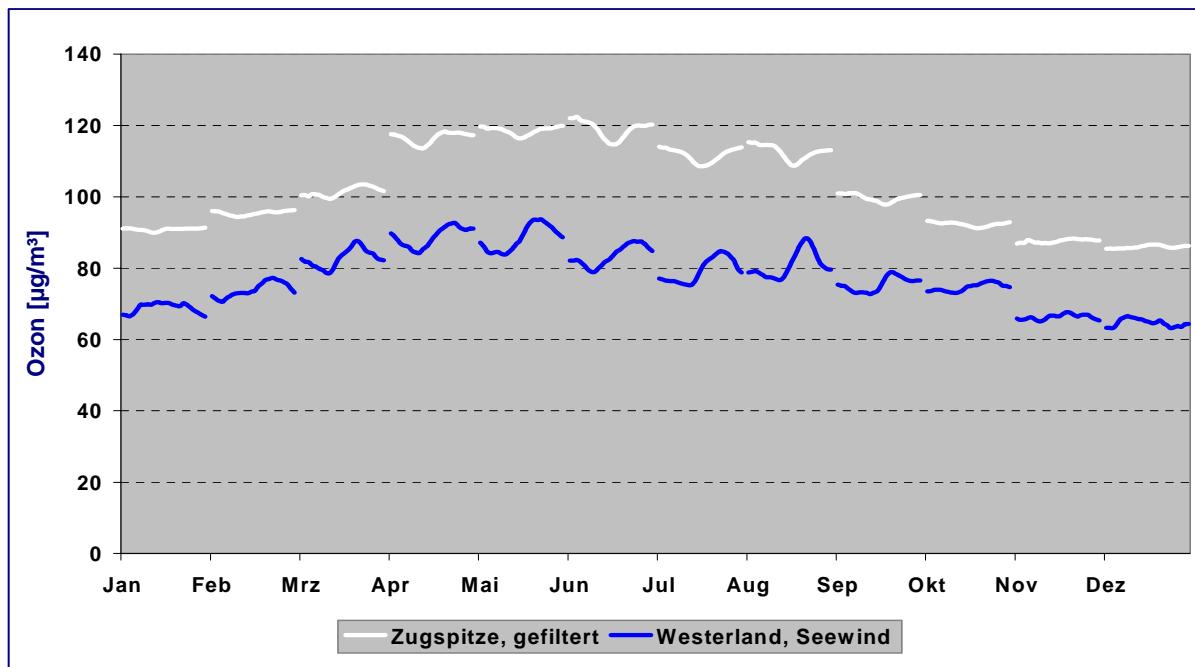


Abbildung 109: Mittlere monatliche gefilterte Tagesgänge von Ozon zwischen 1996 bis 2001 für den Zugspitz-Gipfel (weiß) und Westerland (schwarz). Die Ozonkonzentrationen werden überwiegend durch das globale nordhemisphärische Hintergrundozon bestimmt.

Die in Abbildung 109 dargestellten Tagesgänge können wie folgt interpretiert werden: Die Zugspitzstation liegt während insgesamt 6 Monaten pro Jahr oberhalb der atmosphärischen Grenzschicht; im Winter häufig auch während des Tages und im Wesentlichen während der Nachtstunden zwischen 0:00 und 5:00 Uhr.

Dagegen liegt die Station Westerland das ganze Jahr über innerhalb der atmosphärischen Grenzschicht. Beiden Station gemeinsam ist, dass die Ozonkonzentrationen unter den Bedingungen von Abbildung 109 im Wesentlichen durch das nordhemisphärische Hintergrundozon bestimmt werden. Das Hintergrundozon stammt sowohl aus der Troposphäre (Luftschicht zwischen Boden und ca. 10 km Höhe), wo das Ozon photochemisch aus Ozonvorläufern gebildet wird, als auch aus der darüber liegenden Stratosphäre (Schicht zwischen 10 und 50 km), aus der ein Teil des Ozons bis zum Boden heruntergemischt werden kann. Es besteht weitgehender Konsens, dass der Beitrag des photochemisch gebildeten Ozons zu den Ozonkonzentrationen an beiden Stationen bei den mittleren Konzentrationen erheblich größer ist als der stratosphärische Beitrag (Ref. 4, 5). Allerdings kann der stratosphärische Ozonanteil auf der Zugspitze während einzelner, aber relativ seltener Episoden mit Einbrüchen von Luftmassen aus der Stratosphäre in erheblichen Maße zu den Ozonkonzentrationen an dieser Station beitragen (Ref. 6).

Das nordhemisphärische Hintergrundozon wird im Wesentlichen aus natürlichen und anthropogenen Vorläuferemissionen in Asien, Nordamerika und Europa gebildet und mit der vorherrschenden Westwindzirkulation über die gesamte Nordhemisphäre transportiert. Dieser Transport erfolgt weitgehend innerhalb der freien Troposphäre (siehe Kap. 3.1). Dies erklärt auch die etwas höheren mittleren Hintergrundwerte auf der Zugspitze gegenüber Westerland. Hinzu kommt, dass Ozon beim Transport nach Westerland möglicherweise in geringem Maße

durch trockene Deposition abgebaut wird, während bei entsprechendem Transport zur Zugspitze innerhalb der freien Troposphäre diese Senke keine Rolle spielen dürfte.

Für die Zugspitze ist davon auszugehen, dass der Ozonbeitrag aus Nordamerika und Asien zu den Jahresmittelwerten bei über 60% liegt, in Westerland zwischen 50 und 60%. Nach neueren Untersuchungen (*Ref. 7*) ist der entsprechende Beitrag zu den Jahresmitteln selbst an 20 kontinentalen europäischen EMEP-Stationen, die überwiegend im Flachland liegen, mit etwa 40% noch relativ hoch.

Während die mittleren Ozonkonzentrationen auf der Zugspitze höher liegen als an den tiefer gelegenen Stationen, weisen letztere höhere Ozon-Spitzenwerte auf (siehe Abbildung 111).

Auf der Zugspitze liegen die maximalen 1-h-Werte der Monate in der Regel zwischen  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (siehe Abbildung 110, *Ref. 6*). Diese Spitzenwerte können sowohl durch Einbrüche stratosphärischer Luft als auch durch Advektion von belasteten Luftmassen oder durch konvektive Prozesse verursacht werden (*Ref. 2, 5*). Das bisherige Ozon-Maximum auf der Zugspitze lag bei  $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , gemessen am 12. Mai 1998. Die Charakterisierung der stratosphärischen Luftmasseneinbrüche erfolgte auf Grund von erhöhten  $^{7}\text{Be}$ -Konzentrationen und erniedrigtem Wasserdampfgehalt in der stratosphärischen Luft. Allerdings sind die durch Einbrüche stratosphärischer Luftmassen auf der Zugspitze beobachteten Ozonmaxima relativ selten: (10 bis 20% der Maxima im Winter und Herbst/Frühjahr und nur bis ca. 5% im Sommer, *Ref. 6*). Diese stratosphärischen Luftmassen vermischen sich auf ihrem langen Weg von der Stratosphäre zur Zugspitze unterschiedlich stark mit den Luftmassen in der darunter liegenden freien Troposphäre, so dass die erhöhten Ozon-Konzentrationen erheblichen Schwankungen unterworfen sind. Im Sommer werden die Ozonspitzen auf der Zugspitze weitgehend durch photochemische Bildung während des Transportes von verunreinigter Luft verursacht.

Im Gegensatz zur Zugspitze sind die Spitzenwerte an den anderen Stationen ausschließlich durch innerhalb der Grenzschicht photochemisch produziertes Ozon verursacht.

Tabelle 108: Monatliche Maxima (Halbstunden) und Perzentile für Ozon im untersuchten Zeitraum von Januar 1995 bis Dezember 2001 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	<b>Max.</b>	<b>98%</b>	<b>90%</b>	<b>50%</b>		<b>Max.</b>	<b>98%</b>	<b>90%</b>	<b>50%</b>
Jan. 1995	107	102	98	86	Jul. 1998	165	147	140	113
Feb. 1995	116	110	106	95	Aug. 1998	178	168	161	119
Mrz. 1995	159	126	118	97	Sep. 1998	140	132	126	103
Apr. 1995	176	146	137	113	Okt. 1998	124	118	115	94
Mai. 1995	169	155	148	116	Nov. 1998	113	109	105	86
Jun. 1995	159	146	141	115	Dez. 1998	121	102	100	90
Jul. 1995	165	156	149	130	Jan. 1999	111	108	106	92
Aug. 1995	167	159	153	121	Feb. 1999	166	145	122	94
Sep. 1995	125	117	112	95	Mrz. 1999	132	126	123	106
Okt. 1995	137	122	118	93	Apr. 1999	151	146	142	120
Nov. 1995	113	102	100	88	Mai. 1999	155	144	136	116
Dez. 1995	104	99	96	85	Jun. 1999	165	146	141	118
Jan. 1996	126	111	108	94	Jul. 1999	150	141	138	118
Feb. 1996	138	113	112	96	Aug. 1999	151	133	129	108
Mrz. 1996	142	133	126	108	Sep. 1999	149	133	129	103
Apr. 1996	161	155	149	119	Okt. 1999	119	115	112	94
Mai. 1996	163	141	134	115	Nov. 1999	116	111	107	90
Jun. 1996	176	171	163	137	Dez. 1999	108	100	97	86
Jul. 1996	157	143	139	115	Jan. 2000	134	109	101	89
Aug. 1996	172	138	132	111	Feb. 2000	117	109	107	88
Sep. 1996	122	118	115	97	Mrz. 2000	162	129	122	97
Okt. 1996	146	123	114	92	Apr. 2000	161	136	130	115
Nov. 1996	123	105	99	81	Mai. 2000	150	140	136	119
Dez. 1996	104	98	94	84	Jun. 2000	182	155	146	119
Jan. 1997	112	105	103	89	Jul. 2000	149	135	129	104
Feb. 1997	123	115	107	96	Aug. 2000	146	142	137	113
Mrz. 1997	140	126	118	94	Sep. 2000	152	132	126	102
Apr. 1997	157	152	149	108	Okt. 2000	114	108	103	87
Mai. 1997	157	148	141	120	Nov. 2000	108	96	94	83
Jun. 1997	144	136	131	114	Dez. 2000	135	103	100	86
Jul. 1997	157	147	143	112	Jan. 2001	119	105	102	93
Aug. 1997	160	154	148	117	Feb. 2001	112	106	104	87
Sep. 1997	128	121	117	101	Mrz. 2001	149	135	120	102
Okt. 1997	135	122	117	94	Apr. 2001	158	146	137	111
Nov. 1997	157	128	118	99	Mai. 2001	170	151	144	122
Dez. 1997	112	108	104	88	Jun. 2001	156	142	139	118
Jan. 1998	112	105	102	94	Jul. 2001	175	164	153	110
Feb. 1998	125	119	115	103	Aug. 2001	173	152	140	111
Mrz. 1998	155	133	128	98	Sep. 2001	126	119	115	94
Apr. 1998	159	154	150	120	Okt. 2001	121	115	110	93
Mai. 1998	223	169	163	127	Nov. 2001	127	107	104	87
Jun. 1998	169	144	138	114	Dez. 2001	122	99	97	85

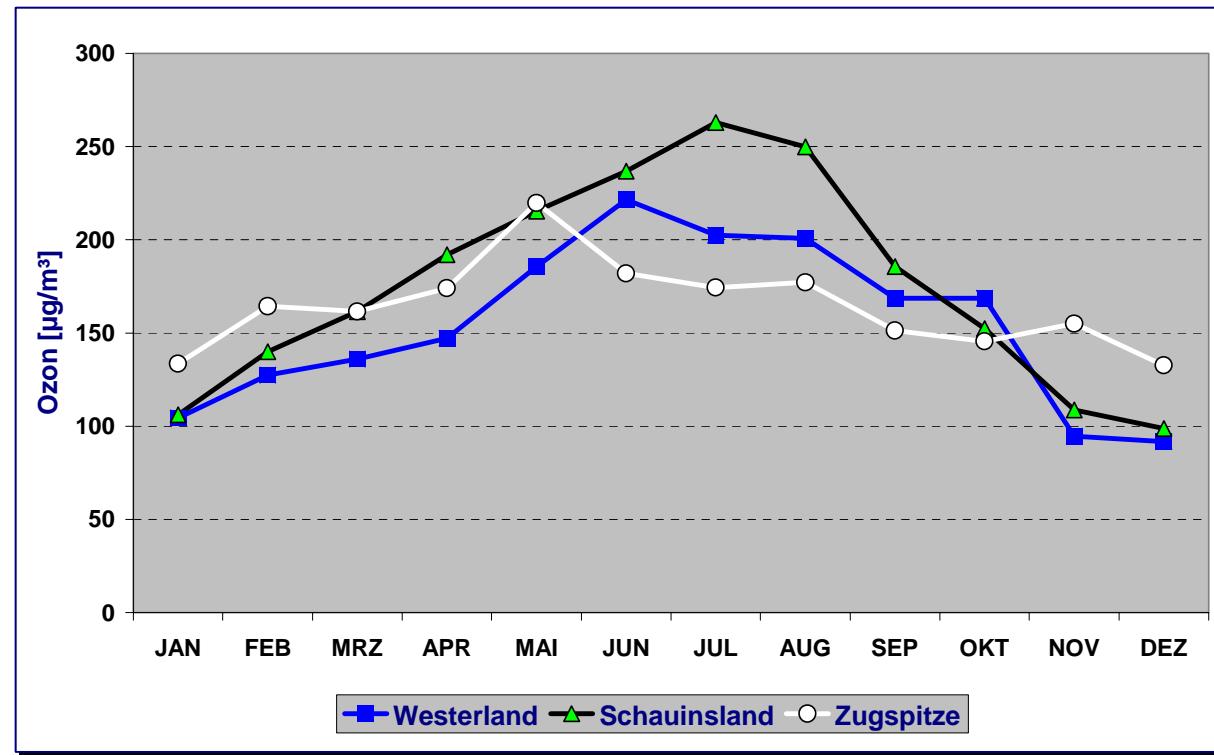


Abbildung 110: Absolute monatliche 1-Stundenmaxima von Ozon für 1990 bis 2001 auf dem Zugspitz-Gipfel, auf dem Schauinsland und in Westerland.

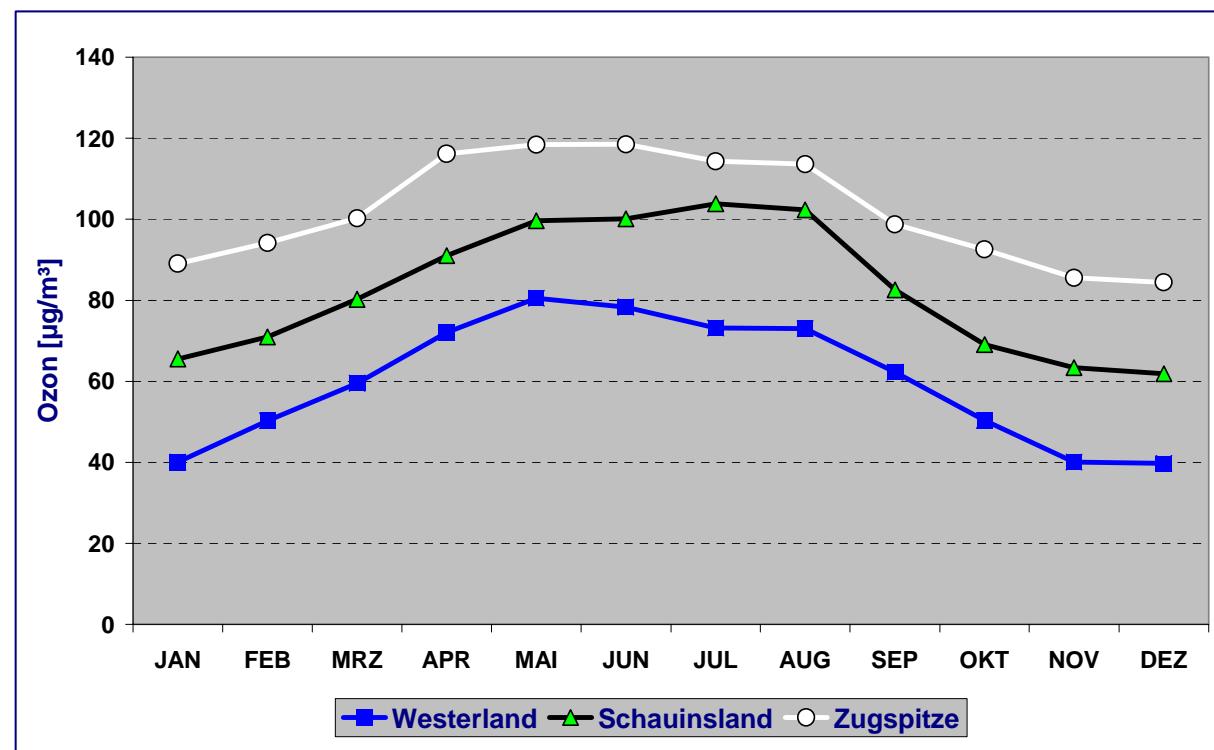


Abbildung 111: Ozon-Monatsmittelwerte für das Zeitintervall von 1990 bis 2001 arithmetisch gemittelt: auf dem Zugspitz-Gipfel, auf dem Schauinsland und in Westerland.

### 3.2.2.2 Ozon Langzeittrend

Von besonderer Bedeutung für die Bestimmung eines Trends der Hintergrundkonzentrationen sind Langzeitmessungen in der freien Troposphäre, weil Trends an Bodenstationen sehr oft durch lokale Beeinflussungen überdeckt werden. Da die Zugspitze weitgehend die Verhältnisse in der unteren freien Troposphäre widerspiegelt, lassen die gemessenen Langzeittrends auf der Zugspitze in erster Näherung Aussagen über den Ozontrend in der unteren freien Troposphäre zu.

Abbildung 112 zeigt die Monatsmittel der Ozonkonzentrationen auf der Zugspitze zwischen Januar 1978 und Oktober 2001 (alle Messdaten, keine Filterung). Die mittleren Ozonkonzentrationen lagen im Jahre 2001 mit etwa  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wesentlich höher als zu Beginn der Messungen im Jahre 1978 mit ca.  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der stärkste Anstieg erfolgte zwischen Ende der 70er Jahre und Beginn der 80er Jahre mit etwa  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{Jahr}$ , während der Anstieg zwischen 1990 und 2000 mit durchschnittlich  $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{Jahr}$  (Ref. 1) deutlich geringer war.

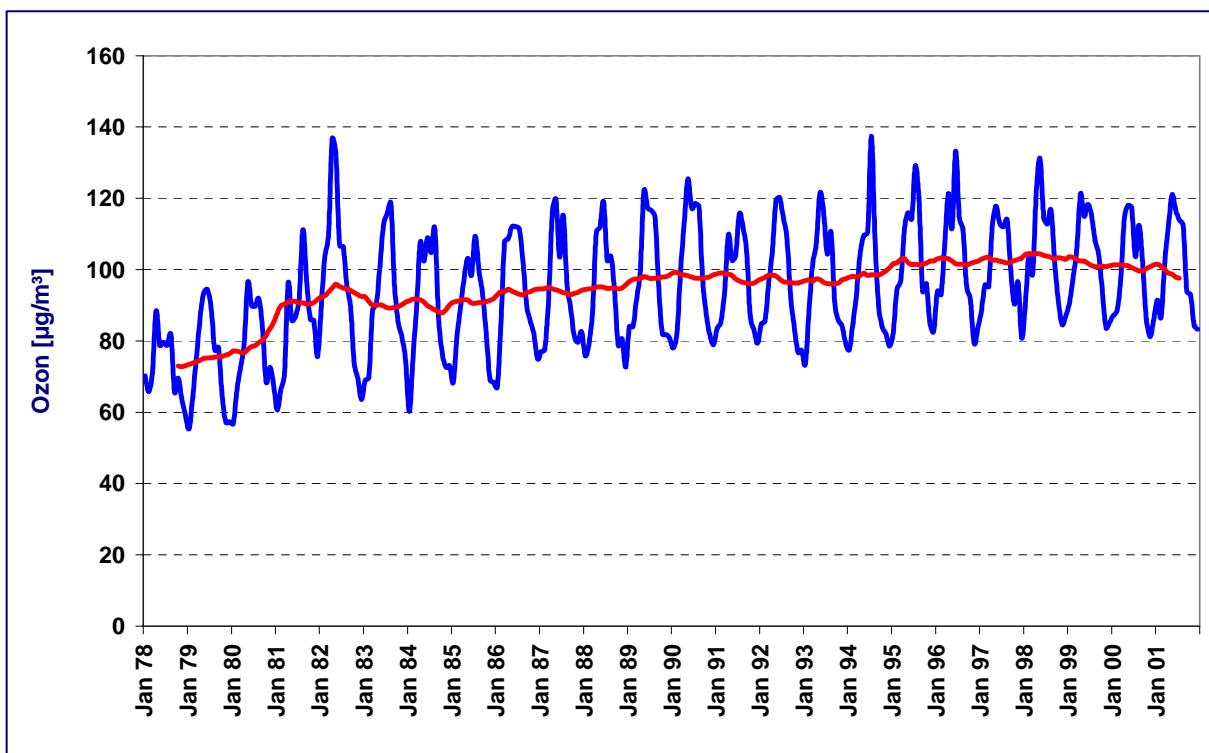


Abbildung 112: Langzeittrend der Ozon-Monatsmittel auf dem Zugspitz-Gipfel zwischen 1978 und 2001

Nach Referenz 1 wurde der starke Anstieg der mittleren Ozonkonzentrationen zu Beginn der Langzeitmessungen vor allem durch eine photochemische Ozonproduktion in den Sommermonaten verursacht, während der spätere Anstieg (1992-1998) vor allem auf eine Ozonzunahme niedriger Werte in den Wintermonaten zurückzuführen ist.

Eine gute Vergleichsmöglichkeit für den Ozonverlauf auf der Zugspitze bieten die Ozondaten aus den regelmäßigen Ballonsondierungen des Meteorologischen Observatoriums Hohenpeißenberg (Abbildung 113). Das Observatorium liegt ca. 40 km nördlich der Zugspitze in 985m ü. NN auf  $47.8^\circ\text{N}$  und  $11.0^\circ\text{E}$  und führt diese Aufstiege seit 1967 1-3 Mal pro Woche durch. Im Höhenniveau der Zugspitze (~700 hPa) zeigen die Sondierungen ebenfalls einen

deutlichen Ozonanstieg, besonders in der Zeit vor 1985. Seitdem ist eher sogar ein leichter Rückgang zu erkennen. Es ist jedoch zu beachten, dass es sich bei den Ozondaten der Zugspitze um kontinuierliche Messungen über 24 Stunden handelt, wodurch insbesondere tagsüber in den Sommermonaten Luft aus der Grundsicht erfasst wird. Die Ozonsondierungen hingegen finden frühmorgens statt, so dass hier Werte aus dem 700 hPa-Niveau eher die freie Troposphäre widerspiegeln. Trotz gewisser Unterschiede im zeitlichen Verlauf zeigen beide Messreihen einen langfristigen Anstieg und stagnierende bzw. zwischenzeitlich leicht rückläufige Werte seit den 1990er Jahren.

Abbildung 114 zeigt gleitende Ozon-Monatsmittel für die 3 GAW-DACH-Stationen Zugspitze, Sonnblick und Jungfraujoch zwischen 1993 und 2002. In diesem Zeitraum haben sich die Ozonwerte kaum geändert. Zugspitze und Jungfraujoch zeigen dabei einen recht ähnlichen Verlauf. In dieser Arbeit wurde gezeigt, dass Ozon in der unteren freien Troposphäre in Höhe der GAW Globalstation Zugspitze ein wesentlich anderes Verhalten aufweist als das bodennahe Ozon.

Während die zeitliche Stabilität des bodennahen Ozons im Bereich von wenigen Stunden bis Tagen liegt und damit der dortige Auf- und Abbau meist an kleinräumige lokale Quellen und Senken gebunden ist, beträgt die Lebensdauer von Ozon in 3000m Höhe etwa 3 bis 4 Wochen. Ozon gilt deswegen in dieser Höhenschicht bereits als eine konservative atmosphärenchemische Größe, die einem nordhemisphärischen Ferntransport unterworfen ist. Dies hat zur Konsequenz, dass in Mitteleuropa die Ozonkonzentrationen in der gesamten Troposphäre nur innerhalb relativ enger Grenzen durch nationale oder europaweite Maßnahmen gemindert werden können. Nach neueren Untersuchungen liegt der ferntransportierte Anteil von Ozon bei bodennahen Stationen zwischen 30 und 40%; in Höhe der Zugspitze etwa bei 60%. In der Stratosphäre hingegen spielt Ozon eine wichtige Rolle als Klimagas sowie für den UV-Schutz der Biosphäre.

Der Messstandort Zugspitze bietet gute Voraussetzungen für die Messung des Ozons in der unteren freien Troposphäre. Dies hat seinen Grund in der bereits vorhandenen Datengrundlage auf dem Zugspitzgipfel sowie in der kontinuierlichen Kooperation der beiden Messplattformen Zugspitze und Hohenpeißenberg der GAW-Globalstation

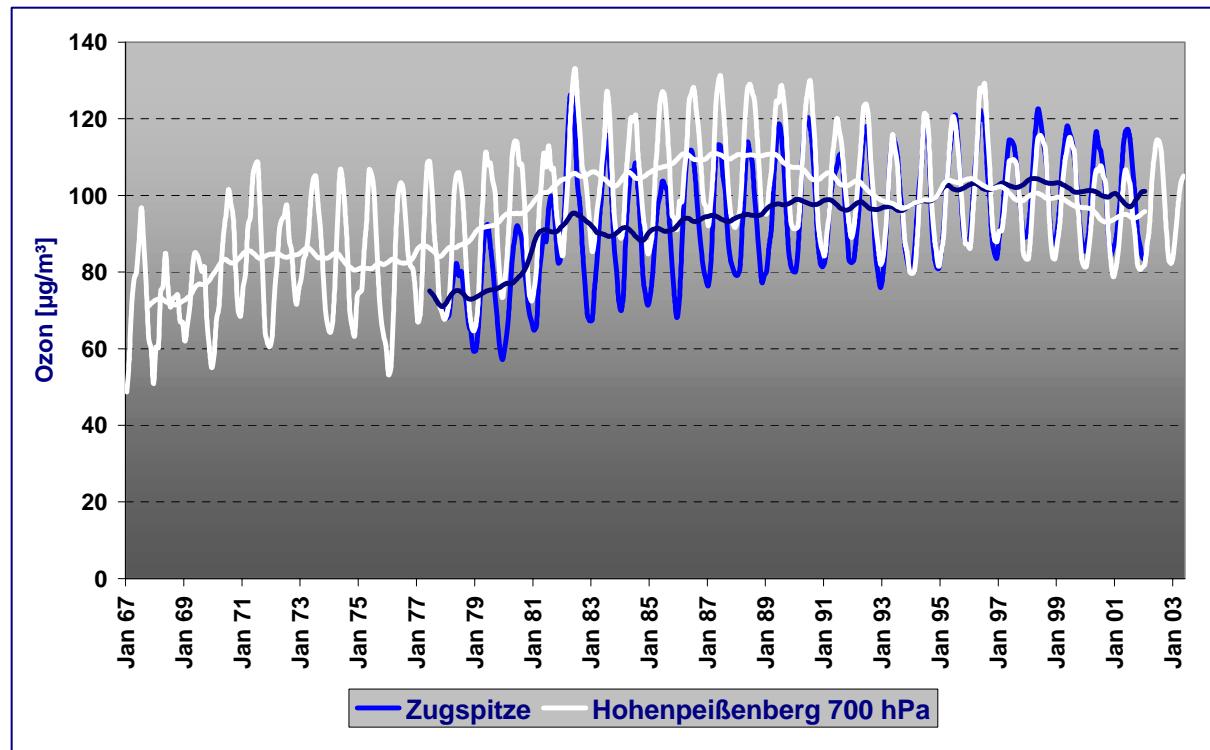


Abbildung 113: Über 3 Monate gleitende Monatsmittel von Ozon über dem Hohenpeißenberg in ca. 3 km Höhe und auf der Zugspitze.

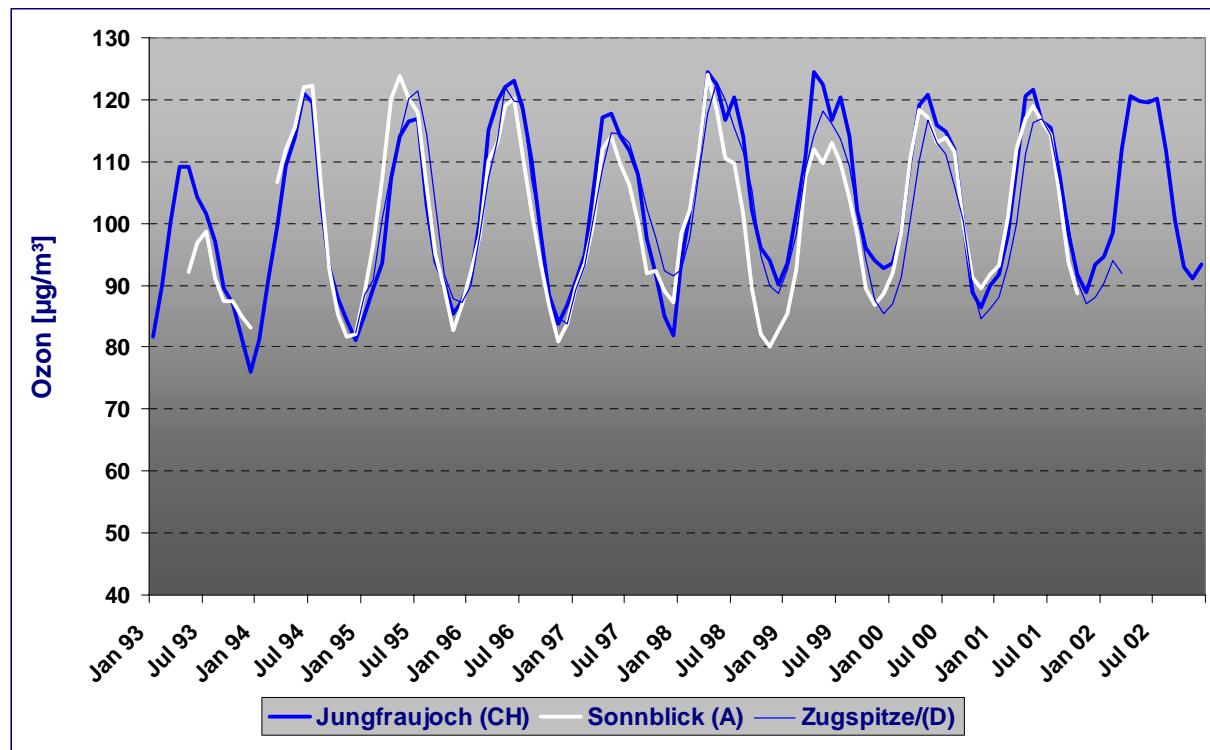


Abbildung 114: Über 3 Monate gleitende Monatsmittel von Ozon auf dem Jungfraujoch (Schweiz), dem Sonnblick (Österreich) und auf der Zugspitze.

### 3.2.3 Literatur zu Kapitel 3.2

- (1) Scheel, H.E. (2002)  
*Trend and seasonal cycles of ozone at the Zugspitze. Proceedings: EUROTRAC 2 Symposium, 11-15 March 2002, Garmisch-Partenkirchen, pp.*
- (2) Scheel, H.E.; Sladkovic, R. and Kanter, H.J. (1999)  
*Ozone variations at the Zugspitze during 1996-1997. Proceedings: EUROTRAC symposium 98, pp.264-268, Ed. Borell)*
- (3) Bonasoni P.; H.E. Scheel; A. Stohl; T. Trickl; T. Colombo (2000)  
*Ozone transport between Apennines and Alps: Influence of Po-basin-polluted air masses. Proc. Quadrennial Ozone Symposium, Sapporo, Japan, 3-8 July 2000, pp. 319-320*
- (4) Workshop Conclusions: Photo-Oxidants, Particles and Haze across the Arctic and North Atlantic: Transport, Observations and Models, Palisades, New York, USA, 12-15 June 2001
- (5) Workshop Conclusions: Trends and Intercontinental Transport of Photo-Oxidants, Particles and their Precursors across the Northern Hemisphere. Bad Breisig, Germany, 7-9 October 2002
- (6) Stohl, A.; Spichtinger-Rakowsky, N.; Bonasoni, P.; Feldmann, H.; Memmesheimer, M.; Scheel, H. E.; Trickl, T.; Hübener, S.; Ringer, W.; Mandl, M. (2000). *The influence of stratospheric intrusions on alpine ozone concentrations. Atm. Env. 34 (2000), pp. 1323 – 1354.*
- (7) Derwent, R. (2002)  
*Intercontinental transport and the contribution from global emission controls to ozone levels within Europe. Paper presented at Bad Breisig, Germany, 7-9 October 2002*

### 3.3 Die Ozonepisode in Deutschland im Jahre 2002

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

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

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

#### 3.3.1 Einleitung

In Deutschland sowie in einigen Nachbarstaaten wie z.B. Österreich, Schweiz und Großbritannien haben die Ozonspitzenkonzentrationen zwischen 1990 und 2002 deutlich abgenommen (siehe z.B. Abbildung 115 bis Abbildung 120). Im Gegensatz zu der erfreulichen Entwicklung der Ozonspitzenkonzentrationen haben die Jahresmittel-Konzentrationen in Deutschland, Österreich, der Schweiz und Großbritannien im gleichen Zeitraum zugenommen (Ref. 1 - 6).

Der deutliche Rückgang der Ozon-Spitzenkonzentrationen in Deutschland ist im Wesentlichen auf die drastische Minderung der Emissionen der Ozonvorläufer ( $\text{NO}_x$  und VOC) in Deutschland und in den europäischen Nachbarstaaten und nicht auf meteorologische Einflussfaktoren zurückzuführen (Ref. 7). Die gleichzeitige Zunahme der mittleren Ozonkonzentrationen ist sehr wahrscheinlich auf den zunehmenden Beitrag aus dem nordhemisphärischen Hintergrund (siehe Kapitel 3.1.2.4) sowie auch auf die starke Minderung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen (wird überwiegend als NO im Straßenverkehr emittiert) in Deutschland zurückzuführen. Stickoxide können Ozon sowohl bilden als auch abbauen. Eine Abnahme der NO-Konzentrationen kann in der Nähe starker Emissionsquellen zu einem Anstieg der Ozonwerte führen (sog. Titrationseffekt: Verbrauch von Ozon durch NO unter Bildung von  $\text{NO}_2$ ).

Die Abbildung 116 bis Abbildung 120 zeigen den generellen Rückgang der Ozon-Spitzenwerte in Deutschland zwischen 1990 und 2002, gemessen an allen deutschen Ozonstationen von Bund und Ländern (194 Messstellen in 1990 und 362 Stationen im Sommer 2002, davon 22 UBA-Stationen).

In Abbildung 115 ist als Beispiel für die Spitzenkonzentrationen der Verlauf der maximalen Ozon-Stundenwerte in Deutschland zwischen 1990 und 2002 dargestellt. Seit 1994 wurden keine Konzentrationen über  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mehr beobachtet. Die maximalen Ozonwerte (1-h-Mittel) lagen nach 1994 zwischen 200 und  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der Trend der Ozonmaxima sagt allerdings nur wenig über den Trend der Ozon-Spitzenkonzentrationen in Deutschland aus, da das Auftreten dieser Maxima – abhängig von den meteorologischen und emissionsseitigen Gegebenheiten – räumlich und zeitlich eng begrenzt sein kann und damit keine generelle Aussage über den Verlauf der Ozon-Spitzenkonzentrationen in einem größeren Bereich zulässt. Wesentlich deutlicher als bei den Maxima wird der Trend der abnehmenden Ozon-Spitzenkonzentrationen in Abbildung 116 bis Abbildung 120 sichtbar.

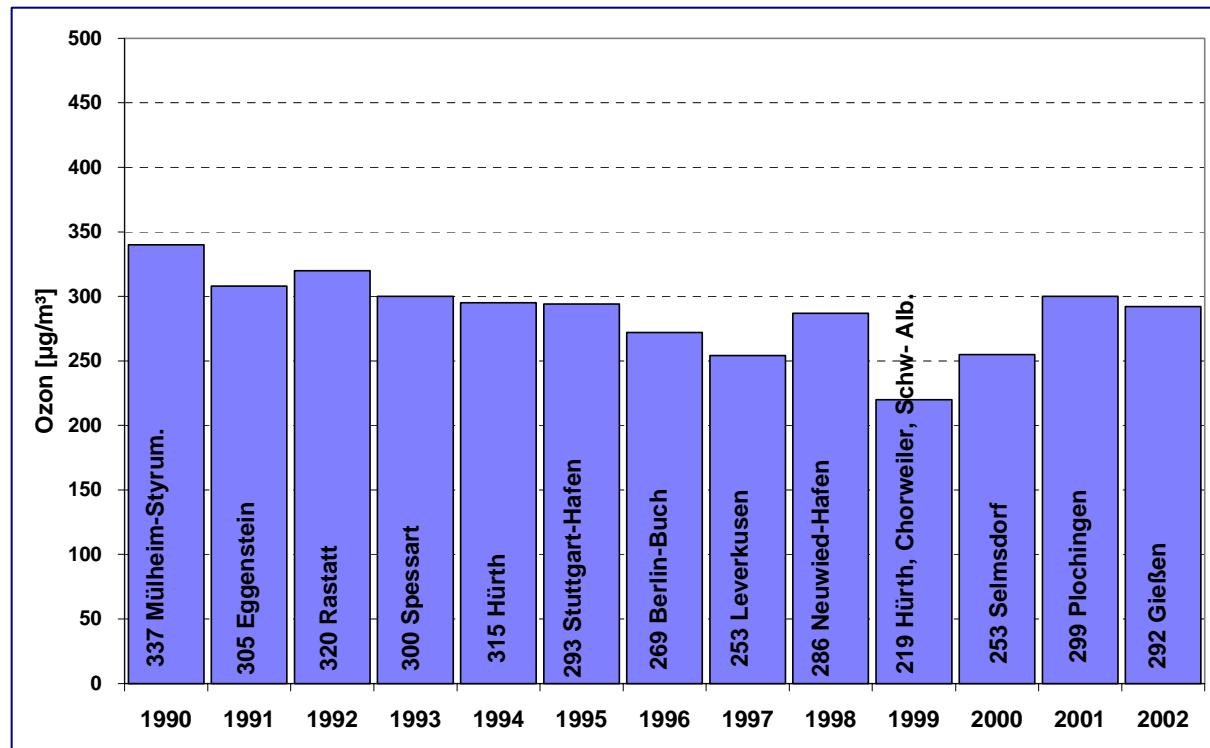


Abbildung 115: Jährliche maximale 1-Stunden-Ozonkonzentrationen in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mit Angabe der registrierenden Messstelle

Abbildung 116 zeigt die Zahl der Stunden mit Ozonkonzentrationen  $> 240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1-h-Mittel) gemittelt über die jeweils in Deutschland betriebenen Messstellen, die zwischen 1990 und 2002 zwischen 194 und 392 schwankte. In Abbildung 117 ist die Zahl der Tage angegeben, an denen an mindestens einer deutschen Ozonomessstelle der Ozonschwellenwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Ref. 8) überschritten worden ist.

Abbildung 118 und Abbildung 119 zeigen den entsprechenden Rückgang der Überschreitungen von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

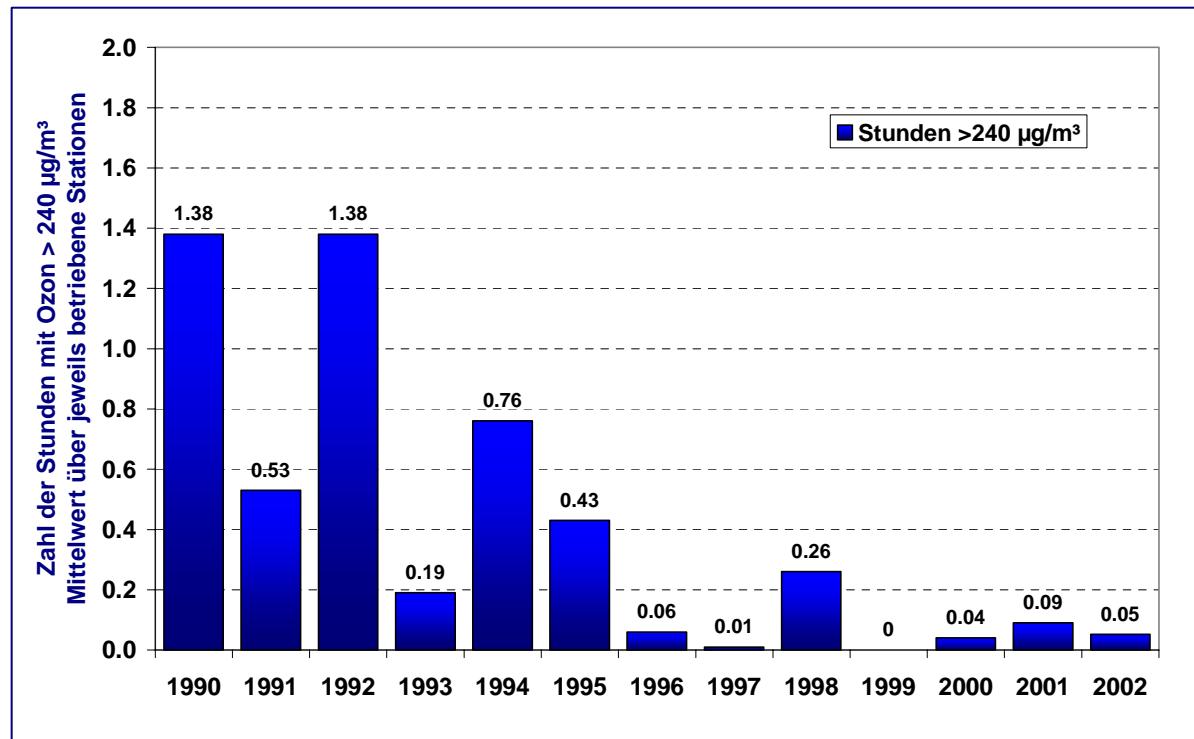


Abbildung 116: Zahl der Stunden mit Ozonwerten  $> 240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , im Mittel über die jeweils betriebenen Messstellen

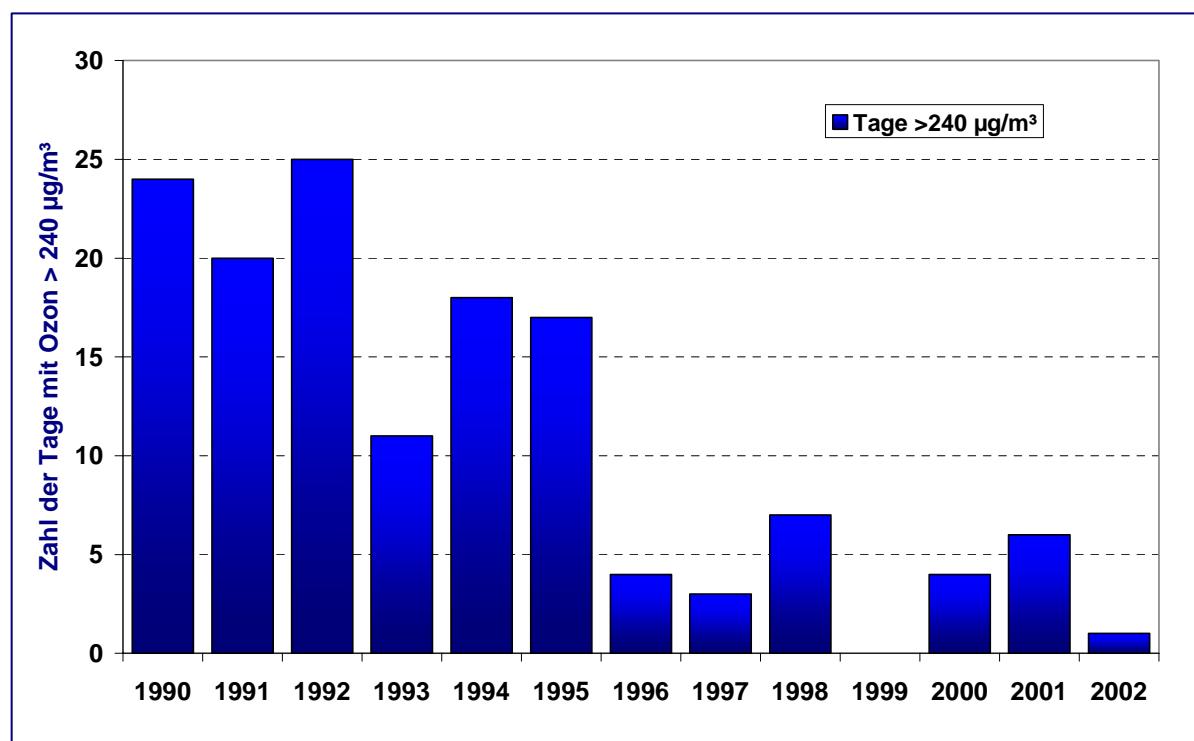


Abbildung 117: Zahl der Tage mit 1-Stunden-Ozonwerten  $> 240 \mu\text{g}/\text{m}^3$

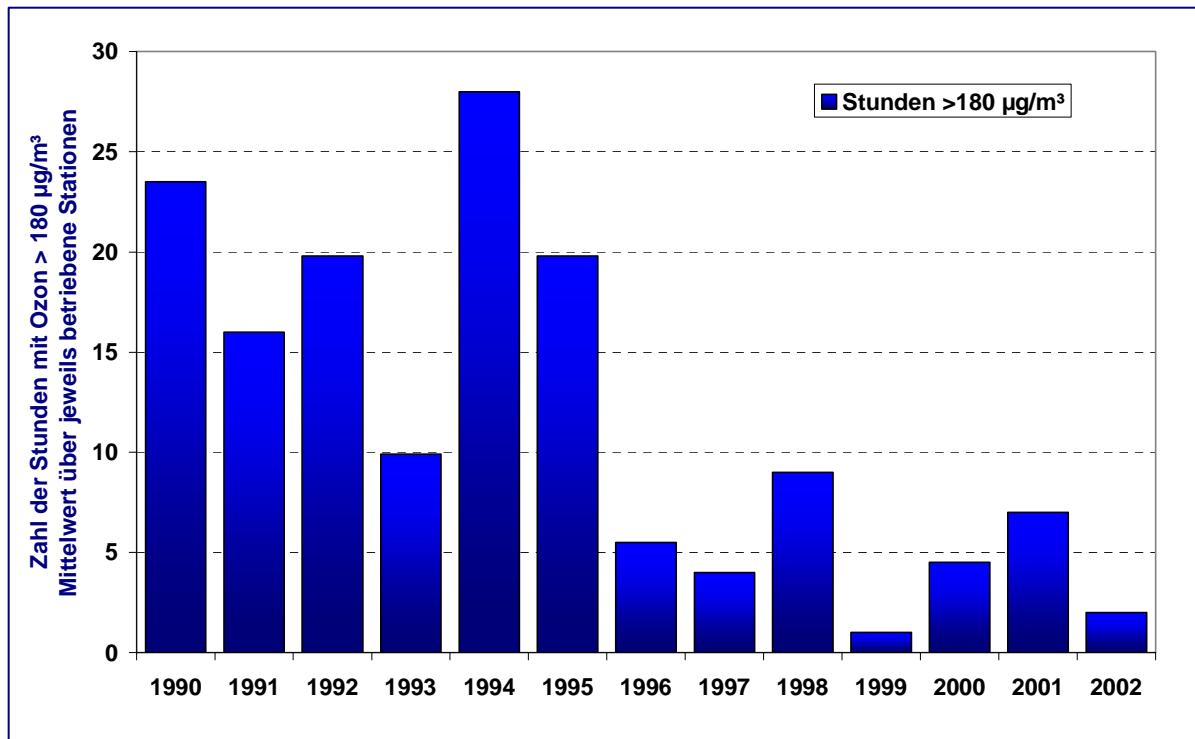


Abbildung 118: Zahl der Stunden mit Ozonwerten  $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , im Mittel über die jeweils betriebenen Messstellen

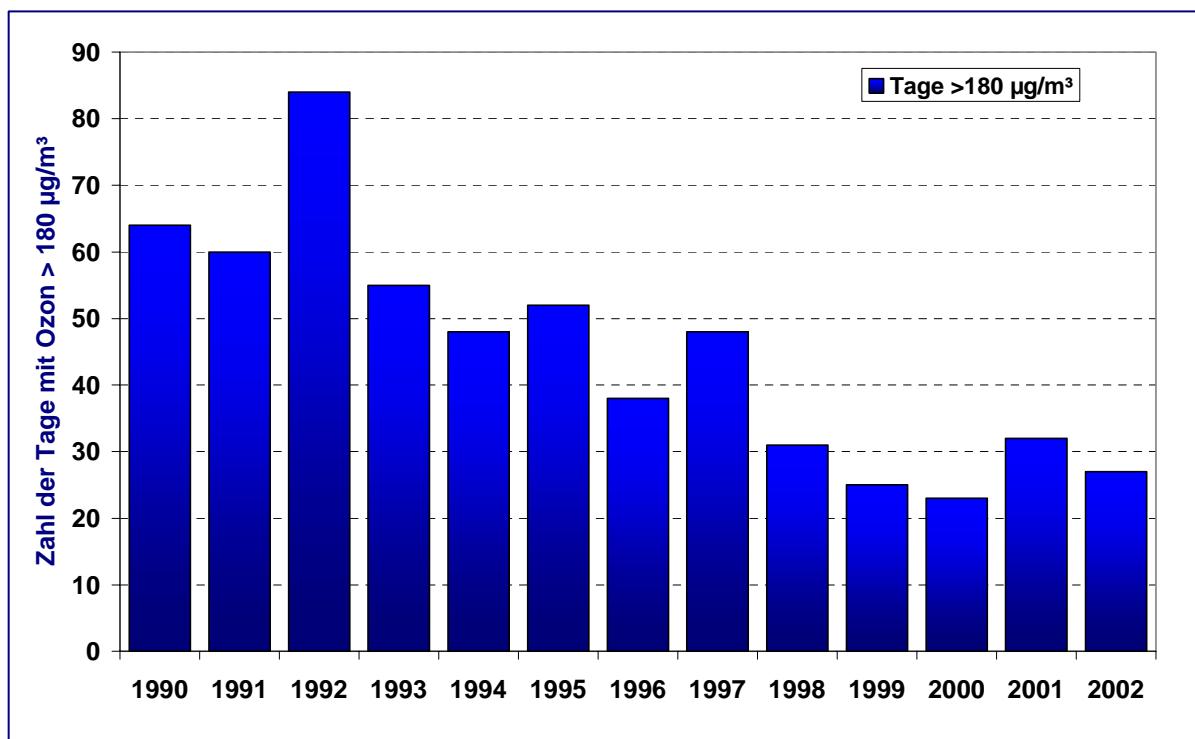


Abbildung 119: Zahl der Tage mit 1-Stunden-Ozonwerten  $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$

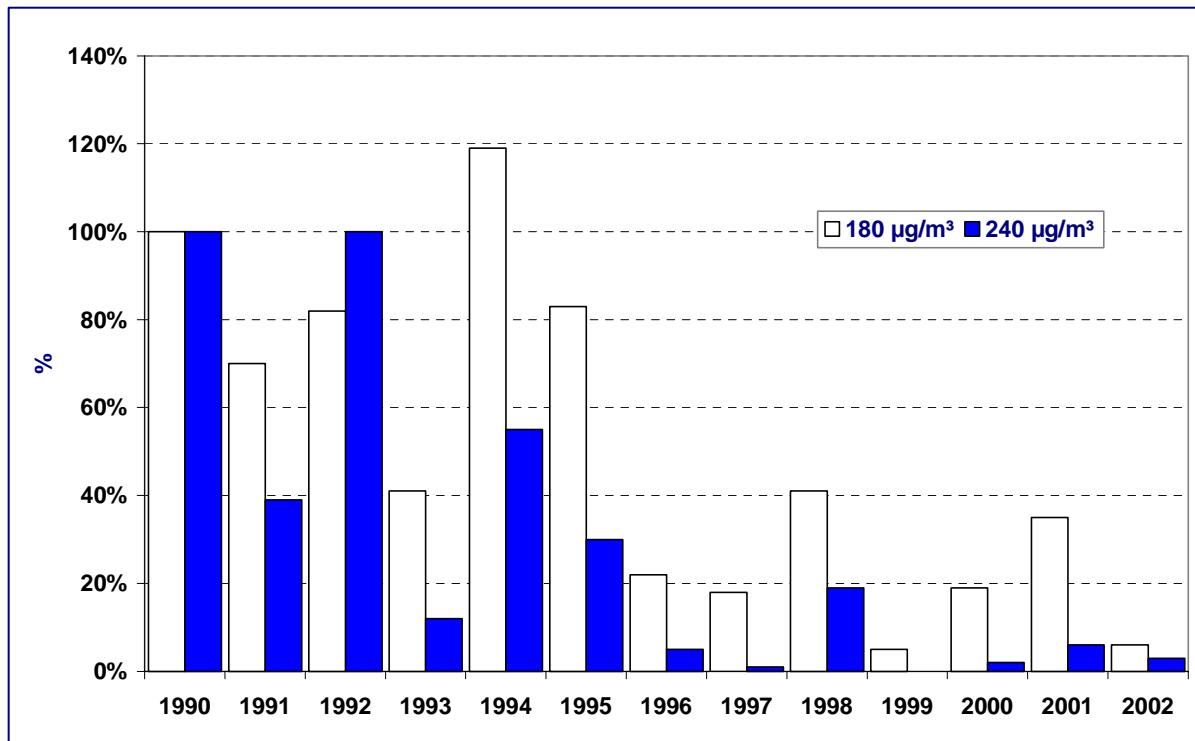


Abbildung 120: Zahl der Stunden mit Überschreitungen von 240 bzw. 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  zwischen 1990 und 2002 relativ zum Jahr 1990 und zur Anzahl der jeweils betriebenen Messstellen

In Abbildung 120 ist die Zahl der Stunden mit Überschreitungen von 240 bzw. 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  zwischen 1990 und 2002 relativ zum Jahr 1990 und zur Anzahl der jeweils betriebenen Messstellen nochmals zusammenfassend dargestellt.

Man erkennt aus Abbildung 116 bis Abbildung 120 eine sehr deutliche Abnahme der Überschreitungen von 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (um mehr als 90 %) und eine etwas schwächere Abnahme der Überschreitungen von 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der in Abbildung 116 bis Abbildung 120 dargestellte Rückgang der Ozon-Spitzenkonzentrationen ist durch meteorologische Schwankungen überlagert, die zu erheblichen Fluktuationen der Ozon-Spitzenwerte von Jahr zu Jahr führen können. Die Einflüsse meteorologischer Schwankungen auf die Überschreitungen der Schwellenwerte sind naturgemäß stärker bei den Schwellenwerten von 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  als bei den höheren Werten von 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Der höchste maximale Stundenwert im Jahre 2002 wurde am 18. Juni mit 292  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  registriert. Zum Vergleich: In den Jahren 2000 bzw. 2001 traten mit 253  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  bzw. 299  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ebenfalls relativ hohe Maximalwerte auf, die neben den lokal bis regional noch immer hohen Emissionen von Ozonvorläufern auch auf extreme Wetterbedingungen zurückzuführen waren (Ref. 9). Im Jahre 1999 trat mit 219  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  der niedrigste Maximalwert seit 1990 auf.

Im den folgenden Abschnitten werden die Ozonepisoden in Deutschland im Jahre 2002 näher untersucht.

### 3.3.2 Analyse der Ozonepisoden im Jahre 2002

#### 3.3.2.1 Zeitliche und räumliche Verteilung der Ozonkonzentrationen

Im Jahre 2002 gab es in Deutschland im Vergleich zu 2001 weniger Überschreitungen von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (1-h-Mittel). Die Überschreitungen von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  traten zwischen dem 17. und 19. Juni in Baden-Württemberg und Hessen auf. Der maximale Ozonwert wurde am 18. Juni mit  $292 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in Gießen (Hessen) beobachtet.

Abbildung 121 zeigt die zeitliche Verteilung der Häufigkeit der Schwellenwert-Überschreitungen von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Abbildung 122 zeigt die entsprechende Verteilung der Überschreitungen von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Angegeben ist die Anzahl der Stunden mit Überschreitungen der entsprechenden Schwellenwerte.

Der Schwellenwert von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurde 2002 an insgesamt 27 Tagen (2001 an 33 Tagen), der Wert von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an einem Tag (2001 an 7 Tagen) überschritten. Die höchsten Stundenwerte wurden an folgenden Orten und Tagen beobachtet (Tabelle 109):

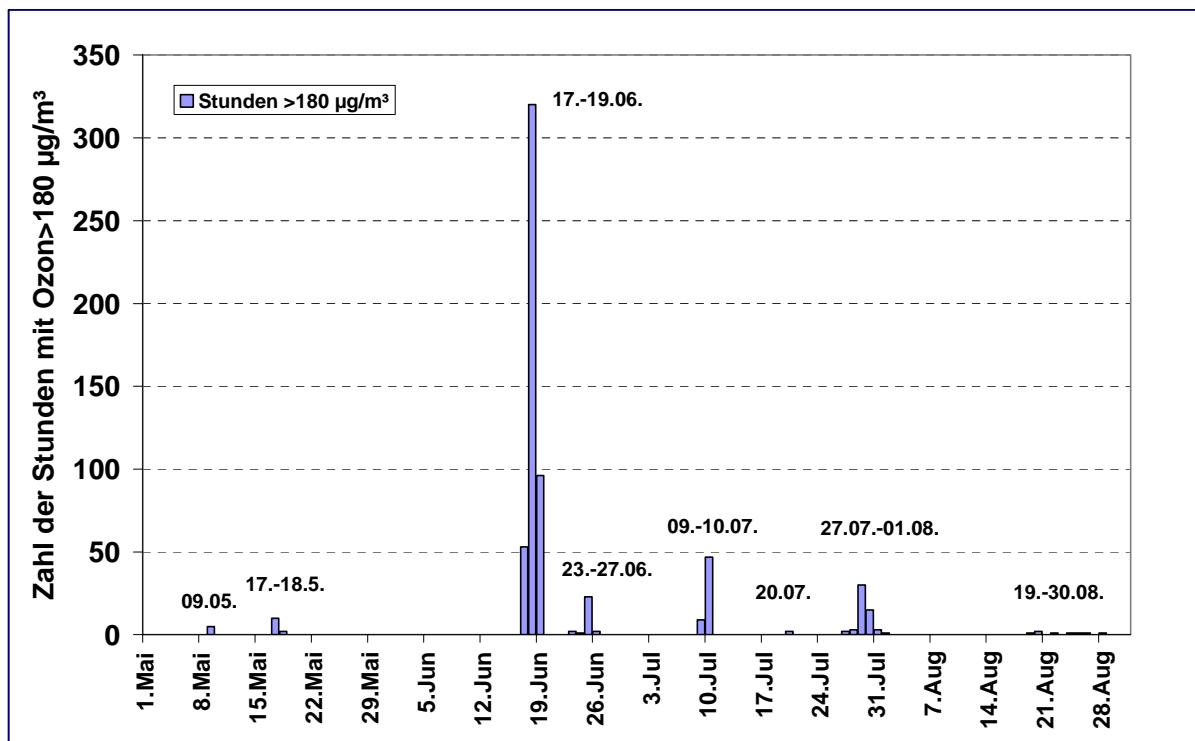


Abbildung 121: Zeitliche Verteilung der Häufigkeit der Schwellenwertüberschreitungen (Stunden) von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$

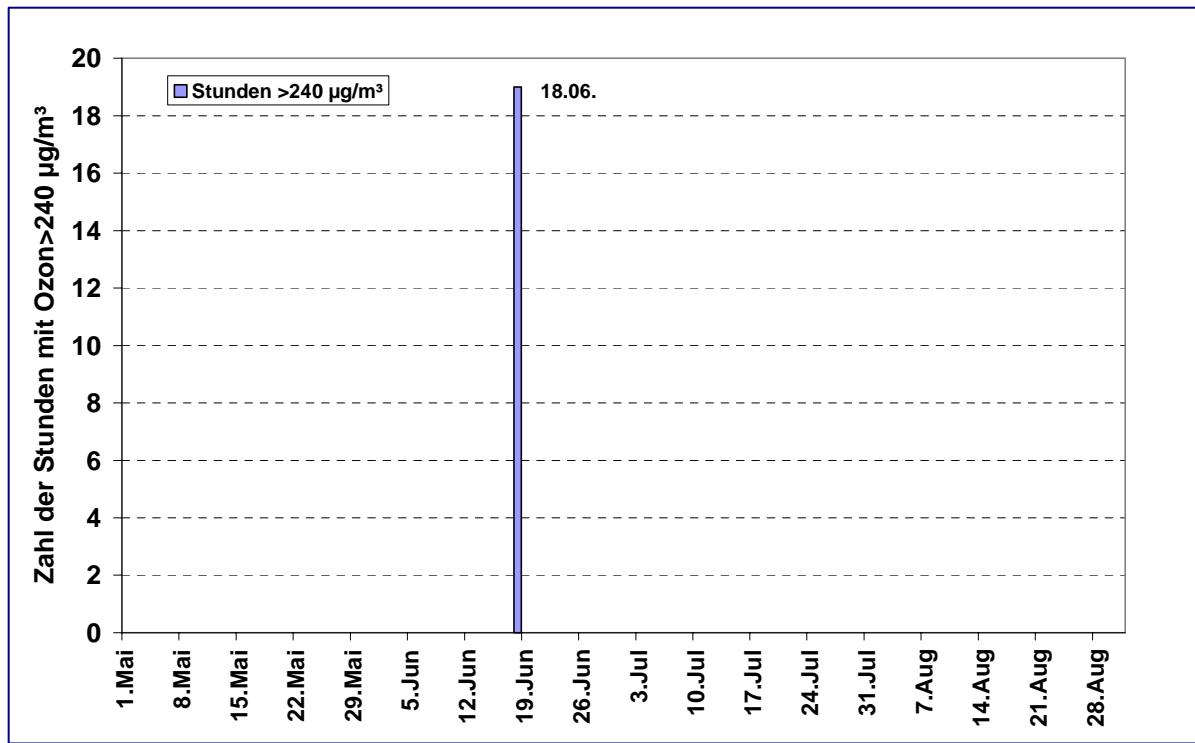


Abbildung 122: Zeitliche Verteilung der Häufigkeit der Schwellenwertüberschreitungen (Stunden) von 240 µg/m³

Tabelle 109: Schwellenwertüberschreitungen von 240 µg/m³ Ozon am 18. Juni 2002 in Deutschland

Station	Datum, Uhrzeit	Anzahl Stunden > 240 µg/m³	Ozon [µg/m³]
Gießen	18.06.2002 12:00	5	292.0
Gießen	18.06.2002 21:00	1	267.0
Riedstadt	18.06.2002 13:00	2	260.0
Eggenstein	18.06.2002 12:00	2	259.5
Karlsruhe-Mitte	18.06.2002 14:00	1	254.0
Karlsruhe-Nordwest	18.06.2002 13:00	1	251.5
Lingen	18.06.2002 15:00	1	248.5
Pforzheim-Mitte	18.06.2002 16:00	1	244.0
Raunheim	18.06.2002 15:00	2	244.0
Wiesbaden-Süd	18.06.2002 15:00	1	243.5
Linden/Leihgestern	18.06.2002 16:00	1	242.0
Lampertheim	18.06.2002 14:00	1	241.5

In Abbildung 123 bis Abbildung 125 ist die räumliche Verteilung der Ozonüberschreitungen für die Ozonepisode vom 17. bis 19. Juni 2002 dargestellt.

## Ozonüberschreitungen am 17.6.2002 in Deutschland

(Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

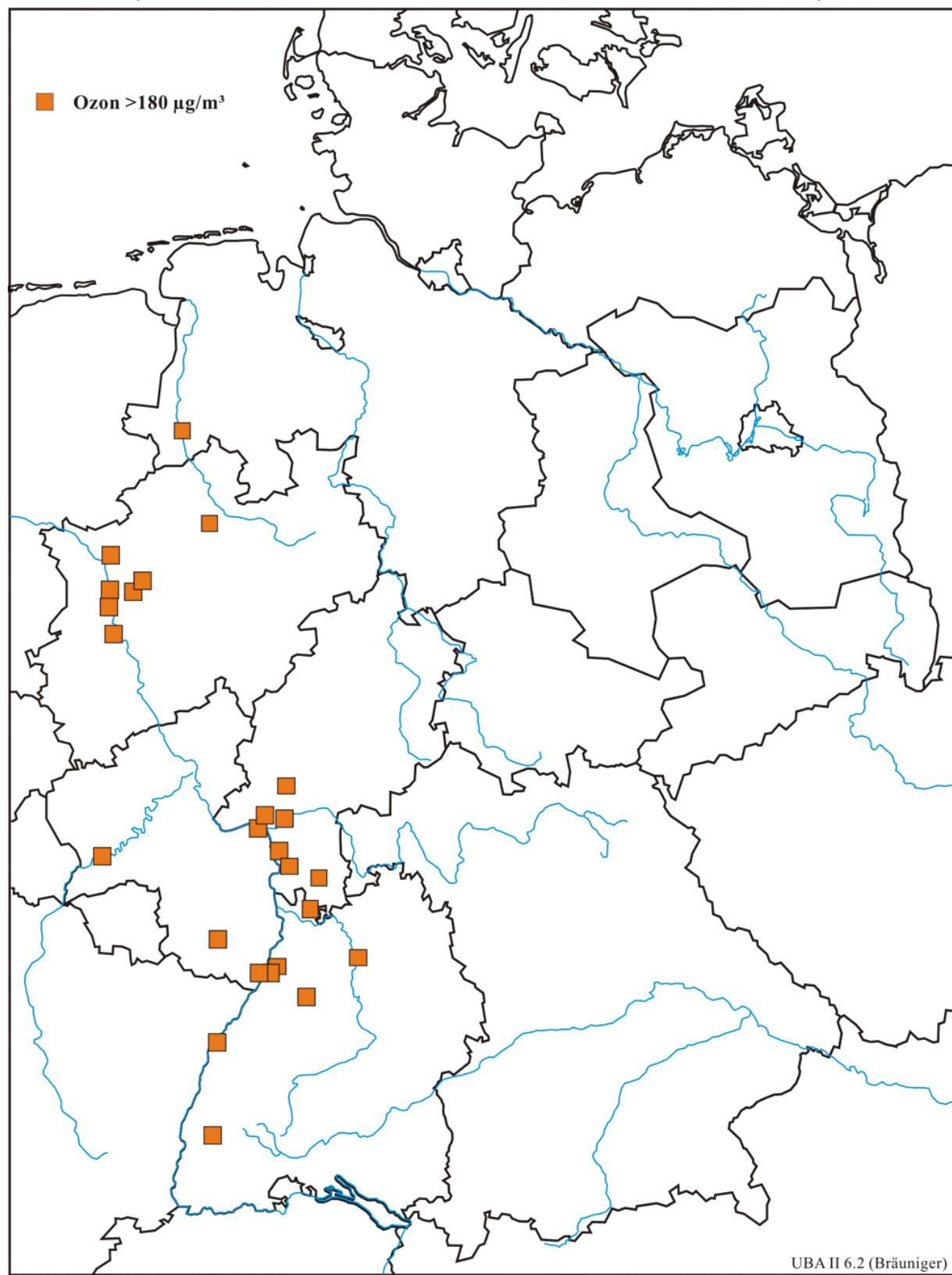


Abbildung 123: Ozon-Schwellenwertüberschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 17. Juni 2002

## Ozonüberschreitungen am 18.6.2002 in Deutschland

(Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

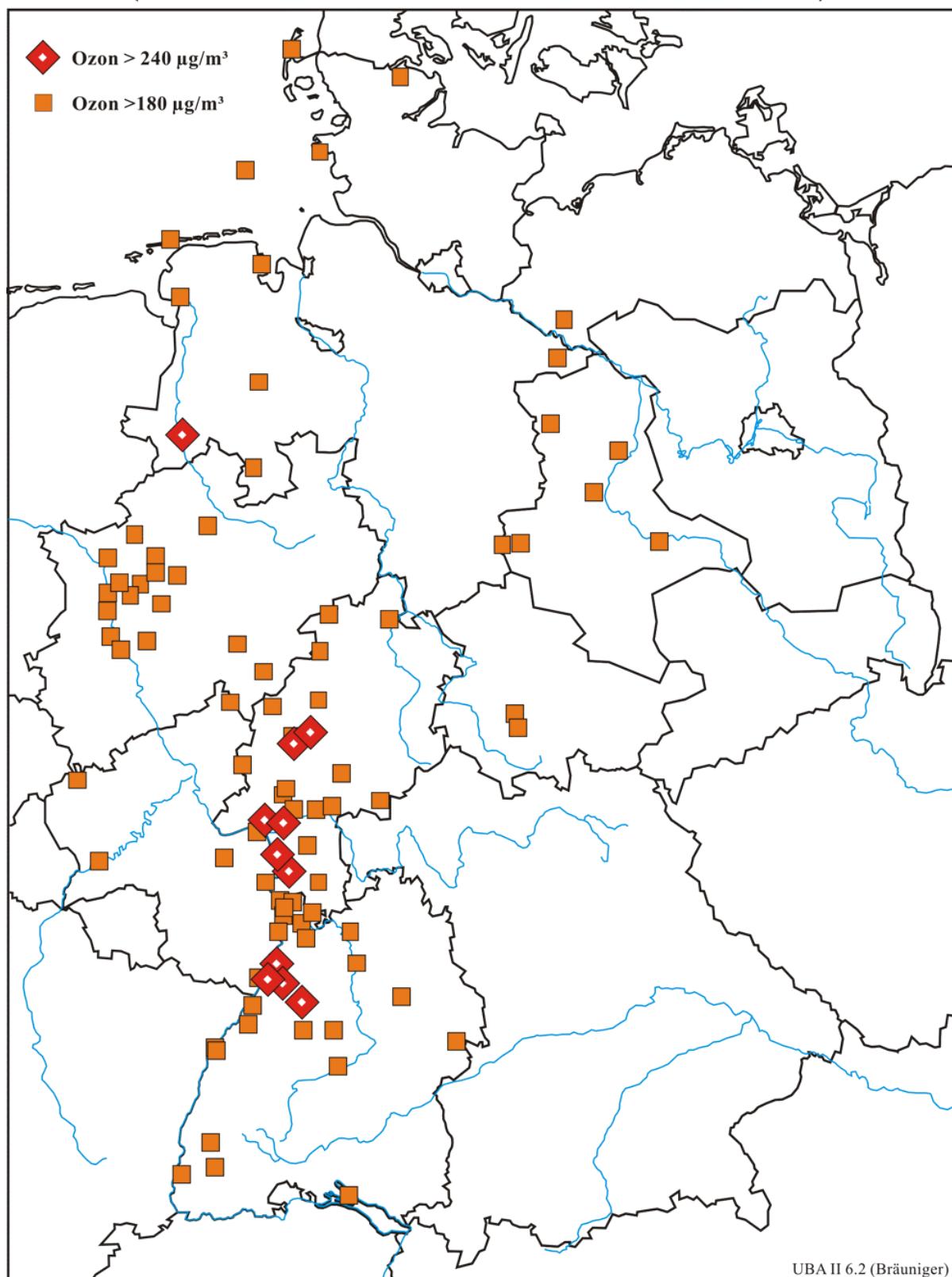


Abbildung 124: Ozon-Schwellenwertüberschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 18. Juni 2002

## Ozonüberschreitungen am 19.6.2002 in Deutschland

(Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

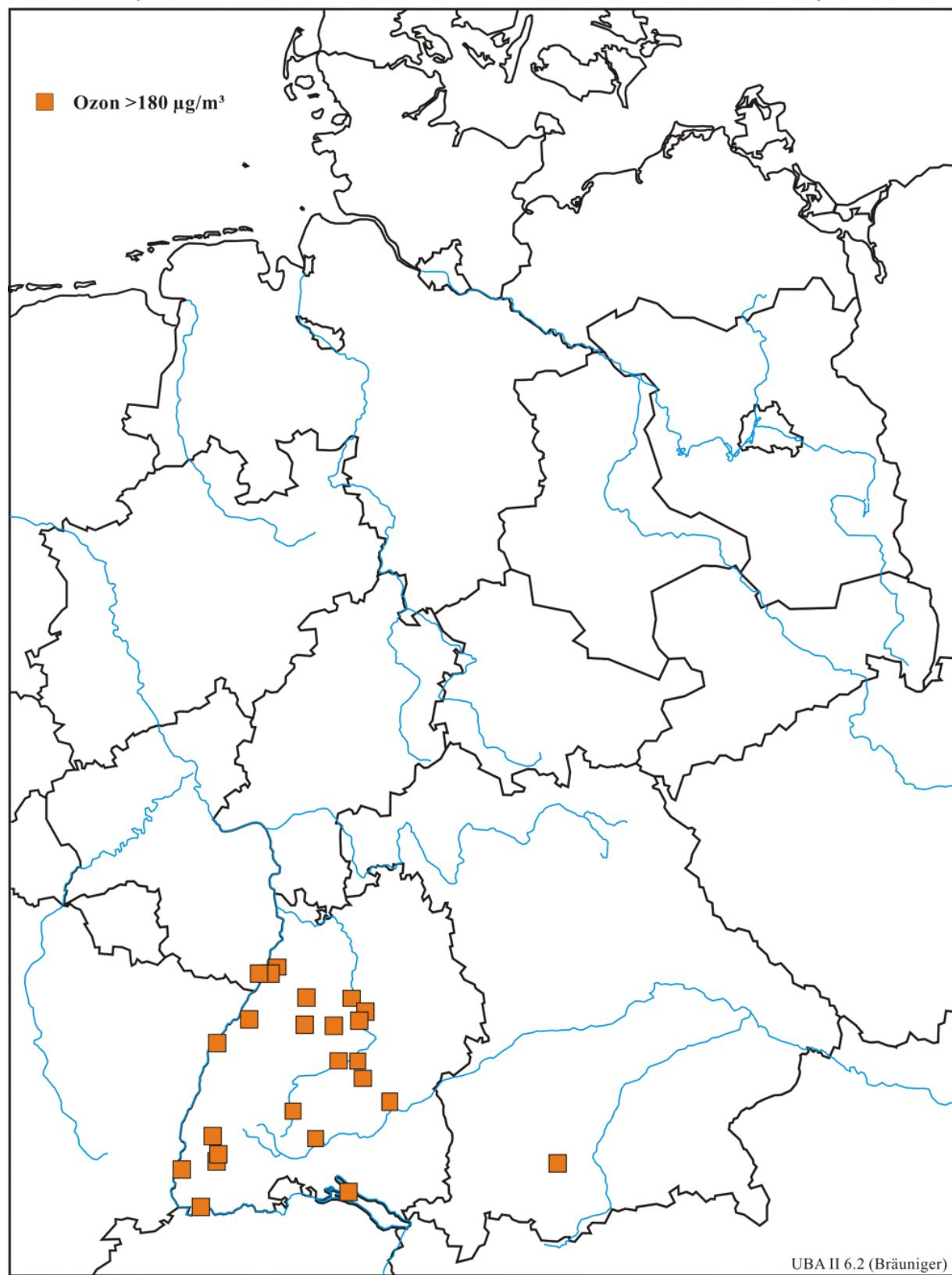


Abbildung 125: Ozon-Schwellenwertüberschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 19. Juni 2002

Man erkennt, dass die Überschreitungen der Ozon-Spitzenwerte vor allem in der Westhälfte (Nordrhein-Westfalen, Hessen und Baden-Württemberg) auftraten.

### **3.3.2.2 Meteorologische Situation**

Aufgrund des ständig wechselnden Witterungsverlaufes konnten im Sommerhalbjahr 2002 keine ausgeprägten und länger anhaltenden Ozonepisoden entstehen. Von Mai bis Ende August waren zwar mehrmals Ansätze vorhanden, aber zu erwähnen ist eigentlich nur die vorübergehend aufgetretene Zunahme der Ozonkonzentrationen mit entsprechenden Überschreitungen von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  um den 18. Juni.

Das Zustandekommen der höchsten Ozonkonzentrationen des Jahres 2002 am 18. Juni war das Ergebnis des gleichzeitigen Auftretens eines Bodenhochs und Höhenkeils über Deutschland bei kräftiger Erwärmung der unteren Atmosphäreschichten und ungehinderter Sonneneinstrahlung zum Zeitpunkt des Sonnenhöchststandes.

Bereits am 16. Juni begann ein Hochdruckgebiet vom Mittelmeerraum aus seinen Einfluss auf Deutschland auszuweiten. Dabei stellte sich eine südwestliche Höhenströmung ein, mit der maritime Luftmassen subtropischen Ursprungs in Richtung europäisches Festland verfrachtet wurden. Bei einer Sonnenscheindauer von 12 Stunden stiegen nachmittags im Südwesten Deutschlands die Temperaturen schon bis  $30^\circ\text{C}$  an.

Am 17. Juni setzte sich der Aufbau des Bodenhochs in Deutschland bis zur Küste fort. Die Höhenströmung drehte weiter in Richtung Süd, was eine verstärkte Zufuhr von Warmluft zur Folge hatte. Die kräftige Warmluftadvektion sowie dynamische Absinkprozesse in der oberen Troposphäre führten zur Bildung eines Höhenkeils, der zunächst von den Westalpen zur Nordsee verlief. Bei zunehmender Sonnenscheindauer bis auf 14 Stunden stiegen die Temperaturen am 17. allgemein weiter an. Dabei wurden im Oberrheingraben und Rhein-Maingebiet Tageshöchsttemperaturen von  $32$  bis  $34^\circ\text{C}$  gemessen.

Am 18. Juni erreichten die advektiv und dynamisch bedingte Erwärmung ihren Höhepunkt. Der Höhenkeil schwenkte ostwärts über Deutschland hinweg, während am Boden eine schwache bis mäßige Süd- bis Südost- Strömung bestand. Die Temperaturen stiegen bei ungehinderter kräftiger Sonneneinstrahlung entlang des Ober- und Mittelrheins auf Werte von  $35$  bis  $37^\circ\text{C}$  an.

Am 19. Juni hielt zwar die Warmluftzufuhr aus Südwesteuropa in den höheren Luftsichten an, in Bodennähe drang jedoch ein flacher Trog nach Deutschland ein und beendete die Episode.

### 3.3.2.3 Interpretation der hohen Ozonwerte

Zur Bildung hoher Ozonkonzentrationen müssen besondere meteorologische und emissionsseitige Voraussetzungen erfüllt sein: Das Vorhandensein der beiden wichtigsten Ozonvorläufer NO<sub>x</sub> und VOC, eine intensive UV-Strahlung und eine mehrere Tage andauernde sommerliche Schönwetterperiode.

Um Aussagen über die Herkunft der hohen Ozonbelastung machen zu können, wurden die Zugbahnen der Luftmassen über einen Zeitraum von 3 Tagen vor Eintreffen an den Stationen anhand von sogenannten Rückwärtstrajektorien zurückverfolgt. Die Ankunftszeiten der Trajektorien wurden so gewählt, dass die Luftmassen etwa zum Zeitpunkt der maximalen Ozonkonzentrationen die Stationen erreichten (siehe Tabelle 109).

In Abbildung 126 bis Abbildung 129 ist der Verlauf der Rückwärtstrajektorien beispielhaft für die Stationen Eggenstein (Ankunft der Trajektorie am 18.6.2002, 12:00 Uhr UTC), sowie für Gießen (Ankunft am 18.6.2002, 12:00 Uhr UTC), Lingen (Ankunft am 18.6.2002, 15:00 Uhr UTC) und für Riedstadt (Ankunft am 18.6.2002, 13:00 Uhr UTC) für unterschiedliche Höhenniveaus dargestellt (Boden, 950 hPa (540 m), 900 hPa (1000 m) und 850 hPa (1500)).

Wie der Verlauf der Trajektorien zeigt, sind die Luftmassen aus südwestlichen bis südlichen Richtungen über Gebiete mit einer hohen Emissionsdichte der Ozonvorläufer vor allem in Frankreich und Süddeutschland transportiert worden. Der vertikale Verlauf der Trajektorien zeigt durchweg ein schwaches Absinken der Luftmassen während der 3 Tage vor Eintreffen an den Stationen. Der vertikale Verlauf zeigt auch, dass die hohen bodennahen Ozonkonzentrationen nicht durch Luftmassentransporte aus größeren Höhen zum Boden verursacht worden sind, sondern photochemisch innerhalb der Mischungsschicht gebildet worden sind.

Die hohen Ozonkonzentrationen am 18. Juni 2002 in weiten Gebieten von Nordrhein-Westfalen, Hessen und Baden-Württemberg sind auf die für die Ozonbildung günstigen meteorologischen und emissionsseitigen Bedingungen in diesen Bundesländern und ihren Einzugsgebieten zurückzuführen.

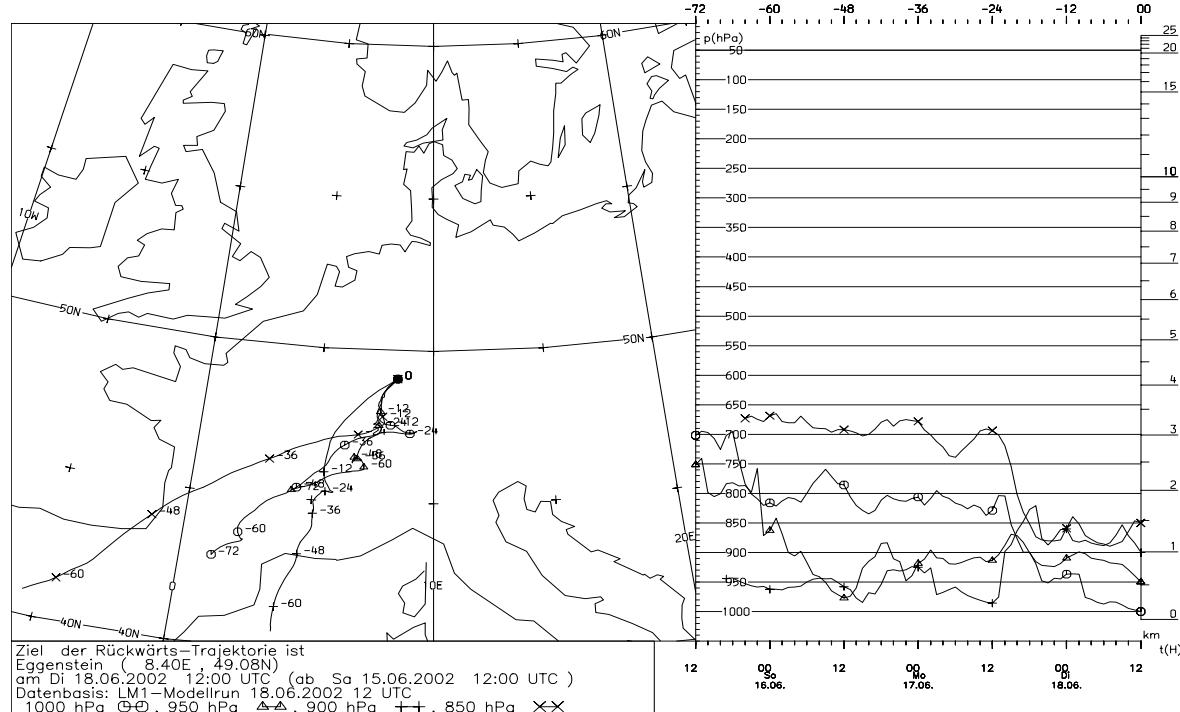


Abbildung 126: Rückwärts-Trajektorien nach Eggenstein am 18.6.2002, 12:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhenniveaus. Linke Abbildung: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abbildung: vertikaler Verlauf der Trajektorien

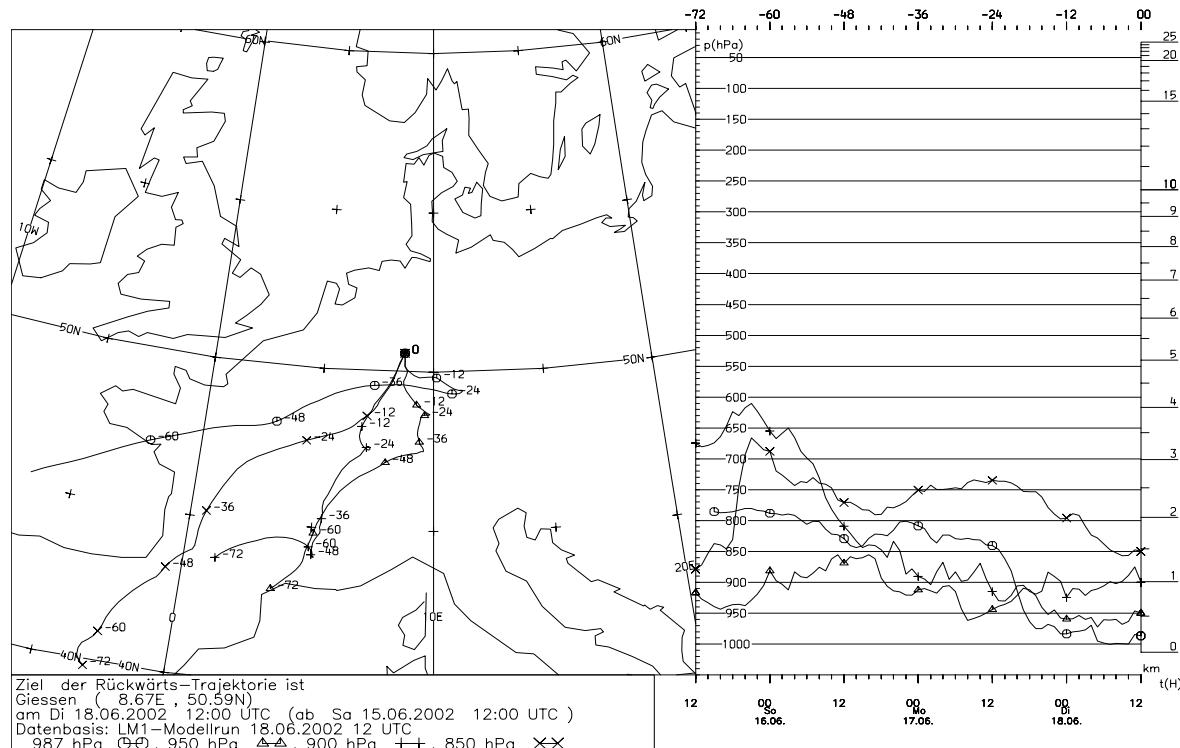


Abbildung 127: Rückwärts-Trajektorien nach Gießen am 18.6.2002, 12:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhenniveaus. Linke Abbildung: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abbildung: vertikaler Verlauf der Trajektorien

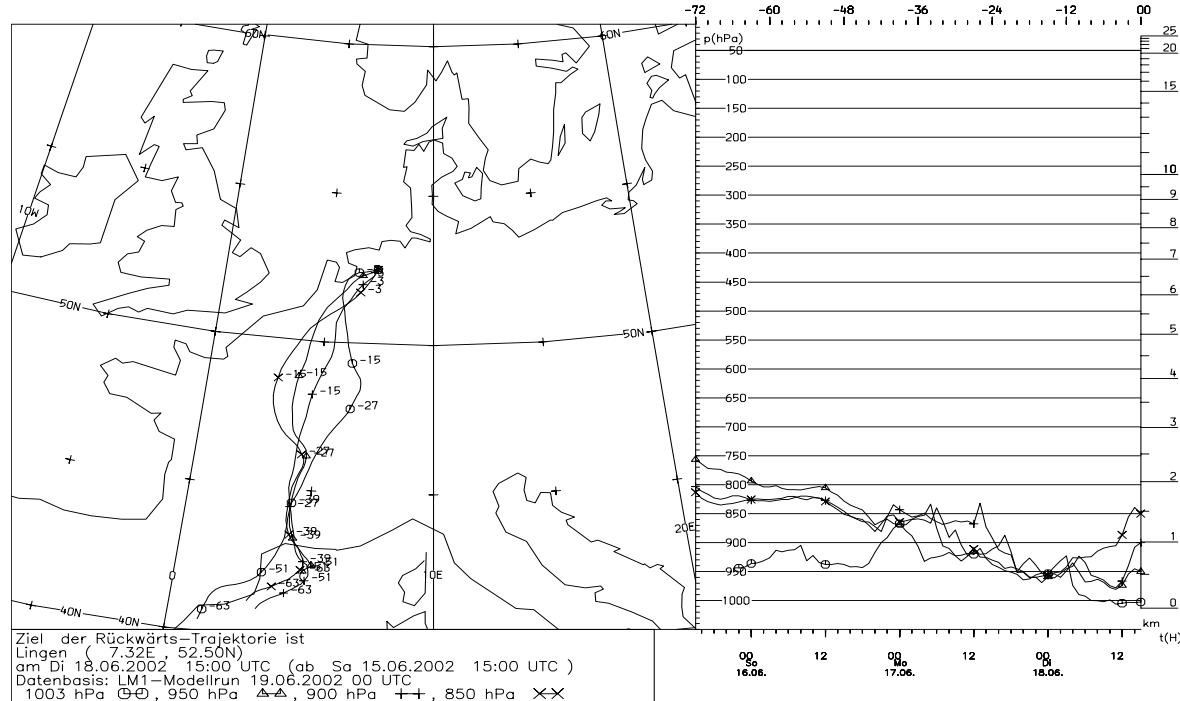


Abbildung 128: Rückwärtstrajektorien nach Lingen am 18.6.2002, 15:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhenniveaus. Linke Abbildung: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abbildung: vertikaler Verlauf der Trajektorien

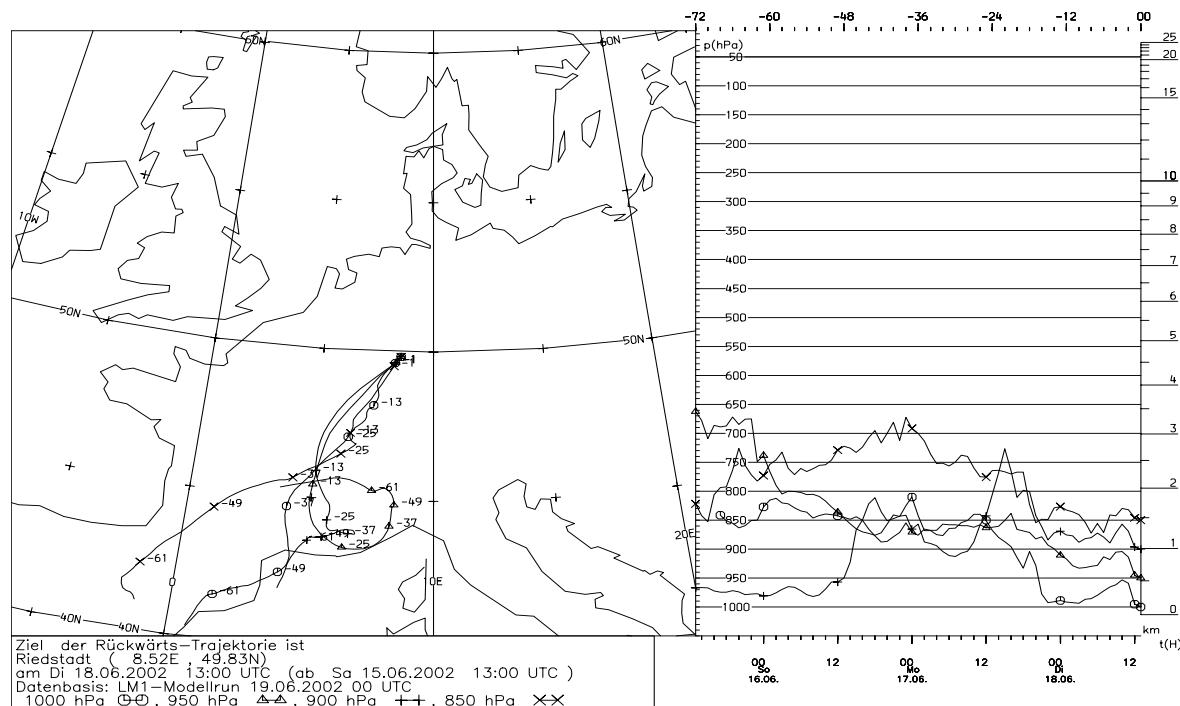


Abbildung 129: Rückwärtstrajektorien nach Riedstadt am 18.6.2002, 13:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhenniveaus. Linke Abbildung: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abbildung: vertikaler Verlauf der Trajektorien

### 3.3.3 Literatur zu Kapitel 3.3

- (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 (2002)  
*Ozonsituation 2002 in der Bundesrepublik Deutschland, Kurzbericht, November 2001*  
 (Verfasser: U. Dauert und S. Grittner)
- (3) Schneider, (2002)  
*Erkenntnisse zum bodennahen Ozon aus Untersuchungen in Österreich. Vortrag Fachgespräch „Bodennahes Ozon“, UBA, Berlin-Spandau, 29./30.April 2002.*
- (4) Neftel, A. (2002)  
*Erkenntnisse zum bodennahen Ozon aus Untersuchungen in der Schweiz. Vortrag Fachgespräch „Bodennahes Ozon“, UBA, Berlin-Spandau, 29./30.April 2002.*
- (5) NEGTAP (2001)  
*Report on Transboundary Air Pollution: Acidification, Eutrophication and Ground-Level ozone in the UK, Editor: David Fowler*
- (6) Coyle, M., Fowler, D. and Ashmore, M. (2003)  
*New Directions: Implications of increasing tropospheric background ozone concentrations for vegetation. Atm. Env. 37, 2003, pp 153-154*
- (7) Enke, W. (2000)  
*Analyse historischer Ozonzeitreihen und Entwicklung einer Methode zur quasi-wetterbereinigten Trendanalyse von bodennahem Ozon. Abschlussbericht UBA-Forschungsvorhaben Nr.297 42 848.*
- (8) EU (2002)  
*Richtlinie 2002/3/EG vom 12. Februar über den Ozongehalt der Luft, Amtsblatt der EG vom 9.3.2002*
- (9) UBA (2001, 2002)  
*Jahresberichte 2000 und 2001 aus dem Messnetz des UBA, UBA Texte 77/01 und 69/02.*

### **3.4 Kohlenmonoxidmessungen an der Messstelle Schauinsland - Erfahrungen und Ergebnisse mit dem Resonanz-Fluoreszenz Verfahren**

*Frank Meinhardt, Messstelle Schauinsland*

#### **3.4.1 Zusammenfassung**

An der Hintergrundstation Schauinsland des Umweltbundesamtes wird seit knapp zwei Jahren Kohlenmonoxid mit dem Verfahren der Resonanzfluoreszenz gemessen (*Ref. 1*). Dabei kommt das Instrument AL5001 der Fa. Aero Laser zum Einsatz (Abbildung 131). In dieser Zeit hat sich dieses Messgerät im operativen Einsatz zur Messung der CO-Background-Belastung gut bewährt.

Die Ermittlung der Stabilität und Präzision des Verfahrens an Hand von Standardgas-messungen ergab einen Wert <0.5% für beide Größen, bei gemessenen Standard-konzentrationen von 500 und 1000 ppb. Die Richtigkeit des Verfahrens wurde mit 3 NOAA/CMDL Standards mit einer zertifizierten Restunsicherheit von 1% überprüft. Bei 2 Tanks lag die gemessene Abweichung vom Sollwert innerhalb der angegebenen Toleranz. Verdünnungsversuche zeigen einen streng linearen Zusammenhang des Verfahrens im Bereich 0-400 ppb (Abbildung 135).

Die bisher durchgeführten CO-Messungen am Schauinsland sind im Vergleich mit anderen Backgroundstationen plausibel und zeigen angenähert den erwarteten Verlauf des Jahresgangs. Auf Grund der topographischen Lage der Station ergibt sich ein ausgeprägter Tagesgang, der sich sowohl in den Sommer- als auch in den Wintermonaten zeigt. Die maximalen CO-Konzentrationen werden im Spätwinter bzw. Frühfrühling mit Monatsmittelwerten um 200 ppb erreicht. Im Sommer treten Minimalkonzentrationen von 120-130 ppb auf.

#### **3.4.2 Einleitung**

CO hat auf die Chemie der Troposphäre großen Einfluss, und zwar aus folgenden Gründen (*Ref. 6*):

- CO ist die Hauptsenke für das OH-Radikal, der stärksten Oxidationsquelle der Atmosphäre, und beeinflusst somit über diese Abbaureaktion die Selbstreinigungskraft der Atmosphäre und die Lebensdauer vieler Spurengase.
- CO ist ein Ausgangsprodukt bei der Ozonbildung, da eine wichtige Bildungsreaktion für Ozon durch die Oxidation von CO eingeleitet wird.
- CO trägt indirekt zum Treibhauseffekt bei, da das OH-Radikal die einzige Senke für das Treibhausgas Methan und einiger Fluorkohlenwasserstoffe ist.

CO ist ein Tracer für anthropogen beeinflusste Luftmassen, der dazu dienen kann, lokale und regionale Episoden mit belasteter Luft genauer zu charakterisieren. Die wichtigste primäre Quelle für CO ist die Verbrennung von Biomasse und fossilen Energieträgern. Die sekundäre

CO-Quelle mit dem größten Einfluss auf das globale CO-Budget ist die Oxidation von Methan sowie weiteren Kohlenwasserstoffen mit OH-Radikalen. Modellrechnungen zeigen, dass 20 bis 50% des atmosphärischen CO aus dieser Quelle stammen. Diese Angaben sind allerdings noch mit großen Unsicherheiten behaftet.

Da das OH-Radikal der wichtigste atmosphärische Reaktionspartner für CO ist, variiert die atmosphärische Lebensdauer von CO, abhängig von der OH-Konzentration, zwischen Wochen und mehreren Monaten. Diese relativ kurze Lebensdauer erklärt, warum CO in beiden Erdhemisphären deutlich unterschiedliche Konzentrationen aufweist. Da die primären Quellen hauptsächlich auf der Nordhalbkugel konzentriert sind, treten hier deutlich höhere Konzentrationen als auf der Südhalbkugel auf, wie Abbildung 130 zeigt (*Quelle: NOAA/CMDL, Ref. 2*) zeigt.

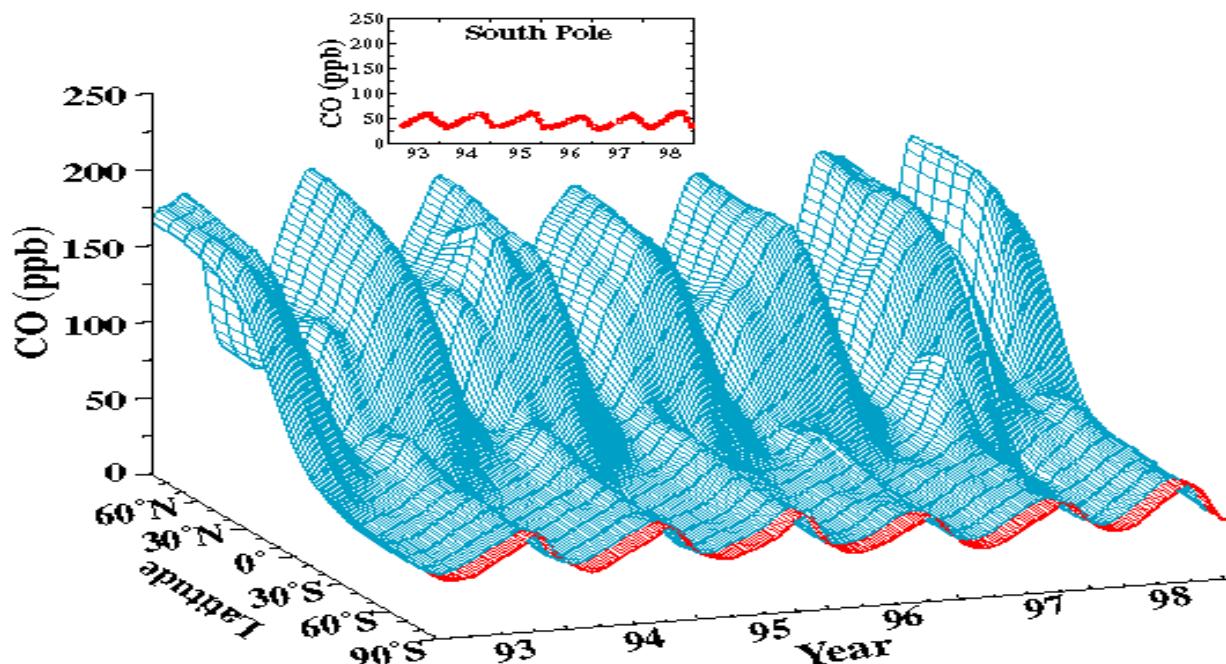


Abbildung 130: Dreidimensionale Darstellung der Verteilung atmosphärischer CO-Mischungsverhältnisse über die geographische Breite. *Quelle: NOAA/CMDL cooperative air sampling network*

### 3.4.3 Messverfahren für CO Messungen

Für die Messung von atmosphärischen CO gibt es verschiedene Verfahren, die in zwei Gruppen eingeteilt werden können, nämlich optische und gaschromatographische Methoden. Für kontinuierliche Messungen von CO in Messnetzen und an personell besetzten Messstellen finden sich bisher hauptsächlich Gaschromatographen mit FID- oder HgO-Detektoren sowie Geräte die nach dem Verfahren der Gas-Filter-Korrelation arbeiten. Typische Nachweisgrenzen und Angaben zur Präzision der gängigen Verfahren zeigt Tabelle 110 (*Ref. 3, 7*).

### Gerätespezifikationen:

Tabelle 110: Die wichtigsten Verfahren zur Messung von atmosphärischen CO

Zugrundeliegende Technik	Nachweisgrenze [ppb]	Präzision %	Referenz
GC-FID	25-50	2-8	Rasmussen und Khalil 1981, Krupp 1989
GC-HgO	1-2	0.5-2	Novelli et al. 1992
NDIR/GFC	20-70	1-10	Parrish et al. 1994

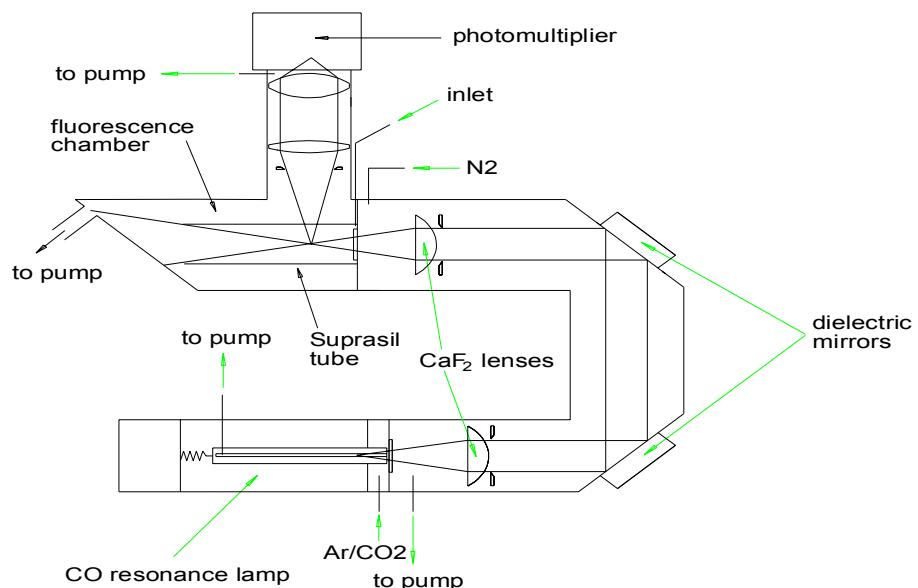


Abbildung 131: Schematische Darstellung des CO-Analysators Al 5001

Das von uns eingesetzte Gerät der Fa. Aerolaser (siehe Abbildung 131) arbeitet ebenfalls nach einem optischen Prinzip und wurde ursprünglich für Flugzeugmessungen mit hoher Zeitauflösung entwickelt, das Verfahren hat eine  $T_{90}$  Zeit von ca. 1s. Es hat sich gezeigt, dass das Instrument auch für stationäre Langzeitmessungen gut geeignet ist.

### 3.4.4 Beschreibung des Messverfahrens

Der Messeffekt beruht auf dem Nachweis von Resonanzfluoreszenz-Strahlung von CO-Molekülen im Vakuum UV Bereich (VUV) (Ref.1, 4).

Als Lichtquelle dient eine Mikrowellen Gasentladungslampe die mit einem Gasgemisch aus CO<sub>2</sub> und Argon bei wenigen Torr Druck betrieben wird. Durch ein optisches Bandpassfilter (dielektrische Spiegel) wird die Strahlung des Resonanzfluoreszenzübergangs im Wellenlängenbereich von etwa 150 nm extrahiert. Das Licht wird zunächst mittels Kollimatorlinsen im Strahlengang parallelisiert und anschließend in die Fluoreszenzkammer fokussiert. Dort werden die in der Messluft enthaltene CO-Moleküle zur Fluoreszenz angeregt, die daraus resultierende Fluoreszenzstrahlung wird durch einen rechtwinklig zur Kammer angeordneten Photomultiplier registriert.

Um den Quenching-Effekt des Resonanzübergangs zu minimieren, wird der Druck in der Fluoreszenzkammer bei etwa 7 Torr konstant gehalten. Diese niedrigen Drücke sowohl in der Resonanz-Lampe als auch in der Fluoreszenzkammer werden durch eine Grobvakuumumpumpe und eine spezielle Druckregelung realisiert. Da auch Sauerstoff und Wasser im Spektralbereich um 150 nm Licht absorbieren, wird der optische Strahlengang permanent mit Stickstoff 6.0 gespült. Das Verfahren hat eine geringe Querempfindlichkeit gegenüber Wasserdampf. Deshalb wird der Taupunkt der Messluft zunächst mit einem Nafion-Trockner abgesenkt.

Der Photomultiplier registriert die Einzelphotonen der CO-Fluoreszenz. Durch einen nachgeschalteten Zähler erhält man eine Frequenz als Ausgangssignal. In bestimmten Zeitintervallen werden die Zählersignale ausgewertet (in counts/s) und gemittelt. Mit dem Kalibrierfaktor (counts/ppb) und dem Nullwert werden aus den Rohdaten dann die CO-Konzentrationen berechnet. Die Datenerfassung erfolgt mit einem externen PC über die serielle Schnittstelle. Die Echtwerte werden als Halbminutenmittelwerte in ASCII Dateien gespeichert.

#### 3.4.4.1 Kalibrierung

Die Kalibrierung wird in Intervallen von 6 Stunden durchgeführt, die Dauer eines Kalibrierzyklus beträgt 5 Minuten.

Dabei werden mittels intern erzeugter Nullluft und einem Kalibrierstandard die Zählraten vom Background und Messsignal ermittelt und daraus ein Kalibrierfaktor bzw. die Sensitivität des Instruments bestimmt.

Als Arbeitsstandards werden Gase von Messer Griesheim eingesetzt, die am MPI für Chemie in Mainz zusätzlich eingemessen wurden. Die Gesamtunsicherheit hierfür wurde mit 2% angegeben. Die Abweichungen der am MPI ermittelten Konzentrationen vom Herstellersollwert lagen unter 1%.

### 3.4.4.2 Genaugigkeit des Verfahrens

Die Genauigkeit (Accuracy) wird als Ausmaß der Annäherung zwischen dem Messresultat und dem wahren Wert der Messgröße definiert und stellt eine Kombination von einer Zufallskomponente (Präzision) und einer Abweichungskomponente (Richtigkeit) dar. Die Präzision (Wiederholpräzision) lässt sich aus der Standardabweichung von Vergleichsmessungen ermitteln. Dazu wurden zwei Standards von Messer Griesheim verwendet, die im Bereich 500 ppb und 1000 ppb liegen.

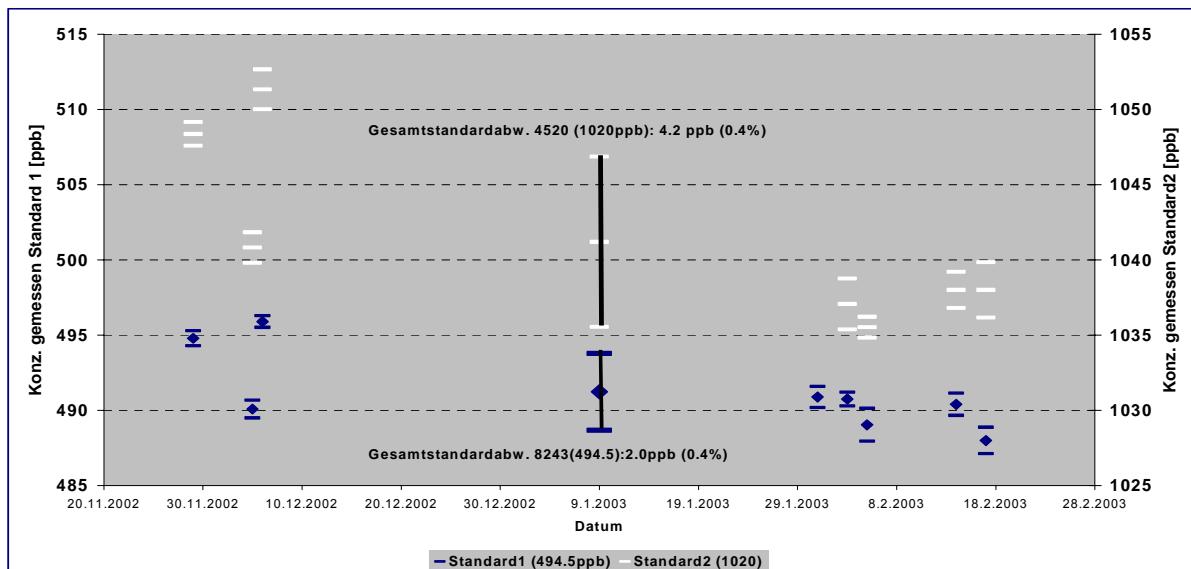


Abbildung 132: Standardmessungen zu Ermittlung der Reproduzierbarkeit für AL5001 bei Messung der Standards 8243 und 4520 von November 2002 bis Februar 2003

Die Grafik (Abbildung 132) zeigt, dass die relativen Standardabweichungen der Einzelmessungen (30 sec. Mittelwert) bei etwa 0.1% liegen und die rel. Gesamtstandardabweichungen mit ca. 0.4% für beide Standards deutlich größer sind. Dabei ist allerdings noch nicht geklärt, inwieweit möglicherweise die Standardgase selbst über diesem Zeitraum gedriftet sind. Absolut liegen die Sollwertabweichungen bei 0.7%, und 2% beim oberen Standardgas. Für die Präzision des Verfahrens ist außerdem zu beachten, dass die Sensitivität des Instruments durch Verschmutzung von optischen Komponenten langsam abnimmt. Dabei sinkt der Wert für die Sensitivität in einem Wartungsintervall von ca. 120 counts/ppb auf 30 counts/ppb ab. Bei einem weiterem Absinken der Empfindlichkeit muss eine Grundreinigung der Optik erfolgen. Das Nachlassen der Empfindlichkeit bewirkt ein Absinken der Präzision des Verfahrens. Die Versuche wurden bei einer mittleren Sensitivität zwischen 70 und 80 counts/ppb durchgeführt.

Die Richtigkeit des Instruments wurde mit 3 NOAA/CMDL-Tanks überprüft, mit einer angegebenen zertifizierten Restunsicherheit von 1%. Die Tanks wurden uns von der GAW Globalstation Zugspitze des Umweltbundesamtes zur Verfügung gestellt. Dabei zeigte sich, dass bei 2 von 3 dieser Tanks die Sollwerte innerhalb dieser Toleranz gefunden wurden, nur der Tank mit der höchsten CO Konzentration (301.5 ppb) zeigte eine höhere Sollwertabweichung von 2.3% (Abbildung 133).

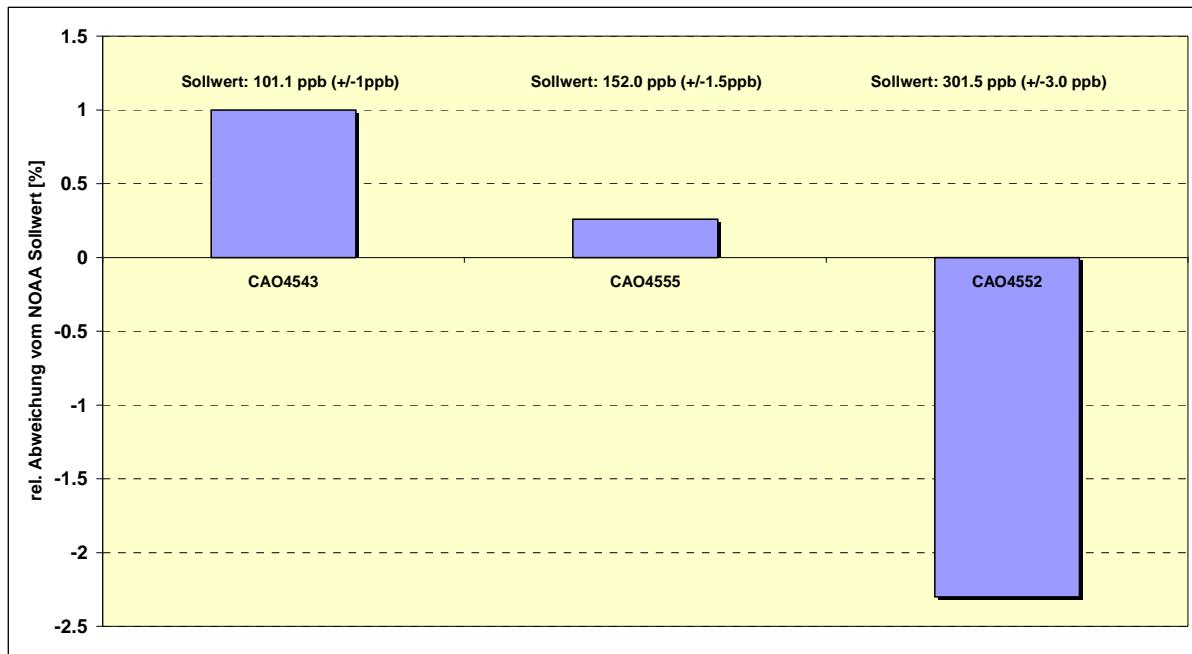


Abbildung 133: Sollwertabweichungen von NOAA/CMDL Standards bei Vergleichsmessung für CO mit AL 5001

### 3.4.4.3 Stabilität und Linearität des Verfahrens

Die Stabilität der Messungen über einen Zeitraum von 3 Stunden wurde mit einem selbst aufgedrückten Sekundärstandard überprüft (Abbildung 133). Die Stabilität ist statistisch bestimmt durch die Standardabweichung der Einzelmessungen (Halbminutenwerte) und lag um 0.5%. Bezuglich der Linearität des Messverfahrens zeigt sich, dass im Bereich bis 400 ppb keine Abweichung vom linearen Verhalten feststellbar ist (Abbildung 135). Verdünnungsversuche in diesem Bereich ergaben einen Korrelationskoeffizienten von 1 (Abbildung 134).

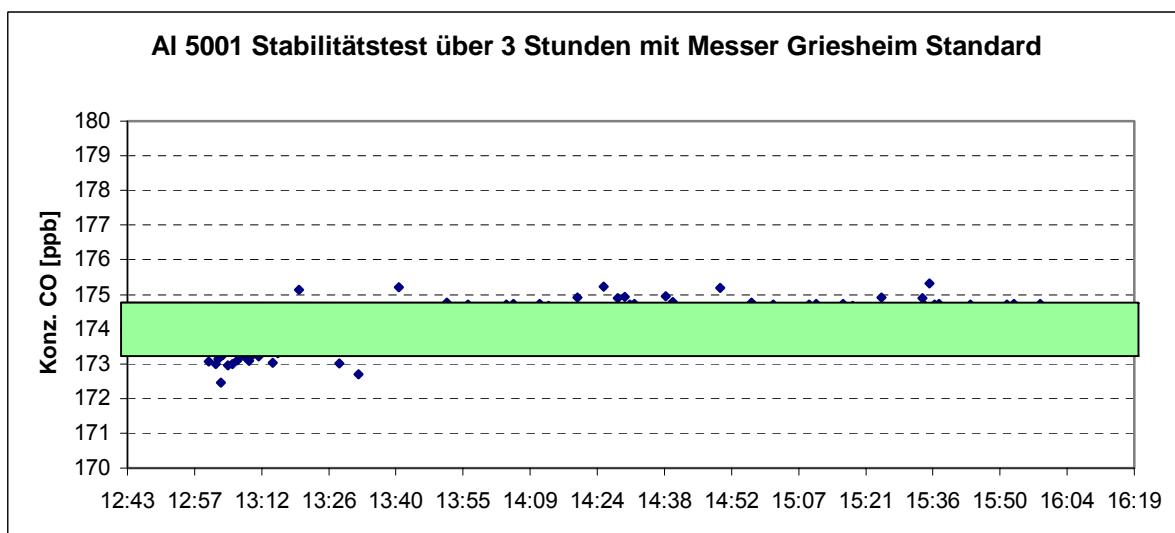


Abbildung 134: Standardmessungen über einen Zeitraum von 3 Stunden (Halbminutenmittelwerte)

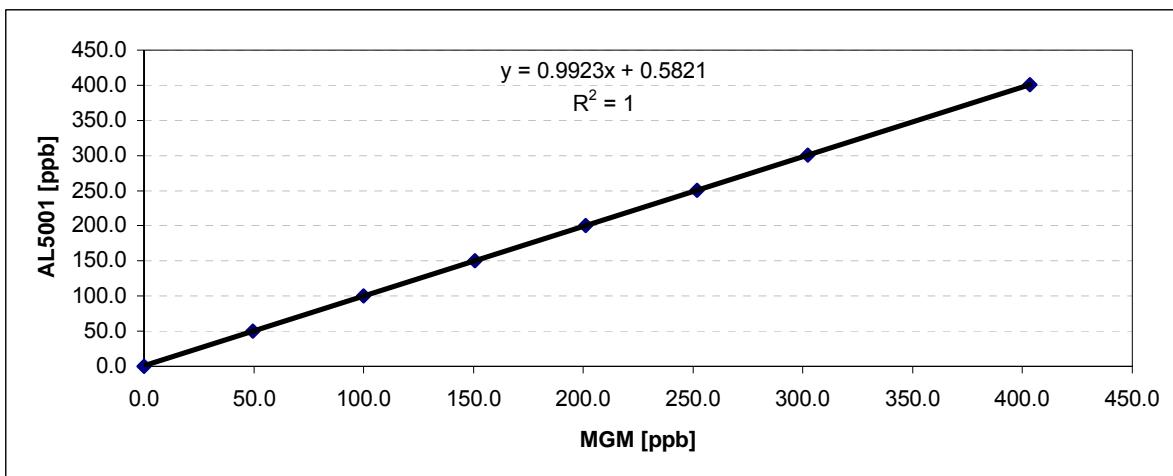


Abbildung 135: Linearitätstest im Bereich 0 – 400 ppb

### 3.4.4.4 Wartungsaufwand

Das Instrument ist jetzt knapp 2 Jahre im Einsatz. In dieser Zeit kam es 3-mal zu Ausfällen auf Grund von Defekten einzelner Komponenten. Im Rahmen einer dieser Reparaturen wurde eine Reinigung optischer Komponenten durchgeführt. Diese Wartungsarbeit muss ca. 1 mal jährlich durchgeführt werden. Ansonsten ist nur der regelmäßige Wechsel der Trockenvorlage für den Permeationstrockner und der Flaschenwechsel der Arbeitsgase notwendig.

Der Gasverbrauch für das Arbeitsgas (Ar mit 0.25 Vol% CO<sub>2</sub>) der Gasentladungslichtquelle beträgt ca. 10 ml/min, eine 50 l Flasche reicht somit für ca. 1,5 Jahre. Der Stickstoff 6.0 Verbrauch liegt in der gleichen Größenordnung.

### 3.4.5 Außenluftmessungen

Die Messstelle Schauinsland des Umweltbundesamtes ist eine typische Mittelgebirgsstation im südlichen Schwarzwald. Sie befindet sich auf dem Bergrücken des Schauinslandes oberhalb des Rheintals in 1205 m Höhe. Während nächtlicher und winterlicher Inversionen im Rheintal verbleibt die Station meist oberhalb der Inversionsschicht, so dass gut durchmischte sogenannte „kontinentale Reinluft“ dort gemessen werden kann.

Die CO-Background-Konzentrationen zeigen einen ausgeprägten Jahreszyklus, mit einem Maximum in den Wintermonaten und einem Minimum im Sommer. Dieser jahreszeitliche Variation wird hauptsächlich durch die Konzentration der OH-Radikale bestimmt, der Hauptsenke für CO, die in den Sommermonaten maximal ist. Gleichzeitig sind die anthropogenen Quellen im Winter etwas stärker. Diese jahreszeitliche Wechsel lässt einen sinusförmigen Verlauf erwarten, der sich aber auf Grund lokaler Einflüsse und der noch sehr kurzen Zeitreihe vom Schauinsland bisher nur angenähert zeigt. Im Vergleich zu den Messungen des Observatoriums Hohenpeissenberg des Deutschen Wetterdienstes zeigt sich, dass sowohl die Monate mit den Minimalkonzentrationen als auch die Zeiten mit maximalen CO Werten gut mit den Werten vom Schauinsland übereinstimmen (Abbildung 136).

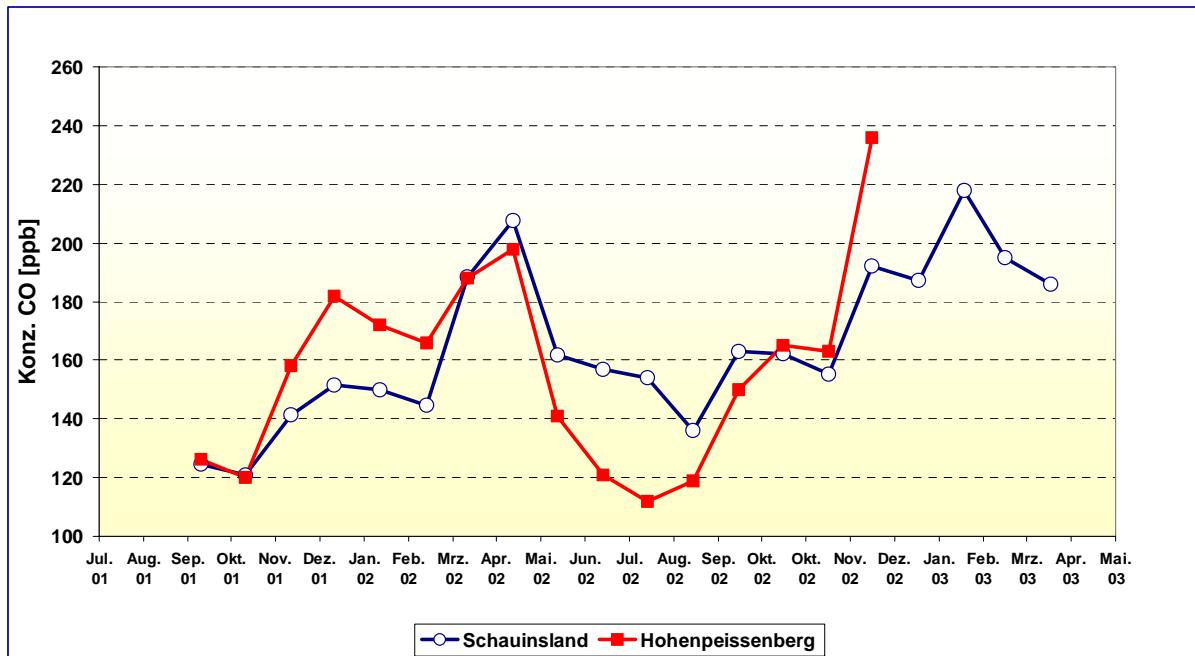


Abbildung 136: Verlauf der CO-Monatsmittelwerte auf dem Schauinsland und dem Hohenpeißenberg für Juli 2001 bis April 2003

Der mittlere Tagesgang zeigt, dass die niedrigsten CO-Konzentrationen in den Nacht- und Morgenstunden auftreten (Abbildung 137). Ab der Mittagszeit steigen die Konzentrationen an, erreichen am Abend das Maximum und sinken in der Nacht wieder ab. Diese Charakteristik ist sowohl in den Sommer- als auch in den Wintermonaten sichtbar. Die Amplitude der Variationen liegt bei ca. 30 ppb. Der Grund für diesen ausgeprägten Tagesgang ist auf lokale Einflüsse zurückzuführen. Um die Mittagszeit lösen sich im Winter oftmals die Inversionsschichten auf, im Sommer bilden sich Berg-Talwindsysteme aus, die verschmutzte Luft aus dem Rheintal und dem Dreisamtal nach oben transportieren.

Gegenüber den Hintergrundkonzentrationen erhöhte CO-Werte können ihre Ursache in lokalen oder überregionalen Ereignissen haben. In den Wintermonaten korrelieren solche Episoden deutlich stärker mit erhöhten Stickoxidkonzentrationen als in den Sommermonaten. Die bessere Korrelation zwischen CO und NO<sub>2</sub> kommt wahrscheinlich daher, da im Winter beide Gase stabil sind, während im Sommer das NO<sub>2</sub> im Gegensatz zum CO sehr schnell abreagiert (Abbildung 138a und b).

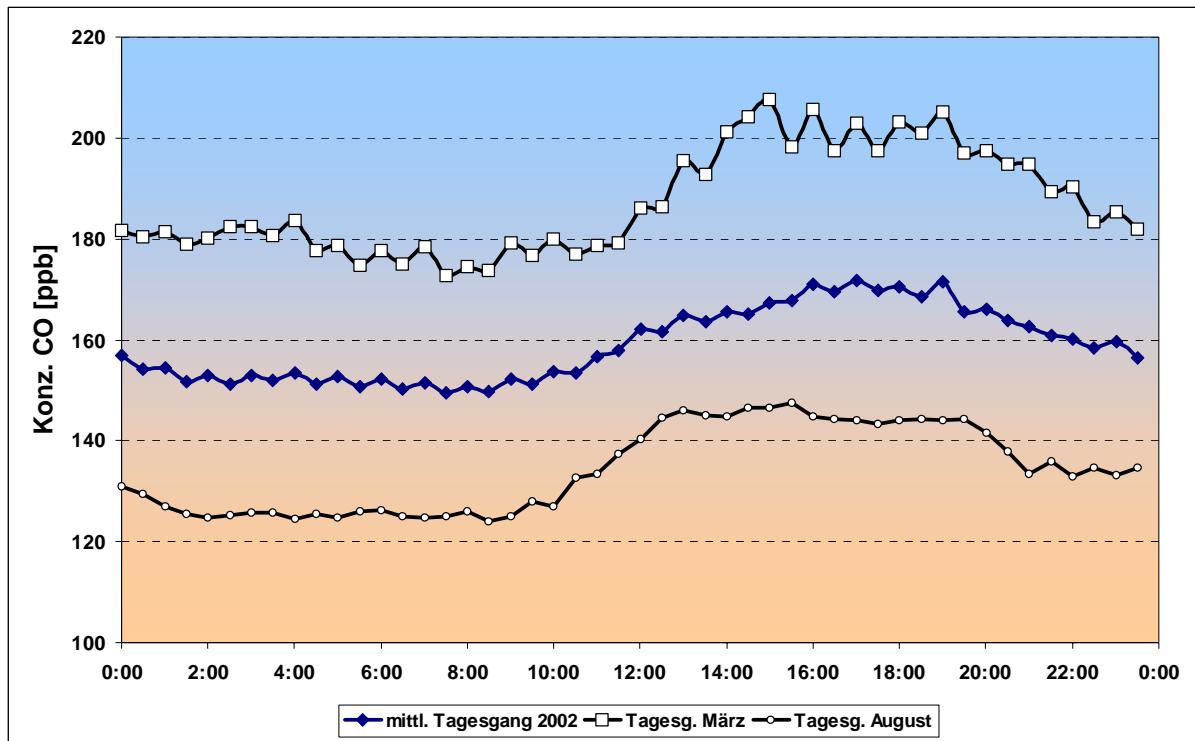


Abbildung 137: Mittlerer Tagesgang von CO an der Messstelle Schauinsland

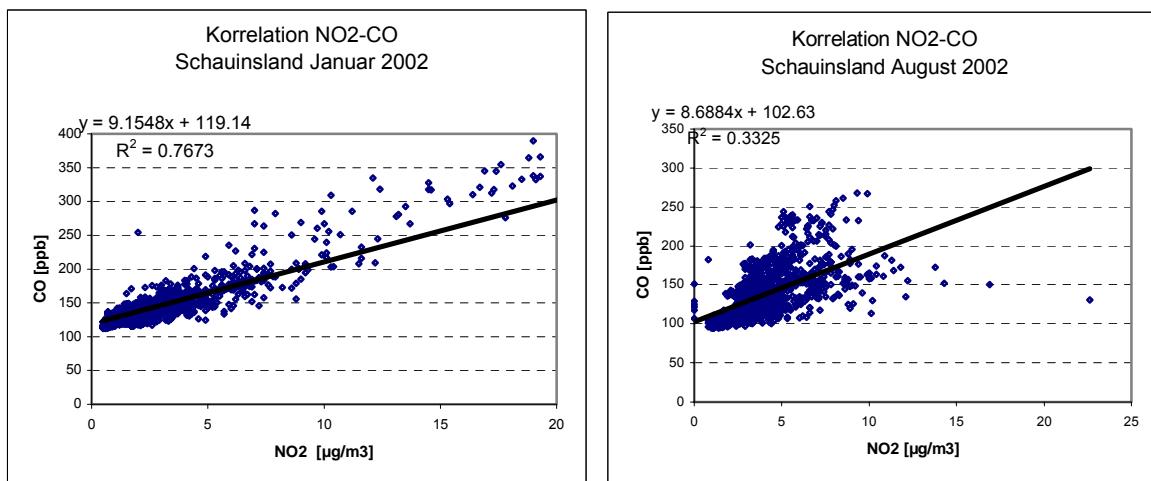
Abbildung 138a und b: CO und N<sub>2</sub>O Korrelation der Halbstundenwerte im Januar und August.

Abbildung 139 zeigt beispielhaft den Verlauf zweier typischer Episoden mit Luftverunreinigungen aus lokalen Quellen. Die erste Episode vom 5.12. bis 10.12.2002 korrespondiert mit Windrichtungen zwischen 300° und 60°. Das ist genau der Windrichtungssektor, in dem Freiburg und das mit reaktiven Gasen stärker belastete Rheintal liegen. Dadurch erhöht sich die gemessene CO-Konzentration stark gegenüber den Hintergrundkonzentrationen. Auch die Stickoxidkonzentrationen sind erhöht, allerdings mit einem ausgeprägtem Tagesgang. Demgegenüber sind die PAN-Konzentrationen (Peroxyacetylinitrat) in diesem Zeitraum niedrig, da PAN ein sekundärer Luftschadstoff ist, dessen Vorläufer aus anderen, meist entfernten Quellen stammen als NOx und CO.

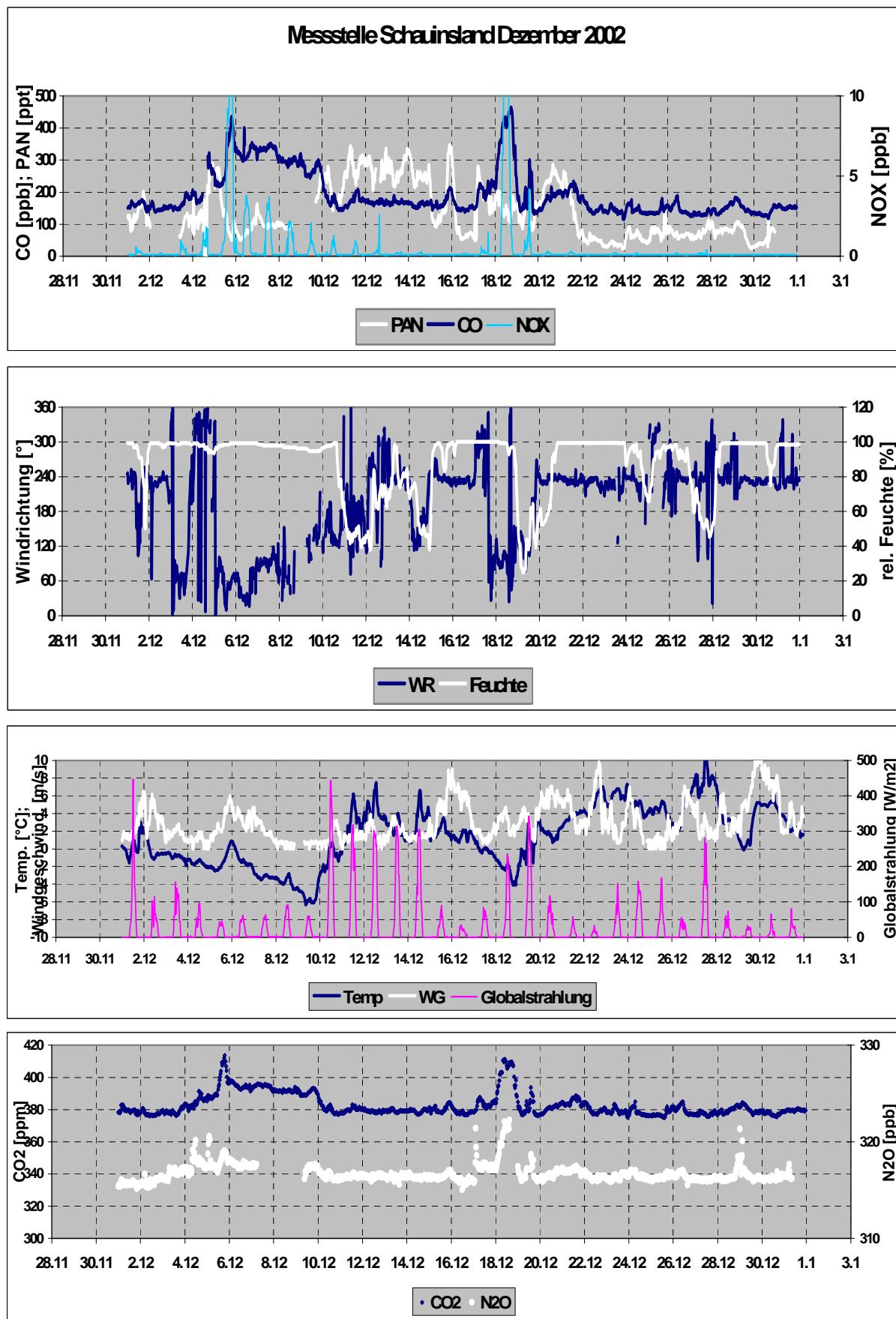


Abbildung 139: Episoden lokal verursachter Luftverunreinigung im Dezember 2002 an der Messstelle Schauinsland

Die meteorologischen Parameter zeigen, dass in diesem Zeitraum eine hohe Luftfeuchtigkeit und niedrige Globalstrahlungswerte, verknüpft mit sinkenden Temperaturen, aufgetreten sind. Die Windgeschwindigkeit war zu Beginn der Episode niedrig (ca. 1 m/s) und ist zum Ende hin stark aufgefrischt. All das sind Indizien dafür, dass sich die Station zu diesem Zeitpunkt unterhalb der Inversionsschicht befunden hat. Die Klimagasmessungen zeigen in diesem Zeitraum gegenüber den Backgroundkonzentrationen erhöhte Werte.

Die zweite Episode lokal verursachter Luftverunreinigung ist vom 18.12. bis 19.12.2002, mit einem Verlauf der Windrichtung von Nord auf Ost drehend. Auch diese Episode zeigt durch lokale Beeinflussung stark erhöhte CO- und NOx-Konzentrationen bei niedrigen PAN-Werten. Die meteorologischen Größen verhalten sich ähnlich wie zur ersten Episode und auch hier zeigt sich, dass durch das Ansteigen der Mischungsschicht verschmutzte Luft in größere Höhen transportiert worden ist.

### **3.4.6 Literatur zu Kapitel 3.4**

- (1) Volz, Andreas, Kley Dieter: *A Resonance-Fluorescence Instrument for the In-Situ Measurement of Atmospheric Carbon Monoxide*. *Journal of Atmospheric Chemistry* 2 (1985), S. 345-357
- (2) NOAA/CMDL cooperative air sampling network: Website: [www.cmdl.noaa.gov](http://www.cmdl.noaa.gov)
- (3) Novelli, Paul C.: *CO in the atmosphere: measurement techniques and related issues*. *Chemosphere Global Change Science* 1, 1999, S. 115-126.
- (4) Gerbig, Christoph: *An improved fast-response vacuum-UV resonance fluorescence CO instrument*. *Journal of Geophysical research* 1999, Vol. 104 S. 1699-1704.
- (5) Gros, Valerie: *Characterisation of pollution events observed at Schauinsland Germany, using CO and its stable isotopes*. *Atmospheric Environment* 36 2002, 2831-2840
- (6) Gilge, Stefan: *Kohlenmonoxid: Ein wichtiges Spurengas in der Troposphäre*. DWD GAW Brief März 2001.
- (7) Gros, Valerie: *Atmospheric carbon monoxide ,in situ' monitoring by automatic gas chromatography*. *Chemosphere* 1 1999, S. 153-161.

## 4. ZUSAMMENFASSUNG

1. Im vorliegenden Jahresbericht werden die Ergebnisse aus dem Luftmessnetz des Umweltbundesamtes für das Jahr 2002 vorgestellt und mit den Ergebnissen aus früheren Jahren verglichen. Daneben enthält der Bericht längere Übersichtsartikel zu speziellen Umweltproblemen von aktuellem Interesse wie beispielsweise zum Nordhemisphärischen Ozontransport, den Ozonmessungen auf der Zugspitze, den Kohlendmonoxidmessungen auf dem Schauinsland sowie zu der Ozonepisode im Juni 2002. Das Messnetz besteht heute aus 23 in ländlichen Gebieten gelegenen Stationen, wovon 9 personell besetzt und 14 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 – außer wenn darauf hingewiesen wird, wie z.B. bei der Umstellung von Gesamtstaub auf  $PM_{10}$ -Messungen oder bei der Verbesserung von Messverfahren. Außerdem wurden die Daten einer eingehenden Qualitätsprüfung unterzogen, sowohl intern als auch bei internationalen Vergleichen der Analysenverfahren.

### 4.1 Gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen

3. Nachdem in den Vorjahren ein stetiger Rückgang der  $SO_2$ - und Staubkonzentrationen ( $PM_{10}$ ) seit Beginn der Messungen Ende der 60er Jahre (Staub) bzw. seit Anfang der 70er Jahre ( $SO_2$ ) beobachtet werden konnte, stagnierten die Werte in 2002 auf diesem niedrigen Niveau bzw. stiegen wieder leicht an. Beim Feinstaub waren dafür die Osterfeuer, verbunden mit einer speziellen meteorologischen Situation sowie eine spezielle Witterungsphase im Dezember verantwortlich. Insgesamt haben die Jahresmittel der  $SO_2$ -Konzentrationen jedoch zwischen Mitte der 80er Jahre und 2002 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  $SO_2$  und Feinstaub an den ländlichen Stationen im UBA-Messnetz wie bereits in 2002 kaum noch zurückgehen, da sie in zunehmendem Maße durch den Ferntransport bzw. durch natürliche Emissionen bestimmt werden.
4. Im Gegensatz zu  $SO_2$  ist die  $NO_x$ -Belastung an den UBA-Stationen während der letzten 2 Jahrzehnte nur leicht zurückgegangen. Der Rückgang der  $NO_2$ -Konzentrationen ( $NO_x$  liegt an den UBA- Messstellen weitgehend als  $NO_2$  vor) verläuft insgesamt langsamer als die erhebliche Reduzierung der  $NO_x$ -Emissionen in Deutschland um mehr als 40% zwischen Mitte der 80er Jahre und 2002. Wesentliche Gründe für die gegenüber den Emissionen relativ langsamere Abnahme der Konzentrationen dürften hohe Beiträge aus dem Ferntransport sowie die Nichtberücksichtigung der  $NO_x$ -Emissionen aus gedüngten und ungedüngten Böden in den UBA-Emissionsinventaren sein.

5. Im Jahre 2002 wurden die höchsten Ozon-Stundenwerte im UBA-Messnetz an den Stationen Raisting ( $204 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Schauinsland ( $203 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Schorfheide ( $202 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und Falkenberg ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) im Juni, Juli und August beobachtet. Zum Vergleich: Der höchste Ozonwert in Deutschland wurde mit  $292 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an der Station Gießen in Hessen 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 3.3). Trotz der episodenhaft auch im Jahre 2002 aufgetretenen hohen Ozonwerte sind die Ozonspitzenwerte insgesamt an den Stationen im UBA-Messnetz zwischen 1990 und 2002 deutlich zurückgegangen, ähnlich wie auch an den Stationen der Länder. Dagegen haben die Jahresmittelkonzentrationen im gleichen Zeitraum zugenommen (Näheres zu den Ursachen für diese Ozontrends in Kap. 3.1 und 3.2). Angesichts der Zunahme der Ozon-Mittelwerte verwundert es nicht, dass im Gegensatz zu der erfreulichen Entwicklung bei den Ozon-Spitzenwerten bei den dosisbezogenen Langfristzielwerten für den Schutz von Vegetation (AOT40) in den letzten Jahren keine Verbesserung der Situation eingetreten ist, da diese dosisbezogenen Werte vor allem durch die mittleren Ozonkonzentrationen bestimmt werden und nicht so sehr durch die Spitzenwerte. Auch im Jahre 2002 wurde an fast allen UBA-Stationen der EU-Langfristzielwert zum Schutz der Vegetation von  $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$  (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 2002 an 2 (Lehmühle) bis 52 bzw. 51 (Brotjacklriegel und Schauinsland) Tagen überschritten worden ist.
6. 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 und der Zugspitze. Für diese 4 Stationen ergaben sich ähnliche Konzentrationsmuster, wobei 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 - vor allem auf dem Brotjacklriegel und in Zingst, was auf die unterschiedlichen Baumarten im Umfeld der Stationen zurückzuführen ist.
7. Seit dem Jahr 2000 werden zusätzlich zu den VOC an diesen 4 Stationen (Zingst, Waldhof, Schmücke und Brotjacklriegel) auch Carbonyle gemessen. In diesem Bericht werden die Konzentrationen für Formaldehyd, Acetaldehyd und Aceton von Januar 2000 bis Dezember 2002 dargestellt. Die Konzentrationsverläufe für die einzelnen Komponenten sind an den 4 Stationen meist sehr ähnlich, die Werte vom Brotjacklriegel liegen jedoch für Formaldehyd und vor allem Acetaldehyd deutlich niedriger.
8. 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 2002 zwar zurückgegangen, der zunehmende Trend der Konzentrationen hat sich aber erwartungsgemäß fortgesetzt. Beim Kohlendioxid betrug die Zunahme zwischen 1972 bis 2002 etwa 1.5 ppm/Jahr (0.4%/Jahr, Mittel über 5 Stationen). Am Schauinsland betrug die Zunahme für Methan zwischen 1992 und 2002 im Mittel etwa 4 ppb/Jahr (0.2%/Jahr), für  $\text{N}_2\text{O}$  zwischen 1996 und 2002 etwa 0.6 ppb/Jahr (ca. 0.2 %/Jahr). Die Messreihe von Schwefelhexafluorid

(SF<sub>6</sub>), dass seit Ende 2000 auf dem Schauinsland gemessen wird, ist für Trendaussagen noch zu kurz.

9. Die Summen der Stickstoffkomponenten  $\sum \text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$  sowie  $\sum \text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$ , die seit 2000 an einigen Messstellen im UBA-Messnetz mittels Filterpack-Methode in Luft und Schwebstaub gemessen werden, zeigen zur Zeit der Osterfeuer im März/April 2002 ähnlich wie die Feinstaubkonzentrationen vor allem an den norddeutschen Stationen Zingst und Westerland ihre Maxima. Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und Sulfat im Feinstaub (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), die mit der gleichen Methode erfasst werden, bleiben davon weitestgehend unbeeinflusst.

## 4.2 Ionen im Niederschlag und Meteorologie

10. 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.
11. Auch im Jahre 2002 hat sich der seit 1982 beobachtete Rückgang der Ionenkonzentrationen einiger Ionen wie beispielsweise H<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> und NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in Deuselbach fortgesetzt, in Waldhof stiegen sie wieder leicht an. Zwischen 1982 und 2002 sind im Mittel über die Stationen Deuselbach und Waldhof die Konzentrationen von H<sup>+</sup> um ca. 75% zurückgegangen, Sulfat um ca. 60% sowie Nitrat um knapp 27%. Der Rückgang der Konzentrationen von Ammoniumionen betrug zwischen 1984 und 2002 etwa 23%. Bezuglich der Langzeitrends von Kalium, Natrium und Chlorid wurden nur Reduktionen zwischen 20 und 60% beobachtet nur für Magnesium wurde eine leichte Erhöhung gemessen.
12. Die Abnahme des Gesamtgehaltes an Ionen im Regenwasser während der letzten zwei Jahrzehnte war verbunden mit einer Änderung der relativen Ionverteilung. Im Jahre 2002 waren die prozentualen Anteile von H<sup>+</sup> und SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> geringer, die relativen Ionenäquivalente von NO<sub>3</sub><sup>-</sup> und NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dagegen höher als 1984.
13. 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.
14. Temperaturen, Sonnenscheindauer und relative Luftfeuchte entsprachen in 2002 meist den langjährigen Durchschnittswerten. Die Niederschlagsmengen – vor allem im August, wo es an Elbe, Donau und Moldau zu Hochwasserkatastrophen kam – waren jedoch in vielen Gebieten überdurchschnittlich. Auch die Anzahl der Regentage war z.T. über der Norm. Die Windgeschwindigkeiten waren eher unterdurchschnittlich.

## 4.3 Spezielle Umweltprobleme (Kapitel 3)

### 4.3.1 Beiträge des nordhemisphärischen Transportes von Ozon und Feinstaub zu den Luftqualitätsstandards in Deutschland

15. Seit in Europa und Nordamerika die Spitzenbelastungen auch von Ozon und Feinstaub aufgrund der Emissionsreduzierungen zurückgehen, treten – vor allem für Ozon – die nordhemisphärischen Hintergrundkonzentrationen weiter in den Vordergrund. Der Beitrag des interkontinentalen Transportes dieser Luftverunreinigungen zu den nordhemisphärische Hintergrundkonzentrationen wird auch weiterhin zunehmen. Dies ist auch besonders im Hinblick auf die verschärften Luftqualitätsstandards zu berücksichtigen, da diese Hintergrundbelastungen durch emissionsmindernde Maßnahmen in Deutschland allein nicht unterschritten werden können.
16. Die Ozonvorläufer ( $\text{NO}_x$ , VOC,  $\text{CH}_4$  und CO) haben sich seit der vorindustriellen Zeit mehr als verdoppelt. Die globale nordhemisphärische Ozonbildung ist weitgehend  $\text{NO}_x$ -kontrolliert. Die Emissionsreduktionen von  $\text{NO}_x$  in Europa und Nordamerika werden durch die Emissionszunahmen in Asien überkompensiert. Dies gilt auch für Feinstaubemissionen.
17. Die räumliche und zeitliche Verteilung des Feinstausbs ist wesentlich heterogener als die des Ozons und wird vor allem durch Episoden mit verstärkten Transporten wie z.B. Saharastaub-Episoden oder nach den Waldbränden bei Moskau geprägt.
18. Ozon, Ozon-Vorläufersubstanzen und Feinstaub aus den bodennahen Schichten werden vor allem durch meteorologische Transportprozesse in die freie Troposphäre gepumpt. Dort steigt die Lebensdauer von Ozon und Feinstaub von wenigen Tagen auf einige Wochen bis Monate. So können beide Stoffe über lange Strecken transportiert werden und mehrmals um die Nordhalbkugel zirkulieren, bevor sie durch quasi-kontinuierliche Absinkprozesse wieder in die bodennahen Schichten heruntergemischt werden.
19. Windrichtungsabhängige Ozonauswertungen der Messwerte der UBA-Küsten-Station Westerland und der Westirischen Küstenstation Mace Head haben ergeben, dass die nordhemisphärischen Ozon-Hintergrundkonzentrationen auf den gemäßigten Breiten der Nordhalbkugel zwischen 30 und 40 ppb liegen. Der stratosphärische Beitrag dazu liegt im Sommer bei ca. 15% und im Jahresmittel bei ca. 25%.
20. Erste Abschätzungen zur Höhe der Beiträge aus Europa, Nordamerika und Asien zum bodennahen Ozon und Feinstaub gehen vor allem aufgrund von Problemen bei den Emissionsabschätzungen z.T. weit auseinander. Nach dem 3D-CT-Modell STOCHEM liegen die Beiträge zu den Ozon-Jahresmittelkonzentrationen in Waldhof aus Europa bei ca. 50%, Nordamerika bei ca. 25% und aus Asien bei ca. 15%. Im Sommer dominieren die Beiträge aus Europa, in den Wintermonaten sind die außereuropäischen Beiträge beträchtlich.

21. Eine solche Abschätzung für Feinstaub ist noch wesentlich schwieriger. Lediglich Transport-Episoden wie z.B. nach Sandstürmen in der Wüste Gobi oder der Sahara sind bisher gut dokumentiert.
22. Abschätzungen des nordhemisphärischen Ozon-Langzeittrends ergeben meist eine Zunahme von 0.3 bis 0.5 ppb/Jahr. Erste, grobe Modellrechnungen haben ergeben, dass die effektivste Ozon-Minderung durch globale NO<sub>x</sub>-Emissions-Reduktionen erreicht werden kann.
23. Für Feinstaub sind solche Abschätzungen noch unsicherer. Es zeichnet sich jedoch ab, dass der interkontinentale Transport nur bei selten vorkommenden Episoden eine dominante Rolle spielt. Nach den drastischen Emissions-Reduktionen werden in Zukunft die Feinstaubkonzentrationen in Deutschland zunehmend durch natürliche Emissionen und den innereuropäischen Ferntransport bestimmt.

### **4.3.2 Ozonmessungen auf der Zugspitze**

24. Seit Mai 1999 bildet die Messstelle Zugspitze im Schneefernerhaus in 2650 m Höhe, die vom Umweltbundesamt gemeinsam mit dem Deutschen Wetterdienst betrieben wird, zusammen mit der Messstelle Hohenpeißenberg des DWD die globale GAW-Station (Global Atmosphere Watch) Zugspitze. Von 1978 bis 2002 wurden die Messungen vom Fraunhofer Institut auf dem Gipfel der Zugspitze durchgeführt – seit 1995 im Auftrag des UBAs. Das im Aufbau befindliche Messprogramm von UBA und DWD umfasst chemisch reaktive und klimarelevante Spurengase, meteorologische Parameter sowie Radionuklide.
25. Die mittleren Tages- und Jahresgänge von Ozon sind auf der Zugspitze - im Gegensatz vor allem zu einer Stadtstation – kaum ausgeprägt und liegen im Konzentrationsniveau über allen anderen Stationen, auch über dem in 1250 m Höhe gelegenen Schauinsland. Der Grund für die geringen Konzentrationsunterschiede zwischen Tag und Nacht sowie zwischen Sommer und Winter liegen vor allem an der geringen Beeinflussung durch lokale Emissionsquellen wie vor allem durch Stickoxide, die Ozon sowohl auf- als auch abbauen. Die maximalen Konzentrationen treten zwischen Mai und Juli auf.
26. Die mittleren Tagesgänge im Sommer zeigen auf der Zugspitze ein schwaches Ozonminimum in den frühen Nachmittagsstunden während tiefer gelegene Stationen in den Nachmittagsstunden ein mehr oder weniger ausgeprägtes Maximum aufweisen. Ähnliche Tages- und Jahresgänge werden auch auf den alpinen GAW-Stationen Sonnblick in Österreich und Jungfraujoch beobachtet.
27. Zur Eliminierung zumindest lokaler Einflüsse wurde mit Hilfe von CO und NO<sub>x</sub> als Tracern für Luftverunreinigungen eine Filterung für die Zugspitz-Werte angewendet. In den Monaten November bis März liegen die gefilterten Werte etwas unterhalb der ungefilterten. Für Westerland wurden zur Darstellung der monatlichen Tagesgänge nur die Werte verwandt, die bei Windrichtungen von See kommend gemessen wurden. Die so erhaltenen Kurven werden hauptsächlich durch das Hintergrundozon geprägt. Die

Zugspitze liegt häufig innerhalb der freien Troposphäre, der Transportschicht u.a. für Ozon. Dies erklärt das erhöhte Konzentrationsniveau.

28. Untersuchungen des Langzeitrends des Hintergrundozons für die Zugspitze ab 1978 und den Hohenpeißenberg ab 1967 (Ballonsondierungen aus ca. 3000 m Höhe) zeigen einen Anstieg bis Mitte/Ende der 80er Jahre, danach eine Stagnation bzw. einen leichten Rückgang seit den 90er Jahren.

### **4.3.3 Die Ozonepisode in Deutschland im Jahr 2002**

29. In Deutschland sowie in einigen Nachbarstaaten wie z.B. Österreich, Schweiz und Großbritannien habend die Ozonspitzenkonzentrationen zwischen 1990 und 2002 deutlich abgenommen, die Jahresmittel-Konzentrationen stiegen im gleichen Zeitraum jedoch an. Vor allem Überschreitungen von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  konnten deutlich reduziert werden. Dies ist auf die Minderung der Ozonvorläufer  $\text{NO}_x$  und VOC in Deutschland und den Nachbarstaaten zurückzuführen.
30. Aufgrund des ständig wechselnden Witterungsverlaufes konnten im Sommerhalbjahr 2002 keine ausgeprägten und länger anhaltenden Ozonepisoden entstehen. So gab es in 2002 nur eine Ozonepisode mit Konzentrationen über  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Diese trat zwischen dem 17. und 19. Juni in Nordrhein-Westfalen und Hessen während eines vom Mittelmeerraum kommenden Hochdruckgebietes auf.
31. In dieser Zeit waren die meteorologischen und emissionsseitigen Voraussetzungen für das Auftreten hoher Ozonkonzentrationen gegeben: Trajektorien-Auswertungen zeigen, dass die Luftmassen während einer mehrere Tage andauernden Schönwetterperiode mit Temperaturen bis zu  $37^\circ\text{C}$  aus südwestlichen bis südlichen Richtungen über Gebiete mit hoher Emissionsdichte von Ozonvorlängersubstanzen herantransportiert worden waren.

#### **4.3.4 Kohlenmonoxidmessungen an der Messstelle Schauinsland - Erfahrungen und Ergebnisse mit dem Resonanz-Fluoreszenz Verfahren**

32. Seit August 2001 werden auf dem Schauinsland Kohlenmonoxid-Messungen mittels dem optischen Resonanzfluoreszenz-Verfahren mit dem Gerät AL5001 der Fa. Aero Laser durchgeführt. In dieser Zeit hat sich dieses Messgerät im operativen Einsatz zur Messung der CO-Background-Belastung gut bewährt.
33. Kohlenmonoxid als Hauptsenke für das OH-Radikal, der stärksten Oxidationsquelle in der Atmosphäre, beeinflusst eine Vielzahl luftchemischer Abbau- und Bildungsprozesse. Die primäre CO-Quelle ist die Verbrennung von Biomasse und fossilen Energieträgern.
34. Die Ermittlung der Stabilität und Präzision des Verfahrens an Hand von Standardgasmessungen ergab einen Wert <0.5% für beide Größen, bei gemessenen Standardkonzentrationen von 500 und 1000 ppb. Die Richtigkeit des Verfahrens wurde mit 3 NOAA/CMDL Standards mit einer zertifizierten Restunsicherheit von 1% überprüft. Bei 2 Tanks lag die gemessene Abweichung vom Sollwert innerhalb der angegebenen Toleranz. Verdünnungsversuche zeigen einen streng linearen Zusammenhang des Verfahrens im Bereich 0 - 400 ppb.
35. Die bisher durchgeführten CO-Messungen am Schauinsland sind im Vergleich mit anderen Backgroundstationen plausibel und zeigen angenähert den erwarteten Verlauf des Jahresgangs. Auf Grund der topographischen Lage der Station ergibt sich ein ausgeprägter Tagesgang, der sich sowohl in den Sommer- als auch in den Wintermonaten zeigt. Die maximalen CO-Konzentrationen werden im Spätwinter bzw. Frühfrühling mit Monatsmittelwerten um 200 ppb erreicht. Im Sommer treten Minimalkonzentrationen von 120 - 130 ppb auf.

## 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 2002 and compared to results of previous years. Furthermore, the report contains review articles on specific environmental topics of common interest (for example on northhemispheric ozone transport, ozone monitoring on Zugspitze, carbonmonoxide monitoring on Schauinsland or the ozone episode in Germany in June 2002). 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 altered over the years except if explicitly pointed out like the change over from total particulate matter to  $PM_{10}$  for example or the improvement of monitoring methods. All data were subject to a comprehensive internal quality control and analytical techniques were validated by external international intercomparisons.

### 5.1 Gaseous pollutants and particulate matter

3. After years of constant decrease annual concentrations of  $SO_2$  and fine particulate matter ( $PM_{10}$ ) at most sites since the beginning of measurements in the late 1960s (particles) and the beginning of the 1970s ( $SO_2$ ) respectively, concentrations stagnated in 2002 on this very low level or increased slightly. In the case of fine particles the increase was caused by the habit of lighting fires during Easter time in the northern part of Germany and special meteorological conditions in December. The strongest decline was observed over the last two decades mainly as a result of emission reductions in Germany. As an example,  $SO_2$ -concentrations have declined by more than 90% between the mid 1980s and 2002. The corresponding decrease of  $PM_{10}$ -concentrations was about 50%.  $SO_2$  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  $SO_2$  and  $PM_{10}$  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  $SO_2$  and  $PM_{10}$  concentrations of  $NO_x$  have only slightly decreased over the past two decades.  $NO_x$  consists to an overwhelming extent of  $NO_2$  at the monitoring sites of the FEA. In general, the decline of  $NO_2$  concentrations was smaller than the considerable emission reduction in Germany by more than 40% between the mid 1980s and 2002.
5. In 2002 highest ozone peak concentrations (1-h-means) in the FEA network were observed in Raisting ( $204 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Schauinsland ( $203 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Schorfheide ( $202 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and Falkenberg ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in June, July and August. For comparison: the highest

hourly ozone concentration in Germany in 2002 was 292 µg/m<sup>3</sup> in Gießen (Hesse). 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 the ozone episode in 2002 ozone peak concentrations in Germany have generally declined between 1990 and 2002. 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). Contrary to this trend development for ozone peak values versus mean concentrations. This is not surprising since 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 µg/m<sup>3</sup>, 8-h-mean) and especially for vegetation (AOT40: 3000 ppb h or 6000 µg/m<sup>3</sup> 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 µg/m<sup>3</sup>, 8-h-mean) this value was exceeded in 2002 between 2 days (Lehnsmühle) and 52 days (Brotjacklriegel) or 51 days (Schauinsland). As in previous years the long-term objective for protection of vegetation (3000 ppb h) was also exceeded in 2002 at almost all sites

6. Since 1998 27 VOCs have been measured in Waldhof (Lüneburg Heath) and Schmücke (Thuringian Forest), since January 2000 also at Zingst (Baltic Sea), Brotjacklriegel (Bavarian Forest) and the GAW-Station Zugspitze. Concentration pattern of the 27 VOCs were quite similar for the 4 stations in 2000 and 2002. For naturally emitted VOCs (for example isoprene) concentrations were highest in summer whereas VOCs of mainly anthropogenic origin showed maximum concentrations during winter time.
7. At those 4 sites Zingst, Waldhof, Schmücke and Brotjacklriegel carbonyle monitoring is carried out additionally. In this report concentrations for formaldehyde, acetaldehyde and acetone are given. Concentration courses are very similar at all 4 sites, concentration levels for formaldehyde and acetaldehyde especially are much lower at Brotjacklriegel compared to the other 3 sites.
8. As expected, concentrations of the greenhouse gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O have continued to rise in spite of emission reductions in Germany between 1990 and 2002. The mean CO<sub>2</sub> increase rate was ca. 1.5 ppm/year (0.4%/year, mean rate for 5 sites) between 1972 and 2002. At Schauinsland the increase rate was ca. 4 ppb/year (0.2%/year) for methane (1992 – 2002) and ca. 0.6 ppb/year (ca. 0.2%/year) for N<sub>2</sub>O (1996 – 2002).
9. The sums of nitrogen compounds such as  $\Sigma\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$  and  $\Sigma\text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$ , which are measured at a few sites since 2000 applying filterpack method, show – like the concentrations of fine particles – an increase during Easter time due to the habit of Easter fires in the northern part of Germany especially in Zingst and Westerland. Sulfurdioxide and sulfat in particles, which are monitored with the same method were hardly influenced by this.

## 5.2 Ions in precipitation and meteorology

10. In the FEA network both “daily - bulk” and weekly “wet -only” precipitation 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.
11. In 2002 the declining trend of the concentrations of some ions in precipitation (for example H<sup>+</sup>, sulfate, nitrate) has continued in Deuselbach whereas concentrations in Waldhof rose again slightly. Between 1982 and 2002 the average concentrations (mean values for Deuselbach and Waldhof) of H<sup>+</sup> has declined by ca. 75%, the corresponding decrease of sulfate was about 60% and that of nitrate was nearly 30%. For ammonium the decline was ca. 23% between 1984 and 2002. Concerning long-term trends of potassium, calcium, sodium and chloride an decrease between 20 and 60% was observed. Only for magnesium a slight increase was measured.
12. 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<sup>+</sup> and SO<sub>4</sub> were lower in 2002 as compared to 1984. On the other hand, the relative equivalent concentrations of NO<sub>3</sub> and NH<sub>4</sub> were higher in 2002 than in 1984 although their absolute concentrations have also decreased.
13. 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.
14. In 2002 temperatures, sunshine duration and relative humidity were mostly comparable to the long-term means. Precipitation, however was in many regions far above average - especially in August, when at Elbe, Danube and Moldau a flood disaster occurred. The amount of days with precipitation was above average as well. In most regions windspeed was below long-term averages.

## **5.3 Specific environmental topics (chapter 3)**

### **5.3.1 Fractions of Northern hemispheric background ozone and fine particle transport to air quality standards in Germany**

15. Since the decline of peak ozone and particles concentrations caused by decreasing emissions, the Northern hemispheric background concentrations of ozone and fine particles gained in importance. The contribution of this intercontinental transport will even rise in the future. In order to meet the stringent air quality standards this global contribution must be taken into account, since these background levels cannot be reduced by emission reduction measures in Germany only.
16. Ozone precursors like NO<sub>x</sub>, VOC, CH<sub>4</sub> and CO more than doubled since the pre-industriell period. The global Northern hemispheric ozone formation is mostly controlled by NO<sub>x</sub>. Emission reductions of NO<sub>x</sub> in Europe and Northern America are dominated by emission increase in Asia. This is also true for fine particles.
17. The temporal and spatial distribution of fine particles is much more heterogeneous than for ozone and is mostly dominated by episodes of pronounced particle transport from Sahara or after the forest fires in Moscow.
18. Ozone, ozone precursors and fine particles of the ground level are transported into the troposphere by meteorological means. There the durability of ozone and fine particles rises from a few days to a few weeks or months. Thus both compounds can be transported over long distances and circle several times around the Northern hemisphere until they descent again to ground level.
19. Evaluations related to wind directions show for the coastal UBA site Westerland and the Westirish coastal site Mace Head, that the Northern hemispheric ozone background concentrations range between 30 and 40 ppb. During summer time the stratospheric fraction amounts to approximately 15% and for the annual mean to approximately 25%.
20. Estimations to determine the contributions of ozone and fine particles deriving from Europe, Northern America and Asia vary widely – especially due to problems assessing the emissions. The contribution of Europe to the annual mean ozone concentrations in Waldhof is approx. 50%, of Northern America approx. 25% and of Asia approx. 15% - according to the 3D-CT-modell STOCHEM. During summer the contributions deriving from Europe are dominating, during winter a considerable fraction is transported from Northern America and Asia.
21. For fine particles these estimations are even more difficult. So far, only transport episodes caused by dessert storms in Sahara of Dessert Goby have been well documented.
22. Estimations for the Northern hemispheric ozone long-term trend show an increase of 0.3 to 0.5 ppb/year. Coarse model evaluations indicate, that the most effective ozone decrease can be achieved by global NO<sub>x</sub> reductions.

23. Concerning fine particles these estimations are even more uncertain. But it seems, that a dominating influence of transports between the continents occur only during rare episodes. Due to the dramatic emission reductions concentrations of fine particles in Germany will be determined to an increasing extent by long-range transport and natural emissions in the future.

### **5.3.2 Ozone monitoring at Zugspitze**

24. Since May 1999 the GAW station (Global Atmosphere Watch) Zugspitze (2650m above sea level) in the “Schneefernerhaus” and the monitoring site Hohenpeißenberg of the German Weather Service (DWD) are operated by the Federal Environmental Agency in cooperation with the DWD. In the period of 1978 until 2002 monitoring has been carried out by the Fraunhofer Institute on the peak of the Zugspitze – since 1995 on order of the FEA. The monitoring programme of FEA and DWD, which is still under construction, includes chemical reactive and greenhouse gases, meteorological parameters and radionucleides.
25. Mean diurnal and annual variations of ozone at the Zugspitze are –contrary to especially urban sites – less pronounced and on a much higher concentration level, even higher than at Schauinsland (1250 m above sea level). The only marginal concentration differences at Zugspitze between day and night as well as between summer and winter are due to a very low influence of local emission sources such as nitrogen oxides, which build up and also reduce ozone. The highest concentrations are found during May, June and July.
26. Mean diurnal variations during summer show at Zugspitze a slight minimum of ozone in the early afternoon whereas sites that are not situated in that altitude show a more or less pronounced maximum in the afternoon. These deviating diurnal and annual variations are also found on the alpine GAW stations Sonnblick in Austria and on the Jungfraujoch in Switzerland likewise.
27. With the aim to eliminate at least local emission influences, ozone data of the Zugspitze have been filtered by using CO and NO<sub>x</sub> as tracers for air pollutants. During the period of November until March the filtered data were slightly lower than the unfiltered data. For Westerland only ozone values measured during periods of wind deriving from the Atlantic Ocean have been used for the evaluation of diurnal variations. Those two “filtered” curves are dominated by background ozone. Ozone concentration levels found at Zugspitze are higher due to the fact, that the Zugspitze often is within the Troposphere, which is the transport layer for ozone.
28. The long-term trend for background ozone at Zugspitze since 1978 and for Hohenpeißenberg since 1967 (balloon measurements in the altitude of approx. 3000 m) shows an increase until the end of the eighties. After that concentration levels stagnate or even decrease slightly since the nineties.

### **5.3.3 The ozone episode in Germany in the year 2002**

29. In Germany as well as in some neighbouring countries such as Austria, Switzerland and Great Britain ozone peak concentrations have decreased whereas annual mean concentrations increased in that time period. Exceedances of 240 µg/m<sup>3</sup> have been reduced especially. This is mainly caused by the reduction of ozone precursors such as NO<sub>x</sub> and VOC in Germany and it's neighbouring countries.
30. Due to the ever changing meteorological conditions during the summer of 2002 no pronounced or long lasting ozone episode could be observed. Thus in 2002 only one episode with exceedances of 240 µg/m<sup>3</sup> ozone occurred. This episode from June 17<sup>th</sup> until June 19<sup>th</sup> during a high pressure period coming from the Mediterranean area was observed in Nordrhein-Westfalen and Hessen.
31. The meteorological preconditions and emissions during that period were favourable for high ozone concentrations. Backward trajectory analyses have shown, that during this period of fair weather and temperatures up to 37 °Centigrade air masses have remained for several days over high ozone precursor emission areas and were then transported from the south/southwest to Nordrhein-Westfalen and Hessen.

### **5.3.4 Carbonmonoxide monitoring at Schauinsland**

32. In August 2001 carbonmonoxide monitoring has been started at Schauinsland using an AL5001 analyser of Aero Laser company and thus applying the optical resonance-flourescence method. During this period the analyser showed good compliance for monitoring background concentrations.
33. Carbonmonoxide is a major sink for OH-radicals, which are the strongest oxidation force in the atmosphere and therefore influence many air chemical processes. The primary source for CO is the combustion of biomasses and fossil fuels.
34. This method showed a precision and accuracy of < 0.5% when measuring standard gases with concentrations of 500 and 1000 ppb. The method was verified by means of 3 NOAA/CMDL standards, which had a certified remnant uncertainty of 1%. For two tanks the observed deviation from target value was within the tolerated limit. Dilution experiments showed a straight linear correlation for the method in the range from 0 – 400 ppb.
35. Compared to other background stations CO monitoring at Schauinsland has been plausible so far and showed the expected concentration levels and annual variation. Caused by the topographic situation of the site a pronounced diurnal variation can be observed during summer as well as during winter. Peak CO concentrations occur during late winter and early spring with monthly means of approx. 200 ppb. Lowest concentrations of 120 – 130 ppb are observed during summer time.