Texte
66
99
ISSN
0722-186X

Jahresbericht 1998 aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes

Umweltbundesamt

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.htm

Redaktion: Fachgebiet II 6.5
Siegfried Beilke
Karin Uhse

Langen, Oktober 1999

UBA-MESSNETZ - JAHRESBERICHT 1998

Inhaltsverzeichnis

VORWORT 5

KURZFASSUNG 6

ABSTRACT 8

1. DATEN ZUM MESSNETZ DES UMWELTBUNDESAMTES 10

1.1 Lage der Messstellen 10

1.2 Messprogramm 13

1.3 Aufgaben des Messnetzes 16

1.4 Literatur: 19

2. ERGEBNISSE DER IMMISSIONSMESSUNGEN 1998 UND VERGLEICH MIT FRÜHEREN WERTEN 20

2.1 Gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen 20

2.1.1 Schwefeldioxid (SO_2): 20
2.1.2 Stickoxide (NO_x) 30
2.1.3 Ozon (O_3) 45
2.1.4 Peroxyacetylnitrat (PAN) 52
2.1.5 Flüchtige Organische Substanzen (VOC) 54
2.1.6 Kohlendioxid (CO_2) 62
2.1.7 Methan (CH_4) 69
2.1.8 Partikelförmige Luftverunreinigungen 72

2.2 Ionen im Niederschlag 83

2.2.1 Konzentrationen der Ionen im Niederschlag 83
2.2.2 Depositionen der Ionen im Niederschlag 95

2.3 Literatur 107

3. SPEZIELLE UMWELTPROBLEME 108

3.1 Die Entwicklung der Ozonbelastung in Deutschland zwischen 1990 und 1998 - Zusammenhänge mit der Emissionssituation 108

3.1.1 Allgemeine Zusammenhänge 108
3.1.2 Emissionen der Ozonvorläufer 109
3.1.3 Herkunft des bodennahen Ozons in Deutschland 111
3.1.4 Ozon-Belastung in Deutschland zwischen 1990 und 1998 114
3.1.4.1 Ozon-Spitzenwerte 114
3.1.4.2 Ozon-Mittelwerte 118
3.1.5 Ozon-Wochenendeffekt an den Messstellen des UBA 122
3.1.6 Hohe Ozonbelastungen im August 1998 bei einer extremen Wetterlage 124
3.1.7 Literatur 128

3.2 Saurer Regen in Deutschland zwischen 1982 und 1998 133

3.2.1 Einleitung 133
3.2.2 Räumliche Verteilung der Konzentrationen und Depositionen der Ionen im Niederschlag 137
3.2.3 Trend der Konzentrationen und Deposition der Ionen im Niederschlag 139
3.2.3.1 Konzentrationen 139
3.2.3.2 Depositionen 143
3.2.4 Zusammenfassung und Diskussion 146
3.2.5 Literatur 148

3.3 Trend der Konzentrationen und Depositionen von Schwefel- und Stickstoffverbindungen in Deutschland zwischen 1982 und 1998 150

3.3.1 Einleitung 150
3.3.2 Ergebnisse und Diskussion 150
3.3.3 Literatur 157

4.1 ZUSAMMENFASSUNG 158

4.2 EXECUTIVE SUMMARY 164

VORWORT

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

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

Internet-Adresse: http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/mbm.htm

Dies ermöglicht den Interessenten einen schnelleren Zugriff auf die Messnetzdaten. Der Druck und damit der Versand der Monatsberichte wurde eingestellt. Gleichzeitig werden erstmals ab 1999 Jahresberichte des Messnetzes herausgegeben.

Das Messnetz des Umweltbundesamtes legt hiermit seinen ersten Jahresbericht für das Jahr 1998 vor. Der Bericht 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" übernommen, die im Jahr 1990 von Wolfgang Fricke und Karin Uhse erstellt, 1994 von Ute Dauert und 1999 von Karin Uhse aktualisiert worden ist. 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 1998 zusammenfassend dargestellt, bewertet und mit den Messungen aus früheren Jahren verglichen. Die Messergebnisse aus dem Jahre 1998 werden größtenteils in Form von Monatswerten tabellarisch dargestellt, der Vergleich mit früheren Jahren erfolgt in Form von Jahreswerten. Für Leser, die an einer höheren zeitlichen Auflösung der Daten interessiert sind, besteht die Möglichkeit, die entsprechenden Daten direkt in der Datenzentrale Langen anzufordern.

- Das dritte Kapitel enthält längere Übersichtsartikel zu speziellen Umweltproblemen, die in einem größeren zeitlichen und räumlichen Kontext unter besonderer Berücksichtigung der Beiträge aus dem Messnetz dargestellt werden. Im vorliegenden Bericht werden Beiträge über die Entwicklung der Ozonbelastung, des sauren Regen sowie der Konzentrationen und Depositionen von Schwefel- und Stickstoffverbindungen in Deutschland während der letzten zehn bis zwanzig Jahre präsentiert und die Ursache für die Veränderungen aufgezeigt.

KURZFASSUNG

Die Ergebnisse aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes werden erstmals in Form eines Jahresberichtes für das Jahr 1998 vorgestellt, diskutiert und mit Messungen aus früheren Jahren verglichen. Das UBA-Messnetz besteht heute aus insgesamt 23 in ländlichen Gebieten gelegenen Stationen, wovon 9 Messstellen personell besetzt und 14 automatisch arbeitende Containerstationen sind.

Die Datensätze sind in sich homogen, d.h. es wurden im Verlaufe der Jahre keine gravierenden Veränderungen an den Messbedingungen vorgenommen, weder bei der Probenahme noch bei der Analytik. Außerdem wurden die Daten einer eingehenden Qualitätsprüfung unterzogen, sowohl intern als auch bei internationalen Ringvergleichen der Analysenverfahren.

Für eine Reihe von atmosphärischen Schadstoffen hat sich der abfallende Trend auch im Jahre 1998 fortgesetzt. An den meisten UBA-Stationen in den alten und neuen Bundesländern wurden im Jahre 1998 die niedrigsten SO_2-Jahreswerte seit Beginn der Messungen beobachtet. Gleichwohl lagen die SO_2-Konzentrationen an den UBA-Stationen im Süden der ehemaligen DDR in der Regel noch deutlich über denen in den alten Bundesländern. Im Gegensatz zum SO_2 waren die Unterschiede bei den NO_x-Konzentrationen zwischen den Stationen in den neuen und alten Bundesländern nur noch gering. Während die SO_2-Konzentrationen während der letzten zwei Jahrzehnte an fast allen UBA-Stationen drastisch gesunken sind, waren die Änderungen der NO_x-Konzentrationen gering und nicht einheitlich.

Dagegen nahmen die Treibhausgase Kohlendioxid (CO_2) bzw. Methan (CH_4) weiter zu mit einer Rate von ca. 1.5 ppm/Jahr (0.4%/Jahr) für CO_2 bzw. ca. 5 ppb/Jahr (0.3%/Jahr) für CH_4.

Bei den erstmals seit 1998 routinemäßig durchgeführten Messungen (zweimal pro Woche) von 27 Kohlenwasserstoffen in Waldhof (Lüneburger Heide) und auf der Schmücke (Thüringer Wald) zeigten sind gegenläufige Jahresgänge für das aus natürlichen Quellen emittierte Isopren mit einem Maximum in den Sommermonaten und den überwiegend aus anthropogenen Quellen stammenden gesamten VOC mit einem Minimum im Sommerhalbjahr und einem Maximum im Winter. Die Konzentrationsmuster der 27 Kohlenwasserstoffe sind an beiden Stationen sehr ähnlich.

Beim sauren Regen zeigen die pH-Werte im Niederschlag an den 5 Stationen in den alten Bundesländern (Westerland, Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjacklriegel) einen klaren Anstieg während der letzten zwei Jahrzehnte von 4.3 bis 4.4 im Jahre 1982 auf Werte zwischen 4.8 bis 5.0 im Jahre 1998, d.h. der Regen war 1998 deutlich weniger sauer als zu Beginn der 80er Jahre. Die Zunahme der pH-Werte geht einher mit einer Abnahme der elektrolytischen Leitfähigkeit des Niederschlags an den gleichen Stationen, mit Ausnahme von Westerland, wo ein entsprechender abnehmender Trend durch den dominierenden Beitrag des Seesalz-Aerosols zur Leitfähigkeit maskiert ist. Parallel zum Anstieg der pH-Werte erfolgte eine Abnahme der Sulfatkonzentration, die im Wesentlichen auf den drastischen Rückgang der SO_2-Emissionen in Deutschland und den meisten Nachbarländern zurückzuführen ist.

Dies hat auch zu einer erheblichen Verminderung der nassen Schwefeldeposition geführt. Die Konzentrationen und Depositionen von Nitrat und Ammonium gingen an den meisten Stationen leicht bis deutlich zurück. Damit verbunden ist ein Rückgang des Verhältnisses von Sulfat zu Nitrat während der letzten zwei Jahrzehnte, was die unterschiedlichen Langzeittrends der Emissionen von Schwefeldioxid und Stickoxiden widerspiegelt. Obwohl der Zeitraum von nur 5 Jahren für die 3 Stationen in den neuen Bundesländern (Zingst, Neuglobsow, Schmücke) erheblich kürzer ist als der Untersuchungszeitraum von 17 Jahren für die 5 Stationen in den alten Bundesländern, ist eine Zunahme der pH-Werte und eine Abnahme der Sulfat-Werte auch für diese Stationen nicht zu übersehen.

Ähnlich wie beim sauren Regen ist auch bei der Ozonbelastung eine Verbesserung der Situation festzustellen. Zwischen 1990 und 1998 sind die Ozon-Spitzenwerte in Deutschland als Folge der Reduzierung der Ozonvorläufer NO_x und VOC deutlich zurückgegangen. Auch die am 11. und 12. August 1998 aufgrund der extremen meteorologischen Situation gemessenen hohen Spitzenwerte, die auf der Grundlage des deutschen Ozongesetzes erstmals zu Fahrverboten in Hessen, Saarland, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz führten, beeinflussten den abnehmenden Trend der Ozon-Spitzenwerte insgesamt kaum. Dagegen haben die Ozon-Konzentrationen im mittleren Konzentrationsbereich etwa zwischen 60 und 120 $\mu g/m^3$ an einer Reihe von Stationen leicht zugenommen, trotz der zurückgegangenen Vorläuferemissionen. Im Gegensatz zu den Werten in diesem Konzentrationsbereich haben sich die Ozon-Mittelwerte (z.B. Jahres - oder Halbjahresmittelwerte) zwischen 1990 und 1998 kaum geändert. Dieses scheinbar paradoxe Ergebnis lässt sich mit der Wechselwirkung von regionalen und überregionalen Transportprozessen mit den Ozon bildenden und zerstörenden chemischen Reaktionen erklären (vgl. Kapitel 3.1). Vor diesem Hintergrund ist die Einhaltung bestimmter Grenzwerte für den Gesundheitsschutz, vor allem aber der niedrigen Grenzwerte für den Pflanzenschutz (z.B. AOT40-Werte) nicht ganz unproblematisch.

Als generelles Fazit lässt sich feststellen, dass sich die Luftqualität an den Stationen in den neuen und alten Bundesländern seit der Wiedervereinigung einander angeglichen hat. Während die Konzentrationen von SO_2 in den neuen Bundesländern seit 1990 stark abgenommen haben und sich dem sehr niedrigen Niveau in den alten Bundesländern annähern, haben andere Luftverunreinigungen wie etwa NO_x und O_3 hauptsächlich wegen der starken Zunahme des Verkehrs in den neuen Bundesländern leicht zugenommen, so dass heute etwa das gleiche Konzentrationsniveau in den alten und neuen Bundesländern erreicht ist. Auch beim sauren Regen werden heute etwa die gleichen Konzentrationen der Ionen an den Stationen des UBA-Messnetzes in den alten und neuen Bundesländern beobachtet.

ABSTRACT

For the first time the results of the air pollution monitoring network of the German Federal Environmental Agency (FEA) are presented as an annual report beginning with the year 1998. The network consists of 23 stations (9 stations with personal and 14 automatically working container stations) which are situated in rural areas.

Since the data set was thoroughly quality controlled reliable statements on trends can be made. For a series of atmospheric pollutants the declining or increasing trends have continued.

Since the beginning of SO_2-measurements annual concentrations were lowest in 1998 at most stations in western and eastern Germany. However, SO_2-concentrations in the southern part of eastern Germany were still considerably higher than in the western part. In contrast to SO_2 differences of NO_x-concentrations between stations in eastern and western Germany were small. Over the last two decades SO_2-concentrations have drastically declined at most stations of the FEA-network. On the other hand changes of NO_x-concentrations were small and not uniform.

Concentrations of carbon dioxide (CO_2) and methane (CH_4) have continued to increase in spite of a remarkable reduction of the anthropogenic emissions of these greenhouse gases (especially for methane) in Germany. The increase rate was ca. 1.5 ppm/year (0.4%/year) for CO_2 and ca. 5 ppb/year (0.3%/year) for CH_4.

Since 1998 twenty-seven hydrocarbons have been measured on a routine basis at Waldhof (Lüneburg Heath) and Schmücke (Thuringian Forest) twice a week. For naturally emitted hydrocarbons like isoprene concentrations are highest in summer whereas hydrocarbons of anthropogenic origin reveal maximum concentrations in winter. Concentration pattern of the 27 hydrocarbons are similar at both stations.

Today rainwater is considerably less acidic than at the beginning of the 1980s. Precipitation pH for the 5 stations in western Germany (Westerland, Waldhof, Deuselbach, Schauinsland, Brotjacklriegel) increased from 4.3-4.4 in 1982 to values between 4.8-5.0 in 1998. For three stations in eastern Germany (Zingst, Neuglobsow, Schmücke) pH increased from 4.5-4.6 in 1993 to 4.6-4.9 in 1998. The increase of precipitation pH is related to a decrease of concentrations and wet deposition of sulfate which mainly results from drastic SO_2 emission reductions in Germany and in most of its neighbouring countries. Parallel to the increase of pH total electrolytical conductivity in rainwater has decreased at the same stations except for Westerland, where a corresponding declining trend is masked by the overwhelming dominance of sea-salt contribution to conductivity. Concentrations and deposition of nitrate and ammonium diminished slightly to distinctly at most sites.

Similar to acid rain the situation of ozone smog in most regions of Germany has also improved over the last decade. Based on measurements of more than 200 stations ozone peak values have decreased between 1990 and 1998 mainly as a result of emission reductions of NO_x and VOC in Germany. Even the episode on 11/12 August 1998 with high ozone peak concentrations due to an extreme meteorological situation leading to traffic ban in some federal states has not influenced the decreasing trend of ozone peak concentrations.

In contrast to peak values ozone concentrations in the range between ca. 60 and 120 $\mu g/m^3$ have slightly increased at a series of stations at the expense of lower ozone concentrations in spite of the reduction of precursor emissions during this period. On the other hand ozone average concentrations have hardly changed between 1990 and 1998.

One reason for this apparent paradox is most likely a result of the emission reduction of NO_x and VOC in Germany which can lead to both an increase and decrease of ozone. Furthermore, the contributions from long-range transport of ozone are relatively large for the mean concentrations as compared to the peak concentrations. Against this background it is problematic to meet some of the more stringent air quality standards for ozone (for example AOT40 values in CEC Daughter Directive Ozone 1999).

Summarizing the results of this report it can be stated that air quality for a series of pollutants have approached a similar level in eastern and western Germany since 1990.

1. DATEN ZUM MESSNETZ DES UMWELTBUNDESAMTES

1.1 Lage der Messstellen

Das Luftmessnetz des Umweltbundesamtes besteht seit über 30 Jahren. Es wurde Mitte der 60er Jahre von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gegründet und 1974 vom Umweltbundesamt übernommen. Das Ziel für die Errichtung des Messnetzes war, die Zusammensetzung von "Normalluft" kennenzulernen, die als Bezug für biologische und medizinische Wirkungsuntersuchungen in Gebieten mit erhöhten Verunreinigungen der Luft dienen sollten. Unter "Normalluft" wollte man dabei die über einen größeren Raum und 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 ostdeutscher Stationen beträchtlich erweitert.

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

WESTERLAND	ZINGST
WALDHOF	NEUGLOBSOW
DEUSELBACH	SCHMÜCKE
SCHAUINSLAND	BROTJACKLRIEGEL
	ZUGSPITZE

Zusätzlich sind 14 automatisch arbeitende Containerstationen eingerichtet. Die geographische Lage der in 1999 betriebenen personell besetzten Messstellen und der Containerstationen ist in Abbildung 1 dargestellt. Tabelle 1 enthält die geographischen Koordinaten der 36 UBA-Messstationen, deren Höhen über NN sowie Beginn und Ende der Messtätigkeit. Diese große Anzahl der Stationen ergibt sich daraus, dass in 1998/1999 einige Container versetzt und an einigen Standorten die Messungen komplett eingestellt wurden. Dies ist auch bei allen nachfolgenden Tabellen zu beachten.

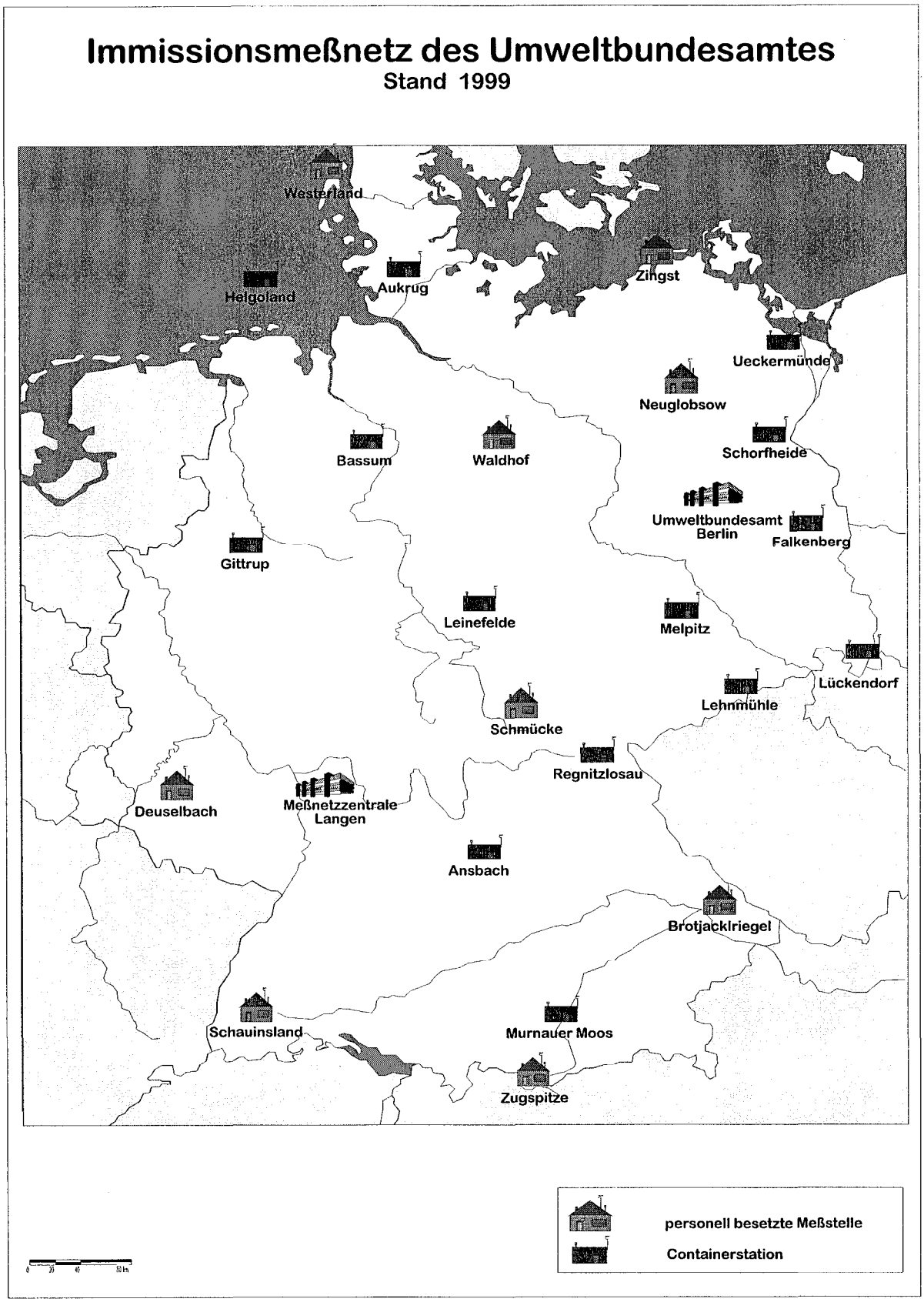


Abbildung 1: Das Messnetz des Umweltbundesamtes

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

Tabelle 1: Geographische Lage der Messstellen

1.2 Messprogramm

Das derzeitige Messprogramm ist in der Tabelle 2 übersichtlich zusammengestellt (Stand: Januar 1999). In den Tabellen sind nur die Messverfahren mit der höchsten zeitlichen Auflösung angegeben. Die Messverfahren sind der Tabelle 3 zu entnehmen. 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 befindet. Hier sind zusammen mit anderen Fachgebieten u.a. die Zentrallabors, die Betriebszentrale, die Messnetzdatenzentrale und die Pilotstation untergebracht. Die Messnetzleitung befindet sich im Umweltbundesamt in Berlin.

In den Zentrallabors werden mit hochempfindlichen Geräten der Schwermetallgehalt des Niederschlages und des Schwebstaubs, flüchtige organische Verbindungen (VOC), halogenierte Kohlenwasserstoffe und Quecksilber analysiert. Dazu ist ein erheblicher Aufwand bei der Probenahme, dem Probenaufschluss und der Analyse nach verschiedensten Methoden wie z.B. Gaschromatographie, Atomabsorptionsspektroskopie oder ICP/MS notwendig. Die Niederschlagsproben und die Staubfilter für die Analysen werden an den personell besetzten Messstellen gesammelt. Die Analyse der Ionen im Niederschlag erfolgt für das gesamte Messnetz im Zentrallabor auf dem Schauinsland.

In der Messnetzdatenzentrale laufen alle Werte aus dem Messnetz zusammen. Stündlich werden die Messwerte der kontinuierlich registrierenden Analysatoren von 8 der 9 Messstellen (außer GAW) und 14 Container via ISDN abgerufen und z.B. die Ozon- und Meteorologie-Werte in das Sommer-Smog-Informations-System nach Karlsruhe weitergeleitet. Wöchentlich werden Messgeräte-Funktionskontrollen durchgeführt und Störungen an die Wartungsteams weitergeleitet. Monatlich werden die Messwerte auf ihre Plausibilität überprüft und gegebenenfalls korrigiert und danach in die Datenbank eingespeist. Dort stehen sie in verschiedenen Aggregierungsformen für Datenanfragen, Auswertungen, Berichte und für den nationalen und internationalen Datenaustausch zur Verfügung.

In Fragen der Qualitätssicherung sowie der Entwicklung und Erprobung neuer Messmethoden, die im Messnetz zur Anwendung kommen, besteht eine enge Zusammenarbeit mit der Pilotstation.

Messstelle	Bestimmungen von Gasen								Bestimmungen im Schwebstaub				Meteorologie	Niederschlag	Strahlung
	SO_2	NOx	O_3	CO_2	CH_4	PAN	Hg	KW	TSP	SO_4	NO_3	SM			UV
Ansbach	R	R	R						R				R	W	
Aukrug	R	R	R						R				R		
Bassum	R	R	R						R				R	W	
Brotjacklriegel	R	R	R	R					R	T	M	M	R	T/W	
Deuselbach	R	R	R	R	R				R	T	M	M	R	T/W	
Falkenberg	R	R	R						R				R	W	
Gittrup	R	R	R						R				R		
Helgoland	R	R	R						T				R	W	
Lehnmühle	R	R	R						R				R	W	
Leinefelde	R	R	R						R				R	W	
Lückendorf	R	R	R						R				R	W	
Melpitz	R	R	R						R				R	W	
Murnauer M.		R	R						R				R	W	
Neuglobsow	R	R	R	R	R				R	T	M	M	R	T/W	
Regnitzlosau	R	R	R						R				R	W	
Schauinsland	R	R	R	R	R	R			R	T	M	M	R	T/W	R
Schmücke	R	R	R					3T	R	T	M	M	R	T/W	
Schorfheide	R	R	R						R				R		
Ueckermünde	R	R	R						R				R	W	
Waldhof	R	R	R	R		R		3T	R	T	M	M	R	T/W	
Westerland	R	R	R	R					T	T	M	M	R	T/W	
Zingst	R	R	R	R	R	R	R		R	T	M	M	R	T/W	R
Zugspitze	R	R	R	R	R				R				R		

Tabelle 2: Messprogramm des Messnetzes des Umweltbundesamtes

Legende zu Tabelle 2

Gase:	SO_2	Schwefeldioxid	Strahlung:	UV	UV-Strahlung
	NO_x	Stickoxide: NO, NO_2, NO_x	Niederschlag:		nasse Deposition
	O_3	Ozon			pH-Wert
	CO_2	Kohlendioxid			Leitfähigkeit
	CH_4	Methan			SO_4, NO_3, NH_4, Cl, Ca, Na,
	PAN	Peroxyacetylnitrat			Mg, K
	Hg	Quecksilber	Nur an 4 Stat.		Schwermetalle:
	KW	Kohlenwasserstoffe			Pb, Cd, Cu, Mn, Fe, Zn, As
Meteorologie:		Temperatur	Messintervall	T	Tagesprobe
		Windrichtung und -geschw.		R	Registrierendes Gerät, Halbstd.
		Relative Luftfeuchte		M	Monatsprobe
		Luftdruck		W	Wochenprobe
		Niederschlagsmenge		3T	3 Tagesprobe
Schwebstaub:	TSP	Gesamtschwebstaub	Schwebstaub:	SM	Schwermetalle: Cu, Pb, Cd, Fe,
	SO_4	Sulfat			Mn, Ni
	NO_3	Nitrat		NH_4	Ammonium

Komponente	Messverfahren	Messintervall
Schwefeldioxid	UV-Fluoreszenz	Halbstunde
Schwefeldioxid	TCM	Tag
Stickoxide: NO, NO_2, NO_x	Chemilumineszenz	Halbstunde
Stickstoffdioxid	Saltzman	Tag
Ozon	UV-Absorption	Halbstunde
Kohlendioxid	IR-Absorption	Halbstunde
Kohlendioxid	Gaschromatographie	Halbstunde
Methan	Gaschromatographie	Halbstunde
Peroxyacetylnitrat (PAN)	Gaschromatographie	Halbstunde
Quecksilber	Atomabsorption	Halbstunde
Kohlenwasserstoffe	Gaschromatographie	zweimal wöchentlich
Temperatur	Thermometer	Halbstunde
Windrichtung und -geschwindigkeit	Anemometer	Halbstunde
Relative Luftfeuchte	Hygrometer	Halbstunde
Luftdruck	Barometer	Halbstunde
Niederschlagsmenge	Tropfenzähler	Halbstunde
Niederschlagsmenge	Daily-bulk Sammler	Tag
Niederschlagsmenge	Wet-only Sammler	Woche
pH-Wert des Niederschlags	pH-Meter	Tag
pH-Wert des Niederschlags	pH-Meter	Woche
Leitfähigkeit des Niederschlag	Konduktometrie	Tag
Leitfähigkeit des Niederschlag	Konduktometrie	Woche
Ionen im Niederschlag	Atomabsorption	Tag
Ionen im Niederschlag	Atomabsorption	Woche
Schwermetalle im Niederschlag	IC/PMS	Woche
Gesamtschwebstaub	Beta-Absorption	Halbstunde
PM_{10}	Gravimetrie	Tag
Sulfat im Staub	Ionenchromatographie	Tag
Ammonium im Staub	Ionenchromatographie	Monat
Nitrat im Staub	Ionenchromatographie	Monat
Schwermetalle im Staub	Atomabsorption	Monat
UV-Spektren	Monochromator	6 Minuten

Tabelle 3: Messverfahren im Messnetz des Umweltbundesamtes

1.3 Aufgaben des Messnetzes

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

- **Flächendeckende Erfassung wichtiger Luftverunreinigungen**
- **Messungen zur Vorbereitung gesetzlicher Maßnahmen**
- **Beobachtungen langfristiger Trends von Luftschadstoffen**
- **Verfolgung klimarelevanter Komponenten**
- **Verfolgung der Entwicklung der UV-Strahlung am Boden als Folge von Veränderungen der stratosphärischen Ozonschicht**
- **Messungen im Rahmen des bundesweiten Ozon-Smogfrühwarnsystems**
- **Integrated Monitoring (umfassende Untersuchung der Umweltbereiche Luft, Boden, Wasser, Biota)**
- **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**

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 auch, dass der angestrebte Effekt - z.B. Reduzierung des Sommersmogs als großräumiges Problem - erreicht wird. Gegebenenfalls wird man aus den Messresultaten in Verbindung mit meteorologischen Daten Hinweise erhalten, in welchen Staaten die Anstrengungen verstärkt fortgeführt werden müssen.

Seit der Vereinigung Deutschlands werden im Beitrittsgebiet in starkem Umfang Emissionsminderungsmaßnahmen zur Heranführung der Anlagen an den Stand der Technik durchgeführt. Die dadurch hervorgerufenen Veränderungen der Luftqualität werden durch das Immissionsmessnetz des Umweltbundesamtes verfolgt, wobei die Auswirkungen der sich wandelnden Verkehrsstruktur auf die Luftqualität besondere Beachtung finden.

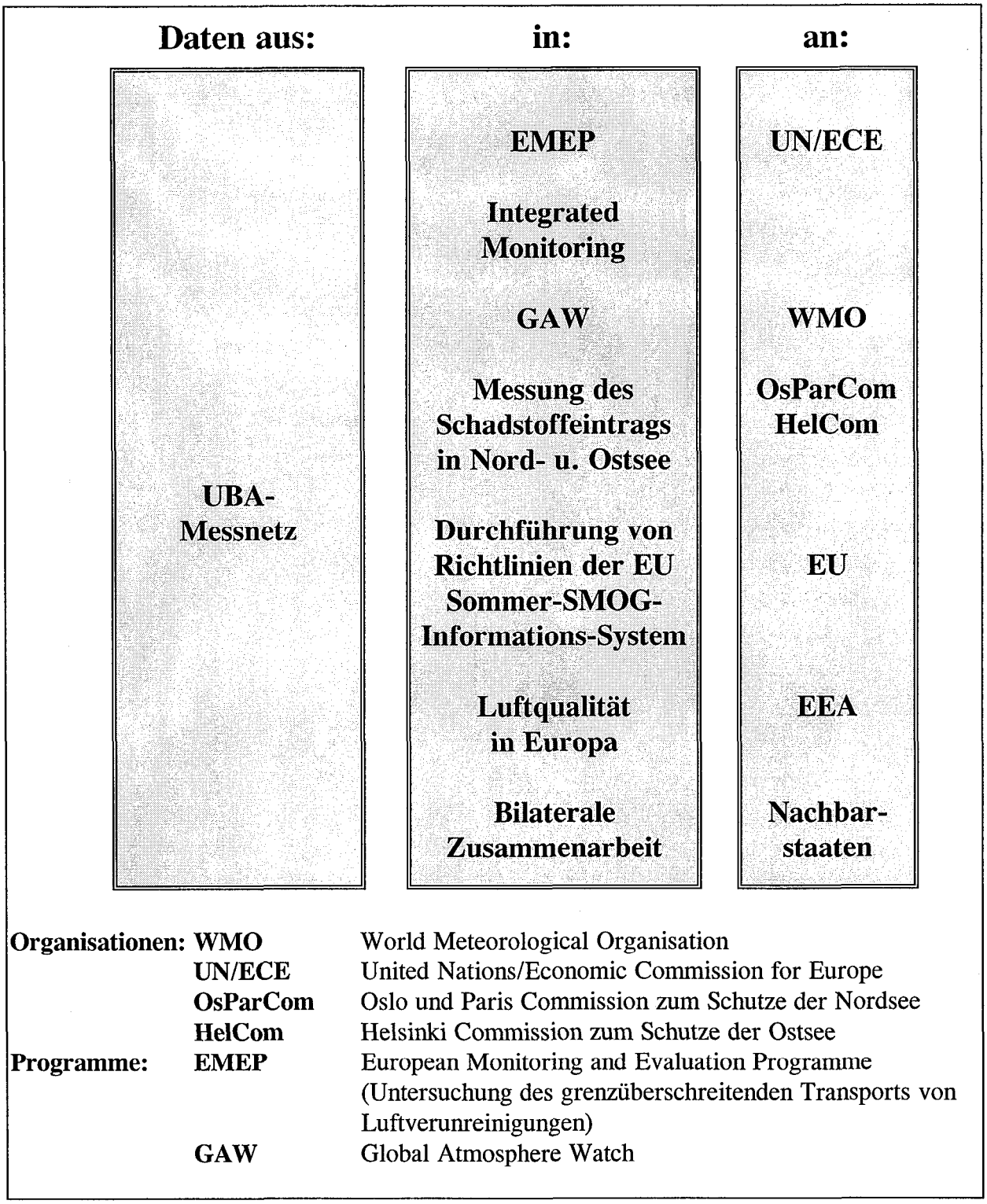


Abbildung 2: Einbeziehung der Messdaten des Umweltbundesamtes in internationale und nationale Programme

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. Pflanzenschutzmittel, die in großem Ausmaß in die Luft entweichen, können weiträumig

transportiert werden und sich so unkontrolliert in Gebieten ausbreiten, wo sie ungewollte Wirkungen entfalten. 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 Umweltüberwachung 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 Luftreinhaltekonzeption 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.

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

Die in Abbildung 2 aufgeführten Aufgaben bestimmen zu einem hohen Anteil die Arbeit des Messnetzes. Dies wird auch in Zukunft so sein. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass sich die Proportionen zwischen den Messaufgaben verschieben, wobei vor allem aus den internationalen Programmen Festlegungen resultieren, neue Komponenten zu überwachen oder neue vereinheitlichte Messmethoden zur Überwachung anzuwenden. Hintergrund des letzgenannten 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 aus den im Rahmen des Genfer Luftreinhalteabkommens resultierenden Protokolle (VOC, Schwermetalle, POP's) resultieren. Die mittlererweile intensive Abstimmung zwischen den Programmen von EMEP, GAW, HelCom und OsParCom führen zu vergleichbaren Anforderungen bei Messmethoden und Datenformaten zur Berichterstattung. Auf diese Weise

die Messwerte für mehrere Programme verwendet werden. Die notwendigen Vorbereitungen zur Messung von flüchtigen Kohlenwasserstoffen und Carbonylverbindungen (VOC-Protokoll), Schwermetallen als PM_{10}- und $PM_{2,5}$-Fraktion, im Niederschlag (Schwermetall-Protokoll), aber auch polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) und chlororganischen Verbindungen (POP-Protokoll) haben ein Stadium erreicht, das den experimentellen Messungen im Jahr 2000 dauerhaften Charakter verleihen wird.

Neu sind auch die Messungen, die im Rahmen des weltweiten Atmosphärenüberwachungsprogramms (GAW) der WMO an der gemeinsamen UBA/DWD-Globalstation Zugspitze/Hohenpeißenberg begonnen haben. Bestandteil des Programms sind vor allem klimarelevante Gase (Treibhausgase), wie CO_2, CH_4, N_2O, SF_6 und Fluorchlorkohlenwasserstoffe. Letztere sind äußerst langlebig. Ihre besondere Wirkung der Ozonzerstörung entfalten sie in der Stratosphäre, wo sie in Radikale zerlegt werden.

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 daher 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 Stoffkonzentration in den einzelnen Umweltmedien tritt die multimediale Umweltüberwachung einschließlich der Kontrolle der Wirkungen auf den Menschen und die Ökosysteme in den Vordergrund.

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

1.4 Literatur:

(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 (1999)
Messnetzbroschüre: Luft kennt keine Grenzen, Verantwortlich Fricke,W.; Dauert,U. und Uhse,K.

2. ERGEBNISSE DER IMMISSIONSMESSUNGEN 1998 UND VERGLEICH MIT FRÜHEREN WERTEN

Die Messwerte der 23 Stationen des UBA-Messnetzes für das Jahr 1998 werden als Monats- und Jahresmittel, monatliche- und jährliche Perzentile sowie als maximale monatliche Halbstundenmittel hauptsächlich in Tabellenform präsentiert. Der Vergleich der 1998er 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 Reihenfolge der Stationen nach geographischen Gesichtspunkten von Nord nach Süd erfolgte. In Tabelle 1 sind die entsprechenden Stationsnamen und deren Kennungen nochmals in alphabetischer Reihenfolge zusammengestellt. Die genaue geographische Lage der Stationen ist ebenfalls Tabelle 1 (Kapitel 1.1) zu entnehmen.

2.1 Gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen

2.1.1 Schwefeldioxid (SO_2):

An den meisten UBA-Stationen in den alten und neuen Bundesländern wurden im Jahre 1998 die niedrigsten SO_2-Jahreswerte seit Beginn der Messungen beobachtet. In Tabelle 4 sind die Monats- und Jahresmittel der SO_2-Konzentrationen und in Tabelle 5 die maximalen monatlichen Halbstundenwerte für 1998 aufgelistet. Auch im Jahre 1998 lagen die SO_2-Konzentrationen an den Stationen in den neuen Bundesländern in der Regel noch deutlich über denen in den alten Bundesländern, trotz des erheblichen Rückgangs der SO_2-Belastung während der letzten Jahre auch in den neuen Bundesländern. Die höchsten Jahresmittel wurden an den sächsischen Stationen Lückendorf (Schwarzes Dreieck) mit 15 $\mu g/m^3$ und in Lehnmühle (Osterzgebirge) mit 11 $\mu g/m^3$ beobachtet. Es folgten mit je 6 $\mu g/m^3$ die Stationen Ueckermünde (nördliches Mecklenburg-Vorpommern nahe der polnischen Grenze), Lindenberg, Doberlug-Kirchhain, Melpitz, Schleiz sowie Angermünde.

Die höchsten Halbstundenwerte in Tabelle 5 wurden an der Station Lückendorf (Schwarzes Dreieck) mit 586 $\mu g/m^3$ im September 1998 gemessen, gefolgt von Deuselbach (Hunsrück) mit 318 $\mu g/m^3$ im Februar 1998, Lehnmühle (Osterzgebirge) mit 294 $\mu g/m^3$ sowie Leinefelde mit 221 $\mu g/m^3$ jeweils im Januar 1998. Die Spitzenkonzentrationen in Lückendorf und Lehnmühle wurden in erheblichem Maße durch grenzüberschreitende Schadstofftransporte aus den tschechischen und möglicherweise auch aus polnischen Industriegebieten verursacht. Dagegen war die etwa 2 Stunden dauernde Erhöhung der SO_2-Konzentration am 9. Februar in Deuselbach mit einem maximalen Halbstundenwert von 317 $\mu g/m^3$ auf den Transport aus dem saarländisch-luxemburgischen Industriegebiet zurückzuführen.

Die monatlichen 50-Perzentile (Median) sind in Tabelle 6, die 98-Perzentile in Tabelle 7 und die jährlichen Perzentile zusammen mit den Maxima und Minima der Halbstundenwerte in Tabelle 8 angegeben. Die Perzentile geben an, wieviel Prozent der Werte unterhalb des

angegebenen Konzentrationsniveaus liegen. So lagen z.B. in Lückendorf im Jahre 1998 98% aller SO_2-Werte unterhalb von 85 $\mu g/m^3$ und 50 Prozent unterhalb von 8 $\mu g/m^3$.

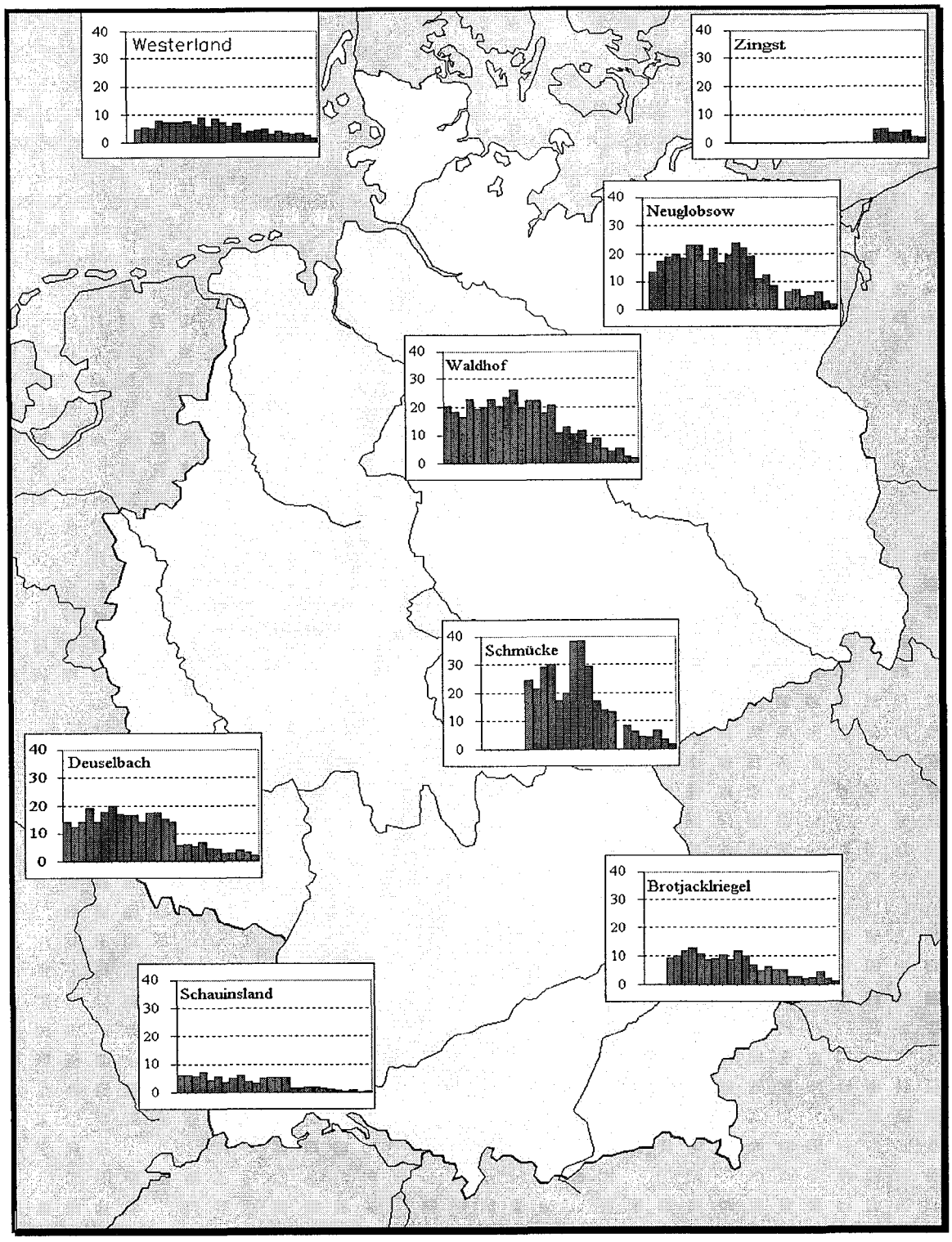


Abbildung 3: Jahresmittel der Schwefeldioxidkonzentrationen von 1973 bis 1998 in µg/m³ an den personellen Messstellen des UBA, nasschemisches TCM-Verfahren

Den Perzentilen liegen halbstündige Messwerte zugrunde. Aus den Werten in Tabelle 8 ist deutlich zu erkennen, dass sich fast alle Stationen des Messnetzes des UBA außerhalb von Ballungsgebieten befinden und daher so niedrige Konzentrationsniveaus zeigen, dass für viele Stationen beim 25-Perzentil und z.T. sogar beim 50-Perzentil die Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze der Messgeräte liegen und somit hier die Nachweisgrenze angegeben wird. Der in der Technischen Anleitung Luft (TA Luft) angegebene Grenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit für das 98-Perzentil von 400 $\mu g/m^3$ für SO_2 wird an keiner der Messstellen des UBA auch nur annäherungsweise erreicht. Alle UBA-Stationen blieben 1998 mit dem 98-Perzentil noch deutlich unter 100 $\mu g/m^3$.

Wie aus Tabelle 9 und Tabelle 10 sowie der Abbildung 3 zu sehen ist, hat sich die SO_2-Belastung in Deutschland während der letzten Jahre spürbar vermindert, seit Mitte der 80er Jahre in den alten Bundesländern *(Ref. 1)* und ab den frühen 90er Jahren auch in den neuen Bundesländern, vor allem als Folge der drastischen Reduzierung der SO_2-Emissionen.

Ähnlich wie die Jahreswerte zeigen auch die maximalen monatlichen Halbstundenwerte einen abnehmenden Trend, wie es beispielhaft für die Stationen Lückendorf, Lehnmühle und Melpitz in den neuen Bundesländern dargestellt ist (Abbildung 4).

Die SO_2-Belastungen in den neuen Bundesländern werden als Folge der hier sowie in Tschechien und Polen vorgesehenen weiteren Minderungen der SO_2-Emissionen noch erheblich zurückgehen, im Gegensatz zu den alten Bundesländern, wo das SO_2-Minderungspotential weitgehend ausgeschöpft ist und deshalb nur noch mit einem sehr geringen Rückgang zu rechnen ist.

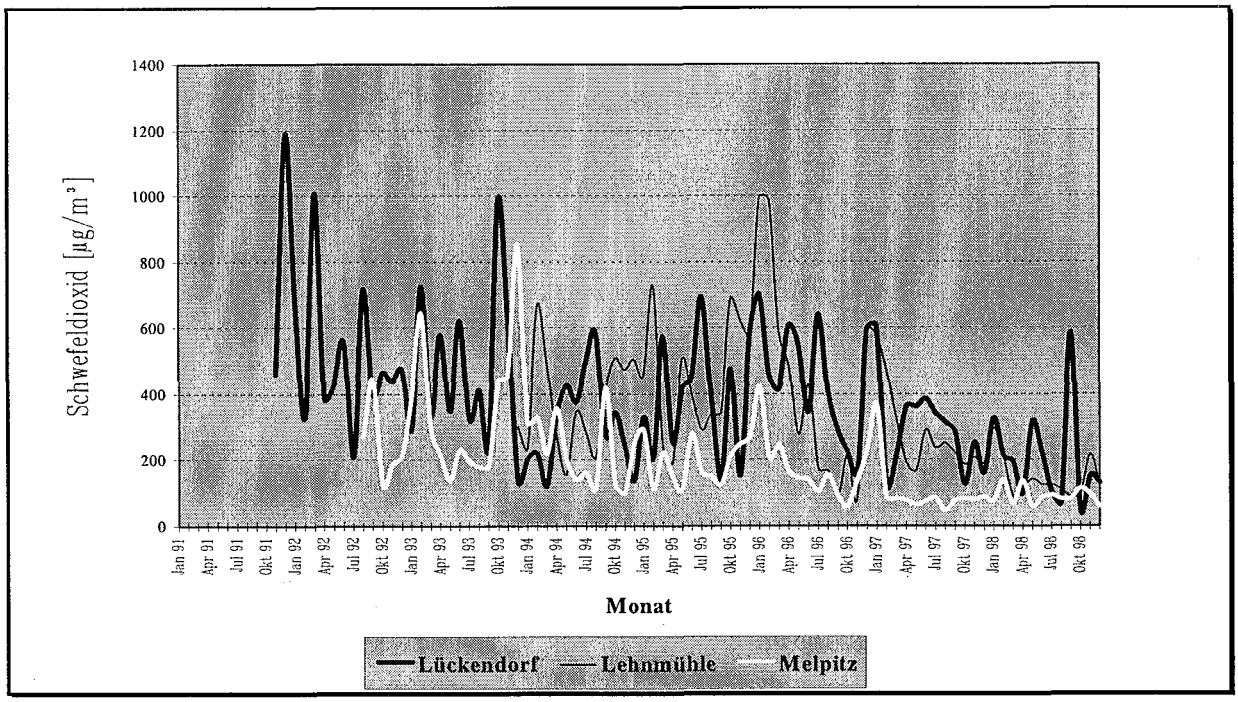


Abbildung 4: Maximale monatliche Halbstundenwerte von Schwefeldioxid, 1991 bis 1998 in Lückendorf, Lehnmühle und Melpitz, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	2.5	2.3	2.4	2.9	3.3	1.7	1.7	2.0	2.5	1.7	5.7	5.6	2.8
ZG	2.7	5.1	3.7	3.1	2.6	2.2	1.9	2.7	3.3	2.4	8.2	8.1	3.8
HG	2.8	4.8	4.0	4.0	3.6	3.2	2.7	2.8	4.1	2.6	6.2	5.8	3.9
HW*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	2.6	2.3	1.8	1.5	12.2	8.5	-
TE	2.6	4.9	3.9	3.5	2.2	1.8	1.7	2.3	-	-	-	-	2.9
UE	6.3	4.5	5.2	5.7	3.8	4.5	3.9	4.3	5.6	4.8	13.0	13.5	6.3
NG	3.6	4.0	3.9	3.4	2.2	1.8	2.0	2.8	2.9	3.5	7.5	6.8	3.7
AN	6.8	5.5	4.6	4.6	5.5	3.1	2.6	3.7	6.9	4.3	8.6	9.7	5.5
KY	3.7	4.0	4.3	3.9	2.8	3.2	-	-	-	-	-	-	-
BA	-	-	-	-	-	-	-	2.1	1.6	-	-	-	-
WA	3.5	6.4	4.1	3.5	2.0	2.4	3.3	5.6	7.1	7.2	7.3	8.3	5.2
WI*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GI*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LI	12.4	8.1	5.9	5.2	5.1	2.7	3.2	5.7	5.2	-	-	-	6.0
DL	12.3	8.7	5.8	5.2	3.2	2.5	2.4	4.7	6.4	7.8	-	-	6.0
MP	5.5	5.1	4.8	3.8	3.3	2.8	3.1	3.6	5.8	7.5	12.0	12.4	5.8
LF	8.0	6.9	4.3	4.7	3.8	2.9	4.0	3.5	3.1	3.0	6.6	5.7	4.7
ME*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LM	18.1	13.4	10.3	9.2	8.2	8.8	8.2	6.7	12.1	6.3	18.5	16.0	11.3
LU	28.5	29.5	11.1	13.0	16.4	-	9.5	6.2	8.0	6.1	17.7	25.2	15.4
SM	5.7	4.5	3.2	2.0	6.8	2.7	3.2	7.4	2.7	2.9	4.4	4.4	4.1
SZ	8.5	6.9	6.1	4.2	5.8	3.1	2.7	5.8	6.7	4.4	8.2	-	5.7
RE*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DE	7.8	8.8	4.4	3.2	3.5	2.7	2.6	3.5	3.2	3.0	5.6	6.6	4.6
AS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.6	6.6	-
BR	5.7	5.1	4.9	2.4	6.5	-	-	2.0	3.5	2.8	5.7	3.2	4.2
RT*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC	2.1	2.6	3.4	2.0	3.1	2.2	2.8	3.5	2.6	2.9	4.7	3.3	2.9
MU*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 4: Monats- und Jahresmittel Schwefeldioxid für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

*: Messungen 1996 eingestellt

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	16	18	16	15	16	16	14	22	17	5	21	38
ZG	19	25	31	29	20	19	20	22	24	11	62	68
HG	13	25	20	19	19	13	11	20	25	11	46	32
HW*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	15	18	11	5	62	35
TE	19	31	27	37	29	52	9	21	-	-	-	-
UE	62	30	94	58	28	23	71	31	50	35	123	175
NG	45	32	47	48	30	30	33	63	29	38	70	51
AN	152	35	77	47	124	49	119	30	140	56	75	77
KY	60	36	48	26	27	34	-	-	-	-	-	-
BA	-	-	-	-	-	-	-	16	26	-	-	-
WA	69	29	46	31	20	46	13	18	33	16	38	41
WI*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GI*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LI	59	42	57	46	49	52	22	27	52	-	-	-
DL	84	74	52	47	24	36	36	50	111	47	-	-
MP	77	139	67	136	59	86	93	82	83	113	95	58
LF	221	84	36	33	44	54	13	20	56	35	81	49
ME*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LM	294	208	89	113	141	125	124	110	88	95	214	122
LU	326	212	194	97	314	-	104	68	586	48	151	130
SM	99	59	25	17	89	26	25	33	56	29	55	123
SZ	87	47	71	30	57	41	53	71	62	44	69	-
RE*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DE	53	318	34	51	36	33	36	49	20	38	89	112
AS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	32
BR	33	20	42	19	109	-	-	12	27	17	35	29
RT*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC	12	27	22	9	17	7	8	18	9	9	12	19
MU*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 5: Monatsmaxima Schwefeldioxid für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

*: Messungen 1996 eingestellt

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	5	5
ZG	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4
HG	2	5	2	3	2	3	2	2	4	2	4	5
HW*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	2	2	2	2	2	7
TE	2	4	2	2	2	2	2	2	-	-	-	-
UE	5	3	2	3	3	4	4	3	4	4	5	7
NG	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
AN	4	4	2	3	3	2	2	3	3	2	4	4
KY	2	2	2	3	2	3	-	-	-	-	-	-
BA	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-
WA	2	5	2	2	2	2	3	5	6	7	5	6
WI*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GI*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LI	9	7	2	2	4	2	2	5	2	-	-	-
DL	7	7	2	2	2	2	2	4	4	6	-	-
MP	2	2	2	2	2	2	2	2	4	5	7	9
LF	4	5	2	4	2	2	4	3	2	2	2	2
ME*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LM	7	4	4	4	4	4	4	4	5	2	7	7
LU	18	20	7	11	8	-	7	4	2	4	11	20
SM	2	4	2	2	2	2	2	5	2	2	2	2
SZ	4	5	4	3	2	2	2	5	5	3	5	-
RE*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DE	4	5	2	2	2	2	2	2	2	2	4	2
AS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	5
BR	4	4	4	2	6	-	-	2	3	2	4	2
RT*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC	2	2	2	2	3	2	3	4	2	3	4	2
MU*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 6: Monatliche 50-Perzentile von Schwefeldioxid für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

*: Messungen 1996 eingestellt

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	9	9	10	9	9	5	5	7	9	4	15	19
ZG	8	17	17	13	12	6	6	11	14	6	43	46
HG	9	13	14	13	14	9	7	10	14	7	23	26
HW*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	7	8	6	2	46	25
TE	9	20	21	17	10	5	4	10	-	-	-	-
UE	27	20	27	25	15	10	11	20	24	15	54	63
NG	21	16	26	15	11	6	8	13	14	19	40	35
AN	33	21	26	18	41	14	10	13	51	19	42	55
KY	21	14	25	15	11	9	-	-	-	-	-	-
BA	-	-	-	-	-	-	-	8	3	-	-	-
WA	21	19	19	12	7	8	8	12	16	12	24	29
WI*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GI*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LI	40	28	37	20	19	14	12	19	23	-	-	-
DL	53	33	36	27	14	15	10	21	32	29	-	-
MP	53	30	31	27	16	15	20	20	28	29	58	47
LF	78	29	16	17	15	12	8	11	23	12	40	37
ME*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LM	94	101	57	45	49	45	50	40	54	36	121	69
LU	129	118	58	43	142	-	31	20	51	24	72	87
SM	38	13	17	7	45	11	12	24	14	12	27	21
SZ	48	27	28	19	30	12	8	16	23	17	36	-
RE*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DE	40	44	19	17	18	14	11	14	11	12	24	32
AS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	22
BR	23	15	17	7	17	-	-	7	13	7	21	13
RT*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC	6	8	11	5	8	5	6	7	6	6	10	10
MU*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 7: Monatliche 98-Perzentile von Schwefeldioxid für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

*: Messungen 1996 eingestellt

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
WE	2	2	2	2	2	2	4	6	8	11	38
ZG	2	2	2	2	2	2	4	8	12	19	68
HG	2	2	2	2	2	3	5	8	10	14	46
HW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TE	2	2	2	2	2	2	3	6	9	14	52
UE	2	2	2	2	2	4	6	13	22	37	175
SW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NG	2	2	2	2	2	2	3	9	14	23	70
AN	2	2	2	2	2	2	6	12	19	33	152
KY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WA	2	2	2	2	2	4	7	10	13	19	69
WI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LI	2	2	2	2	2	4	8	14	19	27	59
DL	2	2	2	2	2	3	7	14	21	33	111
MP	2	2	2	2	2	2	6	13	22	37	139
LF	2	2	2	2	2	3	5	9	14	25	221
ME	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LM	2	2	2	2	2	4	12	30	44	66	294
LU	2	2	2	2	4	8	17	37	54	85	586
SM	2	2	2	2	2	2	4	9	14	22	123
SZ	2	2	2	2	2	4	6	12	18	29	87
RE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DE	2	2	2	2	2	2	5	10	16	25	318
AS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BR	2	2	2	2	2	3	5	9	12	16	109
RT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC	2	2	2	2	2	2	4	5	7	8	27
MU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 8: Jährliche Perzentile von Schwefeldioxid für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

*: Messungen 1996 eingestellt

Stationen	WE	ZG	HG	AU	HW	TE	UE	SW	NG	AN	SH	KY	BA	WA	WI	GI	LI	FA
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	-	-	-	-
1985	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	-	-	-	-
1986	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	-	-	-	-
1987	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-	-
1988	5	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	13	22	-	16	-	-
1989	5	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	14	22	-	14	-	-
1990	4	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	12	16	-	12	-	-
1991	7	-	-	-	19	-	-	35	-	-	-	15	13	19	67	14	23	-
1992	4	6	-	-	7	8	14	17	9	18	-	14	8	10	33	11	24	-
1993	7	5	-	-	14	9	12	14	11	16	-	13	14	12	31	12	23	-
1994	5	5	8	-	6	7	10	9	7	11	-	8	8	8	18	-	17	-
1995	3	6	-	-	6	8	9	8	8	11	-	9	-	7	-	-	18	-
1996	4	7	5	-	7	10	11	10	10	12	-	11	-	10	-	-	19	-
1997	3	4	6	-	4	5	8	5	5	7	-	5	-	7	-	-	12	-
1998	3	4	4	-	-	3	6	-	4	6	-	-	-	5	-	-	6	-

Stationen	DL	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	AS	BR	RT	SC	MU	ZU
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	4	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-	14	-	6	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	10	-	6	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	11	-	7	-	-
1988	-	-	-	15	-	-	-	-	-	31	9	10	6	10	3	-	-
1989	-	-	-	14	-	-	-	-	-	36	10	11	6	8	4	-	-
1990	-	-	-	16	27	-	-	-	-	31	7	10	7	8	4	-	-
1991	33	-	-	14	32	-	-	-	63	37	8	10	4	8	4	-	-
1992	36	-	21	10	18	-	43	15	40	27	6	7	4	6	3	-	-
1993	35	37	24	13	25	-	39	15	37	30	6	8	4	7	3	-	-
1994	22	23	13	10	15	32	26	11	15	24	5	7	3	-	2	-	-
1995	18	18	10	-	-	33	29	11	14	-	5	12	6	-	4	4	-
1996	20	18	13	-	-	38	35	17	24	-	8	-	9	-	3	-	-
1997	14	10	7	-	-	19	27	7	11	-	8	-	-	-	3	-	-
1998	6	6	5	-	-	11	15	4	6	-	5	-	4	-	3	-	-

Tabelle 9: Jahresmittel von Schwefeldioxid in µg/m³, 1984 bis 1998, kontinuierliches Messverfahren

Stationen	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	-	4
1980	8	-	-	15	-	25	-	21	20	-	-	25	28	17	14	11	14	5
1981	7	-	-	14	-	19	-	21	23	-	-	29	37	16	14	9	14	6
1982	9	-	-	18	-	27	-	23	26	-	-	26	32	16	13	9	11	4
1983	6	-	-	12	-	19	-	16	20	-	44	24	18	14	13	11	10	3
1984	9	-	-	15	-	22	24	24	22	-	52	21	20	17	14	9	11	5
1985	7	-	-	13	-	25	34	16	22	45	65	31	39	18	23	12	17	5
1986	6	-	-	8	23	24	28	15	18	41	47	28	41	15	17	10	15	5
1987	7	-	-	-	19	20	24	20	21	36	71	25	30	14	14	7	16	5
1988	3	-	-	-	19	12	24	9	11	23	33	10	19	6	6	5	5	2
1989	4	-	-	-	18	14	21	10	13	31	27	7	15	6	6	6	4	1
1990	4	-	-	-	16	10	20	8	10	30	25	6	16	5	6	5	4	2
1991	4	-	-	-	-	-	-	12	12	-	-	9	-	7	8	5	4	2
1992	3	5	-	-	-	6	-	4	7	-	-	7	8	5	5	3	3	1
1993	4	5	-	-	-	7	-	-	9	-	-	11	6	4	4	3	3	1
1994	3	3	-	-	-	5	-	-	5	-	-	-	5	3	-	2	-	1
1995	3	4	-	-	-	5	-	-	4	-	-	-	4	3	-	2	-	1
1996	3	4	-	-	-	6	-	-	5	-	-	-	7	4	-	4	-	1
1997	2	2	-	-	-	3	-	-	3	-	-	-	3	3	-	2	-	0.2
1998	1	2	-	-	-	2	-	-	2	-	-	-	2	2	-	1	-	0.4

Tabelle 10: Jahresmittel von Schwefeldioxid für 1971 bis 1998 in µg/m³, nasschemisches TCM- Messverfahren

2.1.2 Stickoxide (NO_x)

NO_x ist die Summe aus NO und NO_2. NO_x wird primär als NO hauptsächlich bei Verbrennungsprozessen freigesetzt und in der Atmosphäre teilweise zu NO_2 oxidiert, im Wesentlichen durch Ozon (O_3). Abhängig von der Sonnenstrahlung und den emittierten NO-Mengen stellt sich innerhalb einiger Minuten ein Gleichgewicht zwischen NO, NO_2 und O_3 ein, das bei geringen NO_x-Konzentrationen, hohen O_3-Konzentrationen und hoher Strahlung weitgehend auf der Seite des NO_2 liegt, d.h. das NO_x besteht in diesen Fällen überwiegend aus NO_2 und nur in geringem Maße aus NO. Dies ist an den in ländlichen Gebieten gelegenen Stationen des UBA-Messnetzes bei den mittleren Konzentrationen von NO und NO_2 praktisch immer der Fall. In einzelnen kurzzeitigen Episoden während der Wintermonate können die NO-Konzentrationen auch an UBA-Stationen jedoch höher liegen als die NO_2-Konzentrationen.

In den Tabellen 11 bis 14 sind die Monats- und Jahresmittel der Konzentrationen von NO_2 (Tabelle 11) und NO (Tabelle 12) sowie deren maximale monatlichen Halbstundenwerte (Tabelle 13 und Tabelle 14) für 1998 zusammengestellt. Im Gegensatz zu SO_2, wo die Belastung in den neuen Bundesländern im Jahre 1998 noch deutlich höher lag als in den alten Ländern, waren die Unterschiede beim NO_x nur noch gering.

Die höchsten NO_2-Jahresmittel wurden an der Station Gittrup mit 31 $\mu g/m^3$ festgestellt, die niedrigsten mit 7 $\mu g/m^3$ an der Bergstation Schauinsland im südlichen Schwarzwald. Die höchsten NO-Jahreswerte wurden ebenfalls für Gittrup (6.4 $\mu g/m^3$), die niedrigsten für Schauinsland (0.4 $\mu g/m^3$) berechnet. Die höchsten NO_2-Halbstundenwerte (Tabelle 13) wurden mit 159 $\mu g/m^3$ in Wiesenburg gemessen, gefolgt von Gittrup (127 $\mu g/m^3$), Westerland (124 $\mu g/m^3$), alle im Dezember 1998, sowie in Leinefelde (118 $\mu g/m^3$) im März 1998. Die höchsten NO-Halbstundenwerte wurden im Januar 1998 in Gittrup (193 $\mu g/m^3$) gemessen, gefolgt von Regnitzlosau (182 $\mu g/m^3$ im Februar 1998), Rottenburg (159 $\mu g/m^3$ im Dezember 1998), Herleshausen (135 $\mu g/m^3$ im November 1998) und Schleiz (131 $\mu g/m^3$ im Januar 1998, Tabelle 14). Im Gegensatz zu den SO_2-Spitzenwerten, die zum größten Teil auf den Ferntransport von Luftverunreinigungen zurückgeführt werden konnten, sind die entsprechenden Spitzenwerte für NO und NO_2 sowohl auf Emissionen im näheren Einzugsbereich der Stationen als auch auf den Ferntransport zurückzuführen.

Die monatlichen Mediane für NO_2 und NO sind in Tabelle 15 und Tabelle 16 und die monatlichen 98-Perzentile in Tabelle 17 und Tabelle 18 zu finden. In Tabelle 19 und Tabelle 20 sind die jährlichen Perzentile für NO_2 (Tabelle 19) und NO (Tabelle 20) zusammen mit den Maxima und Minima der Halbstundenwerte zusammengestellt. Auch bei NO_2 und vor allem bei NO liegen die Messwerte für eine Reihe von Stationen beim 25-Perzentil (NO_2) und z.T. sogar beim 90-Perzentil (NO) unterhalb der Nachweisgrenze, die in den Tabelle 19 und 20 anstelle gemessener Konzentrationen angegeben wird.

Zu beachten ist dabei, dass die Nachweisgrenzen an den personell besetzten Stationen wegen der dort eingesetzten empfindlicheren Messmethoden 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 $\mu g/m^3$ wurde an allen UBA-Stationen weit unterschritten, an keiner Station ist das 98-Perzentil größer als 85 $\mu g/m^3$.

Die mit dem nasschemischen Saltzman-Verfahren seit 1968 ermittelten NO_2-Konzentrationen weichen von den mittels des genaueren kontinuierlichen Chemilumineszenz-Verfahren (seit Mitte der 80er Jahre im Einsatz) gewonnenen Werten ab. Die Gründe für die z.T. erheblichen Abweichungen werden z.Z. untersucht.

In den Tabellen 21 und 23 sind die mittels kontinuierlicher Messung bestimmten Jahresmittelwerte für NO_2 (1988-1998, Tabelle 21) und NO (1988-1998, Tabelle 23) zusammengestellt, während Tabelle 22 die mittels Saltzman-Verfahren nasschemisch ermittelten NO_2-Jahreswerte enthält (1969-1998), die in Abbildung 5 graphisch dargestellt sind. Im Gegensatz zu SO_2 hat sich die NO_2-Belastung in Deutschland während der letzten Jahre kaum vermindert. Ein leichter Rückgang zwischen 1990 und 1998 ist an den Stationen Waldhof, Deuselbach, Neuglobsow und Schmücke zu beobachten, während an den anderen Stationen kaum Änderungen zu erkennen sind (Abbildung 5).

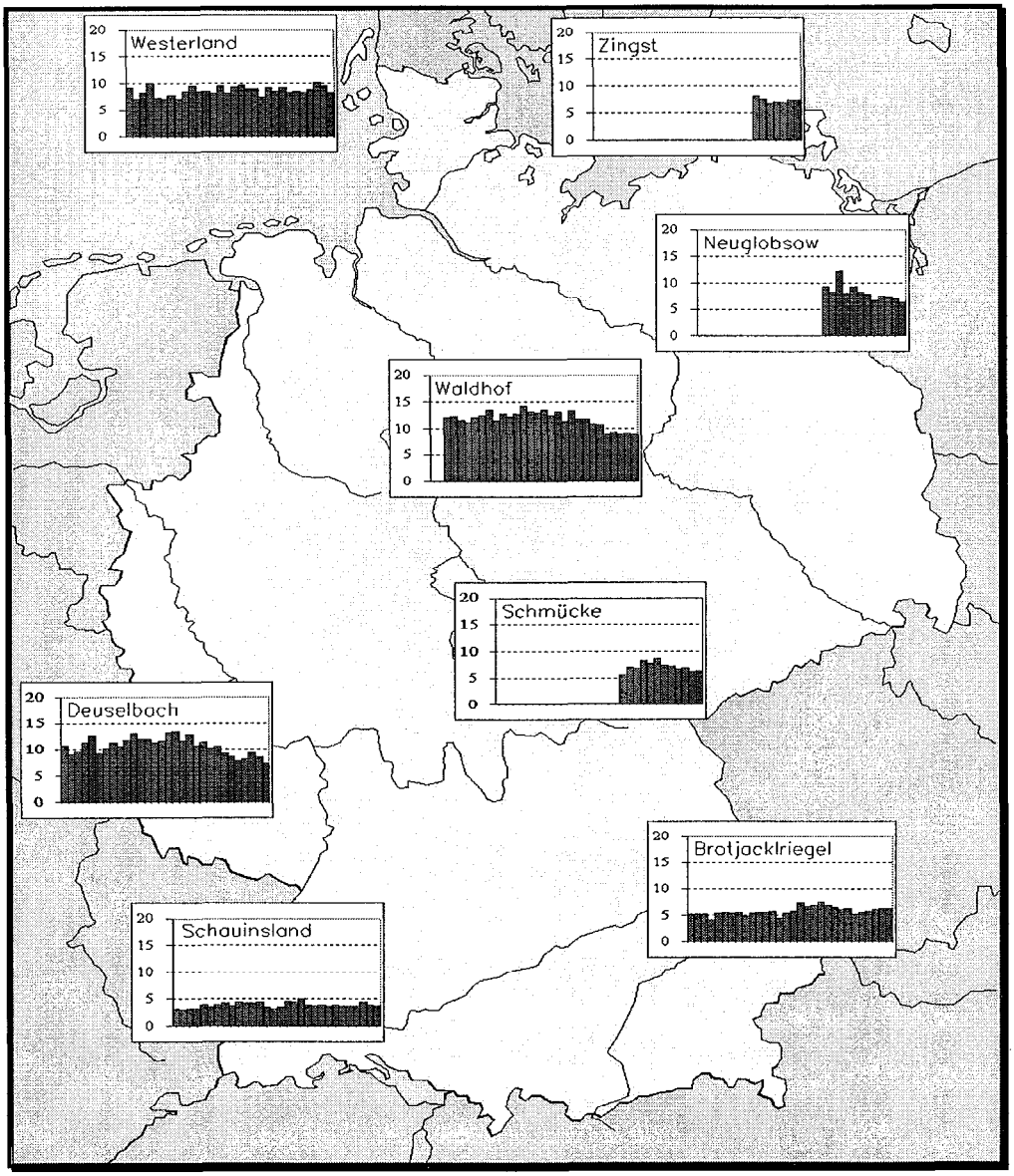


Abbildung 5: Jahresmittel von Stickstoffdioxid für 1969 bis 1998 in µg/m³ an den personellen Messstellen des UBA, nasschemisches Saltzman- Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	17	16	10	11	8	6	4	-	-	7	29	23	13
ZG	17	26	10	11	11	9	7	8	9	10	20	23	13
HG	13	21	11	12	8	8	5	5	11	6	20	18	11
HW	21	26	15	16	13	11	-	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	6	6	13	9	24	15	-
TE	12	21	15	11	12	8	6	12	-	-	-	-	12
UE	13	15	7	8	8	6	5	6	9	8	14	19	10
NG	11	17	7	8	4	5	5	-	6	9	18	20	10
AN	19	20	7	10	-	-	7	9	11	-	16	22	14
KY	19	26	14	16	11	15	-	-	-	-	-	-	-
BA	15	25	15	19	13	12	-	-	10	10	26	26	16
WA	18	32	14	13	10	11	8	10	11	14	28	27	17
WI	16	24	13	13	8	8	6	4	8	10	23	22	13
GI	35	48	29	29	23	22	19	24	28	25	44	44	31
LI	15	27	12	9	7	8	5	7	8	-	-	-	11
DL	19	24	10	12	12	12	8	9	7	8	-	-	12
MP	16	23	9	9	9	12	9	10	8	8	19	15	12
LF	15	23	12	11	7	6	5	7	9	7	18	17	11
ME	22	31	21	16	15	11	12	-	-	-	-	-	18
HE	19	36	17	18	14	13	12	5	-	12	21	19	17
LM	12	20	-	9	6	-	-	-	9	9	18	11	11
LU	13	20	10	9	7	-	5	4	3	6	18	21	11
SM	12	20	10	9	8	7	7	8	8	12	21	16	11
SZ	19	23	12	15	14	13	10	12	7	9	23	-	14
RE	20	25	12	8	6	5	12	8	7	14	20	-	12
DE	14	19	14	9	12	10	11	12	12	12	19	17	13
AS	18	24	13	12	12	8	-	11	11	10	12	16	13
BR	9	14	9	4	5	6	6	8	7	10	16	13	9
RT	20	25	15	11	11	11	12	12	13	12	20	25	16
SC	8	8	10	5	-	11	8	6	5	4	4	4	7
MU	17	-	14	7	8	6	6	-	8	10	19	23	12

Tabelle 11: Monats- und Jahresmittel Stickstoffdioxid für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	2.2	0.7	0.6	0.6	0.4	0.2	0.2	-	-	0.2	5.8	2.0	1.3
ZG	1.1	0.9	0.5	0.6	0.8	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	1.9	1.1	0.8
HG	2.7	2.6	1.7	1.7	1.6	1.6	1.4	1.4	1.7	1.4	4.1	2.7	2.1
HW	4.7	3.6	2.4	3.2	2.1	2.0	-	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	1.3	1.5	2.1	1.5	8.3	3.5	-
TE	3.8	2.2	2.4	3.1	4.0	2.6	2.1	3.0	-	-	-	-	2.9
UE	2.5	1.5	1.5	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	2.5	2.3	1.7
NG	1.8	0.6	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	-	0.3	0.8	2.4	2.6	0.9
AN	5.8	2.2	1.6	1.9	1.6	-	1.5	1.6	1.8	-	3.9	6.0	2.8
KY	7.6	4.6	3.4	3.3	2.9	5.1	-	-	-	-	-	-	-
BA	2.5	3.7	1.6	1.8	1.4	1.4	-	-	1.4	2.0	7.8	3.4	2.6
WA	0.8	1.7	0.8	0.8	0.3	0.4	0.3	0.3	0.5	0.9	5.6	2.9	1.3
WI	3.7	2.2	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.4	1.6	1.9	6.7	3.0	2.3
GI	12.4	12.3	3.3	3.2	2.3	2.4	2.0	3.3	3.3	5.2	16.0	11.0	6.4
LI	1.8	1.7	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	-	-	-	1.4
DL	3.0	2.1	1.6	1.8	2.1	1.7	1.5	1.6	2.0	1.5	-	-	1.9
MP	3.5	2.2	1.5	1.6	1.6	2.1	1.6	1.5	1.9	1.5	3.4	2.3	2.1
LF	2.1	1.6	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.6	1.6	3.1	2.1	1.7
ME	8.2	4.5	2.9	3.0	1.8	2.4	2.1	-	-	-	-	-	3.6
HE	4.0	3.8	1.6	1.5	1.5	1.6	1.5	1.4	-	2.1	6.3	2.9	2.6
LM	2.0	2.8	-	3.4	7.4	-	-	-	1.7	1.7	2.6	1.4	2.8
LU	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	-	1.3	1.3	1.4	1.4	2.4	1.6	1.5
SM	0.7	0.9	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.7	1.8	0.7	0.6
SZ	3.0	1.7	1.6	1.6	1.9	1.8	1.5	1.5	1.6	1.6	3.9	-	2.0
RE	3.3	3.0	1.4	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.4	2.4	3.2	-	2.0
DE	1.0	1.0	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	1.2	1.3	0.7
AS	4.4	3.2	1.9	2.4	2.5	2.1	-	1.3	2.4	2.1	2.2	2.8	2.5
BR	0.5	0.8	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.5	1.0	0.6	0.4
RT	3.2	2.8	1.6	1.7	1.3	1.3	1.4	1.3	2.0	2.1	3.6	8.9	2.6
SC	0.8	0.8	0.6	0.3	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4
MU	5.6	-	2.3	1.7	1.8	1.6	1.5	-	2.4	2.7	4.5	8.8	3.4

Tabelle 12: Monats- und Jahresmittel Stickstoffmonoxid für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	74	93	55	37	36	26	28	-	-	57	89	124
ZG	62	88	43	42	70	68	35	68	32	50	69	84
HG	62	80	74	50	52	34	28	39	76	59	79	76
HW	64	76	70	50	33	25	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	31	35	34	46	71	58
TE	82	81	47	51	68	51	49	64	-	-	-	-
UE	63	74	59	28	46	25	29	29	29	34	56	64
NG	60	70	40	50	15	14	24	-	20	46	54	72
AN	93	97	61	58	-	-	48	54	35	-	64	97
KY	75	76	56	68	70	58	-	-	-	-	-	-
BA	61	76	54	63	39	42	-	-	47	53	77	101
WA	78	97	56	51	37	27	26	32	24	51	83	88
WI	63	74	52	42	34	25	27	14	41	41	73	159
GI	97	102	86	66	85	52	88	86	68	76	121	127
LI	58	81	56	46	26	28	20	40	43	-	-	-
DL	81	77	47	42	69	43	27	43	23	37	-	-
MP	86	72	45	34	38	46	40	34	39	31	62	59
LF	86	68	118	66	54	36	40	51	41	49	83	95
ME	86	88	85	95	100	67	80	-	-	-	-	-
HE	78	97	65	52	53	43	47	29	-	42	61	64
LM	63	67	-	49	36	-	-	-	43	41	80	48
LU	68	67	45	33	28	-	20	19	14	35	102	71
SM	68	70	39	30	22	21	21	19	35	46	90	80
SZ	100	84	72	74	89	82	64	63	45	51	79	-
RE	86	100	48	37	32	22	38	25	27	39	60	-
DE	73	84	46	43	41	30	48	31	34	34	66	64
AS	73	95	102	83	86	63	-	58	71	45	41	52
BR	55	42	43	21	25	18	18	26	23	50	90	70
RT	69	91	48	51	31	28	38	39	55	59	62	104
SC	31	29	60	27	-	29	46	16	14	16	20	17
MU	67	-	68	57	56	40	27	-	46	46	80	85

Tabelle 13: Monatsmaxima Stickstoffdioxid für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	51	21	13	8	5	11	5	-	-	11	73	41
ZG	38	25	7	11	15	12	3	5	7	22	22	19
HG	40	51	14	17	17	12	13	12	24	18	43	39
HW	65	33	18	83	13	5	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	15	43	42	17	82	55
TE	71	33	20	41	76	40	31	69	-	-	-	-
UE	54	13	53	9	7	12	13	5	19	24	27	52
NG	75	17	8	7	5	4	4	-	5	48	36	75
AN	111	90	29	31	31	-	14	36	26	-	47	113
KY	111	41	95	83	81	86	-	-	-	-	-	-
BA	48	44	12	22	5	5	-	-	15	40	93	40
WA	24	27	10	4	4	4	10	5	7	27	58	46
WI	42	21	13	7	7	9	5	25	12	18	45	68
GI	193	85	44	72	88	35	28	66	33	149	167	144
LI	22	23	24	7	3	3	1	9	18	-	-	-
DL	39	31	44	56	62	27	24	33	42	14	-	-
MP	45	31	14	34	22	40	20	22	53	35	39	36
LF	46	12	20	11	14	9	14	14	41	39	34	33
ME	178	66	63	49	54	82	79	-	-	-	-	-
HE	67	50	15	16	31	25	15	12	-	24	135	23
LM	59	13	-	14	26	-	-	-	26	16	46	9
LU	17	10	9	5	5	-	4	9	10	9	37	18
SM	21	14	6	8	4	3	3	3	5	12	34	17
SZ	131	22	72	36	102	65	47	31	38	34	60	-
RE	62	182	15	9	4	9	14	16	6	25	31	-
DE	29	27	8	8	6	3	5	4	6	13	27	35
AS	69	88	56	92	70	26	-	14	64	24	16	45
BR	14	40	31	21	10	26	14	3	4	19	63	32
RT	59	31	20	24	12	8	17	5	48	34	65	159
SC	17	9	11	8	-	0	2	2	2	5	12	4
MU	73	-	46	44	25	12	22	-	46	81	77	95

Tabelle 14: Monatsmaxima Stickstoffmonoxid für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	10	12	5	10	8	5	2	-	-	6	23	16
ZG	13	23	8	10	9	8	6	7	9	7	14	19
HG	7	17	5	10	6	7	2	2	9	2	11	14
HW	16	24	12	14	12	10	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	5	4	13	7	21	11
TE	10	19	13	9	10	5	5	10	-	-	-	-
UE	9	11	5	8	8	6	4	5	9	6	10	17
NG	8	15	6	7	4	5	4	-	6	8	12	15
AN	15	15	2	8	-	-	5	6	10	-	7	16
KY	16	24	12	15	9	14	-	-	-	-	-	-
BA	10	22	11	18	12	12	-	-	9	7	23	20
WA	14	29	11	12	9	11	8	8	10	11	23	21
WI	12	23	11	12	7	8	6	2	8	8	20	18
GI	29	47	24	26	20	21	17	21	27	22	40	40
LI	13	26	11	8	6	7	2	6	7	-	-	-
DL	16	23	8	11	10	10	7	8	6	5	-	-
MP	12	21	6	8	8	11	8	9	7	6	16	13
LF	9	20	8	10	6	6	5	5	7	2	12	10
ME	16	28	17	12	13	9	10	-	-	-	-	-
HE	12	33	14	16	12	11	10	2	-	10	18	16
LM	8	18	-	8	6	-	-	-	7	8	12	8
LU	10	18	9	8	6	-	5	2	2	2	11	17
SM	10	19	9	8	8	7	6	7	7	11	15	12
SZ	12	22	8	12	11	10	8	8	5	6	17	-
RE	13	23	10	7	5	4	10	7	6	13	18	-
DE	11	17	12	8	11	9	10	11	11	11	16	14
AS	14	21	10	8	7	6	-	8	7	8	10	15
BR	7	13	7	4	5	6	6	7	6	9	11	10
RT	16	22	13	9	11	10	10	11	11	10	15	21
SC	5	7	9	4	-	10	7	6	5	4	3	4
MU	15	-	12	5	6	5	5	-	6	8	15	21

Tabelle 15: Monatliche 50-Perzentile von Stickstoffdioxid für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	0.1	0.9	0.1
ZG	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2
HG	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
HW	2.7	2.8	2.2	1.3	2.1	2.0	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
TE	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	-	-	-	-
UE	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
NG	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1
AN	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	-	1.3	1.3	1.3	-	1.3	1.3
KY	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	-	-	-	-	-	-
BA	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	-	-	1.3	1.3	1.3	1.3
WA	0.3	0.4	0.4	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3
WI	3.1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	4.0	1.3
GI	2.6	4.2	2.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
LI	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	-	-	-
DL	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	-	-
MP	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
LF	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
ME	1.3	2.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	-	-	-	-	-
HE	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	-	1.3	1.3	1.3
LM	1.3	1.3	-	1.3	5.9	-	-	-	1.3	1.3	1.3	1.3
LU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	-	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
SM	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
SZ	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	-
RE	1.3	0.8	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	-
DE	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
AS	1.3	1.3	1.3	1.3	2.2	2.1	-	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
BR	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
RT	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
SC	0.4	0.6	0.3	0.3	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
MU	1.3	-	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	-	1.3	1.3	1.3	2.9

Tabelle 16: Monatliche 50-Perzentile von Stickstoffmonoxid für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	67	65	41	26	20	16	16	-	-	28	83	76
ZG	53	76	29	28	35	24	15	21	19	33	63	60
HG	56	72	43	33	27	22	18	21	32	35	70	62
HW	55	62	42	33	22	21	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	20	21	29	27	58	48
TE	46	57	34	25	37	31	24	32	-	-	-	-
UE	45	53	28	20	21	14	14	15	20	23	46	51
NG	39	48	24	20	11	11	12	-	13	26	48	62
AN	66	60	32	37	-	-	30	35	27	-	55	76
KY	56	58	39	41	36	40	-	-	-	-	-	-
BA	52	67	43	40	29	26	-	-	31	39	68	74
WA	57	83	43	30	32	23	19	24	19	37	68	74
WI	55	58	31	31	22	19	16	10	20	29	53	79
GI	84	88	65	57	55	43	43	56	55	61	107	98
LI	50	70	35	24	16	18	13	19	28	-	-	-
DL	62	58	33	30	31	29	19	28	17	24	-	-
MP	59	51	28	22	22	27	20	25	21	23	45	42
LF	72	57	39	31	24	19	15	27	29	32	62	75
ME	75	76	61	58	44	43	42	-	-	-	-	-
HE	72	82	46	40	34	31	30	17	-	33	52	56
LM	52	60	-	24	16	-	-	-	26	30	63	41
LU	45	60	28	18	20	-	16	12	8	28	73	58
SM	44	53	27	20	16	13	12	16	19	32	69	60
SZ	68	56	46	48	45	48	33	43	30	31	60	-
RE	69	82	34	21	19	14	25	18	19	30	51	-
DE	48	46	29	22	28	16	21	23	24	26	52	55
AS	62	68	57	44	58	28	-	38	51	26	31	41
BR	33	33	27	13	11	11	13	20	15	23	66	51
RT	56	64	37	34	23	22	25	23	36	33	52	74
SC	26	21	25	13	-	20	16	11	10	9	9	9
MU	48	-	43	28	29	20	17	-	26	29	62	60

Tabelle 17: Monatliche 98-Perzentile von Stickstoffdioxid für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	26.2	5.8	5.8	3.8	2.2	1.5	1.2	-	-	1.4	47.6	22.3
ZG	13.6	11.2	3.2	4.0	4.5	3.4	1.6	2.2	2.0	2.5	17.0	9.7
HG	23.5	15.4	7.1	6.5	5.6	4.5	2.9	3.3	6.5	2.6	31.2	19.0
HW	32.3	19.2	6.7	16.5	4.3	3.9	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	1.3	2.6	13.0	4.1	59.6	31.8
TE	26.5	15.6	11.7	15.1	24.6	17.5	13.3	21.8	-	-	-	-
UE	19.0	4.5	2.5	2.1	1.3	1.3	1.3	1.3	3.4	3.1	15.5	13.0
NG	27.0	5.9	1.9	2.2	0.9	1.1	0.9	-	1.3	8.6	24.1	30.8
AN	48.3	12.7	4.6	9.2	6.4	-	4.2	3.7	8.7	-	28.1	65.4
KY	62.6	23.0	17.6	18.5	16.3	34.6	-	-	-	-	-	-
BA	17.9	27.8	4.8	7.1	3.6	2.8	-	-	2.8	14.3	66.4	24.2
WA	6.8	13.5	4.7	2.9	1.8	2.2	2.3	2.1	2.8	9.5	40.1	24.0
WI	17.9	8.6	4.1	4.0	2.7	3.0	2.5	1.3	4.4	8.8	28.5	16.0
GI	93.5	65.0	16.7	21.2	11.7	11.2	9.0	25.4	19.7	63.4	113.0	97.0
LI	10.5	6.8	2.7	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	2.8	-	-	-
DL	21.6	8.8	4.7	9.2	14.3	6.1	3.2	5.7	10.1	5.6	-	-
MP	33.1	13.1	4.0	6.6	6.2	13.8	5.5	4.6	9.8	5.5	26.3	12.7
LF	18.3	6.2	2.5	1.3	2.2	2.6	2.3	2.4	4.4	6.3	24.4	14.8
ME	86.3	28.6	14.3	23.7	5.5	9.7	5.5	-	-	-	-	-
HE	31.2	22.6	6.5	4.2	4.4	5.1	3.9	2.5	-	13.6	41.5	16.0
LM	9.3	10.3	-	10.6	22.6	-	-	-	5.3	8.0	18.3	3.1
LU	6.9	5.6	2.9	1.3	1.3	-	1.3	1.3	1.3	3.2	17.1	5.0
SM	6.0	6.4	1.9	1.3	1.6	1.2	1.1	1.3	1.8	5.4	14.8	5.9
SZ	20.1	9.8	4.0	6.1	7.3	6.1	3.3	4.2	7.3	4.0	29.3	-
RE	28.0	28.3	2.6	1.3	1.3	1.3	2.3	3.6	2.6	13.5	20.1	-
DE	10.2	6.7	3.2	2.1	2.2	1.3	1.9	1.9	1.9	4.8	13.3	13.3
AS	40.3	25.9	7.7	18.1	6.9	4.1	-	2.1	21.0	14.4	10.5	18.1
BR	3.1	6.5	2.2	0.9	0.6	1.5	0.9	1.0	1.0	3.2	12.9	4.8
RT	26.6	18.7	6.1	7.8	1.3	2.2	2.4	1.3	10.9	12.2	24.3	78.9
SC	4.7	3.8	4.7	1.5	-	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6
MU	42.1	-	9.0	6.3	5.5	4.5	3.5	-	12.9	19.7	28.6	48.8

Tabelle 18: Monatliche 98-Perzentile von Stickstoffmonoxid für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
WE	0	0	1	1	3	8	15	32	49	64	93
ZG	1	2	3	4	6	10	16	27	40	53	88
HG	2	2	2	2	2	6	15	29	40	55	80
HW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
UE	2	2	2	2	2	7	12	22	30	40	74
SW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NG	1	2	2	3	4	7	12	22	33	44	72
AN	2	2	2	2	2	9	18	33	44	57	97
KY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	1	2	2	2	7	13	22	36	47	58	101
WA	1	3	4	5	8	12	19	36	48	61	97
WI	2	2	2	2	5	9	16	27	35	47	124
GI	5	10	11	13	17	25	39	58	69	82	127
LI	2	2	2	2	5	8	14	24	32	41	81
DL	2	2	2	2	5	9	16	25	32	42	108
MP	2	2	2	2	5	10	16	25	31	39	86
LF	2	2	2	2	2	7	14	27	37	51	118
ME	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE	2	2	2	5	8	13	22	35	44	61	97
LM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LU	2	2	2	2	2	7	13	24	34	49	102
SM	0	2	3	4	6	9	13	22	30	44	90
SZ	2	2	2	2	5	10	19	32	42	53	100
RE	2	2	2	2	5	9	15	25	35	50	100
DE	0	4	5	6	8	11	16	23	29	39	84
AS	2	2	2	2	5	9	18	29	39	52	102
BR	0	2	2	3	5	7	11	17	22	31	90
RT	2	4	5	6	8	12	19	30	39	50	104
SC	0	2	2	3	4	6	8	11	15	19	60
MU	2	2	2	2	4	8	16	28	38	48	85

Tabelle 19: Jährliche Perzentile von Stickstoffdioxid für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
WE	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	2.2	5.4	14.9	73.0
ZG	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.7	1.5	2.5	6.7	38.2
HG	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	2.7	5.2	11.8	51.0
HW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
UE	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	2.3	6.9	54.1
SW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NG	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.9	2.3	11.2	75.1
AN	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	3.6	9.4	23.7	112.8
KY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	3.0	7.4	21.1	92.8
WA	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.7	2.0	4.9	15.4	57.6
WI	0.1	1.0	1.3	1.3	1.3	1.3	1.7	3.8	5.8	11.3	45.1
GI	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	3.3	13.8	31.7	62.9	193.1
LI	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	3.4	23.6
DL	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	2.5	4.6	9.8	62.0
MP	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	2.1	5.8	12.5	53.0
LF	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	2.7	7.9	46.2
ME	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	3.8	9.0	18.6	134.8
LM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	4.4	36.5
SM	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	1.1	2.1	4.8	33.5
SZ	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	3.5	11.3	131.4
RE	1.3	0.5	0.9	1.3	1.3	1.3	1.3	2.4	4.4	11.9	181.6
DE	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	1.5	2.5	4.8	35.4
AS	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	3.0	6.7	16.9	91.9
BR	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.7	1.3	2.8	63.1
RT	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	2.7	7.4	18.4	158.9
SC	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.6	1.0	2.2	17.1
MU	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	2.2	6.3	12.9	27.0	95.3

Tabelle 20: Jährliche Perzentile von Stickstoffmonoxid für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

Stationen	WE	ZG	HG	AU	HW	TE	UE	SW	NG	AN	SH	KY	BA	WA	WI	GI	LI	FA
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	19	14	-	33	-	-
1989	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	25	12	-	36	-	-
1990	-	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	-	24	9	-	30	-	-
1991	-	-	-	-	15	-	-	18	-	-	-	14	23	11	12	30	14	-
1992	-	8	-	-	19	9	8	18	10	11	-	13	26	13	13	27	13	-
1993	-	9	-	-	21	10	8	18	8	12	-	14	19	15	9	27	13	-
1994	-	9	-	-	17	15	11	14	8	14	-	15	9	15	-	24	13	-
1995	-	13	-	-	14	15	9	15	9	-	-	19	13	14	16	19	12	-
1996	13	11	12	-	17	16	11	17	9	15	-	16	13	17	19	19	13	-
1997	12	13	13	-	15	15	11	15	-	13	-	17	15	18	-	32	12	-
1998	13	13	11	-	-	12	10	-	10	14	-	-	16	17	12	31	11	-

Stationen	DL	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	AS	BR	RT	SC	MU	ZU
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	31	-	-	-	-	-	24	12	18	-	18	-	-	-
1989	-	-	-	33	-	-	-	-	-	15	16	23	-	19	6	-	-
1990	-	-	-	32	17	-	-	-	-	18	13	21	-	18	6	-	-
1991	14	-	-	29	17	-	-	-	17	26	16	22	9	20	6	-	-
1992	14	-	16	32	19	-	8	14	17	26	11	23	8	19	6	-	-
1993	14	-	17	18	17	-	11	9	17	18	-	20	-	-	6	-	-
1994	14	11	12	18	-	11	10	9	15	-	6	15	3	-	6	-	-
1995	12	12	11	20	16	13	9	10	14	-	9	18	6	-	7	-	-
1996	13	12	12	22	17	16	12	9	16	9	17	19	5	-	8	11	-
1997	12	10	13	27	19	12	10	13	17	11	14	20	-	21	6	11	-
1998	12	12	11	18	17	11	11	11	14	12	13	13	9	16	7	12	-

Tabelle 21: Jahresmittel von Stickstoffdioxid, 1987 - 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

Stationen	Wester-land	Zingst	Neuglob-sow	Waldhof	Schmücke	Deusel-bach	Brot-jacklr.	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

Tabelle 22: Jahresmittel von Stickstoffdioxid für 1968 bis 1998 in µg/m³, nasschemisches Saltzman- Messverfahren

Stationen	WE	ZG	HG	AU	HW	TE	UE	SW	NG	AN	SH	KY	BA	WA	WI	GI	LI	FA
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.4	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	4.6	-	-	-	-	-	-	-	4.0	3.0	-	9.4	-	-
1989	-	-	-	-	3.2	-	-	-	-	-	-	-	5.3	4.0	-	17	-	-
1990	-	-	-	-	4.5	-	-	-	-	-	-	-	3.5	2.1	-	11	-	-
1991	-	-	-	-	4.9	-	-	7.7	-	-	-	6.8	5.3	4.0	2.2	11	2.6	-
1992	-	1.6	-	-	2.9	3.0	1.7	5.4	1.9	2.2	-	5.0	3.8	2.7	2.0	14	1.8	-
1993	-	1.5	-	-	2.6	3.3	2.3	6.3	1.5	2.1	-	4.4	2.9	2.7	1.8	14	2.0	-
1994	-	1.5	-	-	2.0	3.7	1.8	4.5	1.5	2.5	-	5.0	2.5	2.4	-	6.6	2.1	-
1995	-	1.6	-	-	2.1	4.7	2.1	4.7	1.7	3.4	-	5.8	2.6	2.0	5.4	7.6	2.0	-
1996	1.7	1.6	2.0	-	2.9	4.6	2.2	5.8	1.7	2.7	-	4.2	3.1	2.1	5.2	7.0	1.9	-
1997	1.6	0.8	2.9	-	3.7	4.4	2.2	5.0	0.8	3.1	-	5.1	2.8	1.5	-	8.7	2.0	-
1998	1.3	0.8	2.1	-	-	2.9	1.7	-	0.9	2.8	-	-	2.6	1.3	2.2	6.4	1.4	-

Stationen	DL	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	AS	BR	RT	SC	MU	ZU
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.7	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	5.9	-	-	-	-	-	2.5	1.8	4.3	-	8.0	-	-	-
1989	-	-	-	6.5	-	-	-	-	-	2.7	6.1	3.9	-	6.8	1.4	-	-
1990	-	-	-	4.4	2.4	-	-	-	-	2.5	4.3	3.4	-	7.5	1.3	-	-
1991	3.0	-	-	6.0	3.0	-	-	-	3.2	2.8	3.6	5.0	2.8	3.8	1.3	-	-
1992	2.6	-	2.5	5.5	2.9	-	1.6	1.7	3.9	2.9	5.1	4.5	2.7	5.8	1.4	-	-
1993	5.3	-	2.6	7.3	3.4	-	1.6	1.5	3.9	3.0	4.5	3.1	-	-	1.4	-	-
1994	3.0	2.6	2.0	3.5	-	1.6	1.5	1.5	3.4	-	1.6	2.8	2.3	-	1.4	-	-
1995	2.7	2.7	2.3	11	5.3	1.8	1.5	1.6	2.3	-	1.8	2.8	2.2	-	1.7	-	-
1996	2.8	2.9	1.7	5.6	3.8	1.8	1.6	1.4	2.6	1.6	1.9	3.5	1.9	-	1.1	2.4	0.2
1997	3.0	3.2	2.1	6.8	2.7	1.9	1.6	0.8	3.5	2.1	1.0	3.9	-	5.2	0.3	4.2	0.2
1998	1.9	2.1	1.7	3.6	2.6	2.8	1.5	0.6	2.0	2.0	0.7	2.5	0.4	2.6	0.4	3.4	-

Tabelle 23: Jahresmittel von Stickstoffmonoxid in µg/m³, 1988-1998, kontinuierliches Messverfahren

2.1.3 Ozon (O_3)

In der Tabelle 24 sind die Monats- und Jahresmittel der Ozon-Konzentrationen und in der Tabelle 25 die maximalen monatlichen Halbstundenwerte zusammengestellt. Die höchsten Jahreswerte treten generell an den Bergstationen Schauinsland (87 $\mu g/m^3$), Brotjacklriegel (80 $\mu g/m^3$) und Schmücke (72 $\mu g/m^3$) auf. Der Grund für die höheren mittleren Ozon-Konzentrationen und für den relativ schwach ausgeprägten Jahresgang der Monatswerte an den Mittelgebirgsstationen im Vergleich zu den ländlichen und städtischen Flachlandstationen liegt neben den geringen Ozon zerstörenden NO-Emissionen im näheren Einzugsbereich der Bergstationen vor allem daran, dass die Bergstationen häufig oberhalb der in der Regel ozonärmeren bodennahen Mischungsschicht in der freien Troposphäre liegen, vor allem im Winter.

Auffallend ist auch der hohe Jahreswert an der Nordseestation Westerland (65 $\mu g/m^3$). Dieser hohe Wert ist vor allem auf den erheblichen Beitrag des nordhemisphärischen Ozonhintergrundes (NHMLB) zum Jahresmittelwert zurückzuführen, vor allem in den Wintermonaten (siehe auch Kapitel 3.1.3.).

Während die maximalen Monatsmittel fast durchweg im Mai vorkamen (Tabelle 24), traten die maximalen Halbstundenwerte an den meisten Stationen im August 1998 auf (Tabelle 25). Die höchsten Halbstundenwerte wurden am 11. und 12.August mit 270 $\mu g/m^3$ in Leinefelde beobachtet, gefolgt von Rottenburg (258 $\mu g/m^3$), Schmücke (238 $\mu g/m^3$), Gittrup (237 $\mu g/m^3$), Aukrug (236 $\mu g/m^3$), Doberlug-Kirchhain (224 $\mu g/m^3$) und Melpitz (223 $\mu g/m^3$). Zum Vergleich: Der höchste Ozonwert in Deutschland wurde am 11. August 1998 mit 287 $\mu g/m^3$ in Neuwied beobachtet. Die sehr hohen O_3-Konzentrationen am 11. und 12. August sind auf die extrem heiße und stabile meteorologische Situation zurückzuführen (siehe Kapitel 3.1.5).

In der Tabelle 26 sind die monatlichen 50-Perzentile, in Tabelle 27 die monatlichen 98-Perzentile und in Tabelle 28 die jährlichen Perzentile für 1998 zusammen mit den Minima und Maxima der Ozonhalbstundenwerte zusammengestellt. Der in der TA Luft angegebene Grenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit für das 98-Perzentil von 180 $\mu g/m^3$ wurde an keiner Station erreicht. Das höchste 98-Perzentil wurde mit 156 $\mu g/m^3$ am Schauinsland gemessen. Der Schwellenwert von 240 $\mu g/m^3$ wurde nur in Rottenburg und Leinefelde überschritten.

Wie aus Tabelle 29 zu sehen ist, haben sich die Ozon-Jahresmittel an den Stationen des UBA zwischen 1990 und 1998 nur geringfügig geändert, trotz des erheblichen Rückgangs der NO_x- bzw. VOC-Emissionen in Deutschland um mehr als 30% bzw. 40%. Auf die Gründe wird näher in Kapitel 3.1. eingegangen.

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	49	56	-	72	88	88	81	77	61	65	38	47	65
ZG	43	46	67	67	79	73	64	59	54	50	35	35	56
HG	52	49	68	71	89	82	78	76	57	64	43	44	64
HW	37	40	61	59	74	63	-	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	59	65	40	48	27	42	-
TE	39	43	57	57	65	63	58	56	-	-	-	-	54
UE	43	48	65	71	80	72	64	61	54	52	34	41	57
NG	38	42	64	60	78	66	62	62	42	44	28	34	52
AN	36	48	61	60	77	74	66	63	45	43	30	36	54
KY	37	42	61	59	77	62	-	-	-	-	-	-	-
BA	35	34	53	53	70	50	55	57	39	39	21	33	44
WA	38	39	56	56	74	60	57	64	40	44	21	34	48
WI	34	40	53	63	88	72	67	69	47	38	23	31	51
GI	33	29	50	51	67	52	50	58	36	33	18	25	42
LI	40	45	60	68	86	77	74	73	51	-	-	-	63
DL	37	44	57	65	77	78	69	74	46	40	-	-	59
MP	38	41	56	56	69	63	59	66	42	41	26	35	49
LF	47	50	61	67	84	72	67	81	52	45	30	-	58
ME	41	41	54	57	74	62	53	-	-	-	-	-	55
HE	-	-	70	73	81	69	65	61	51	42	30	36	57
LM	58	62	69	74	77	71	64	70	51	42	35	36	59
LU	37	55	72	83	91	-	75	89	58	41	35	41	62
SM	54	59	75	87	105	92	80	99	74	49	42	50	72
SZ	46	48	67	-	89	79	71	84	54	41	33	-	61
RE	44	51	70	78	88	80	71	84	57	43	37	-	64
DE	54	62	70	82	96	85	74	94	68	49	40	48	69
AS	29	32	50	58	66	52	50	65	40	31	25	27	44
BR	60	68	77	95	107	100	88	110	81	59	54	58	80
RT	37	27	-	-	-	78	73	94	-	47	35	32	54
SC	-	87	85	97	119	100	89	109	81	66	66	73	87
MU	33	38	64	79	80	75	69	65	47	40	39	49	57

Tabelle 24: Monats- und Jahresmittel Ozon für 1998 in µg/m³, bezogen auf 20° C

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	88	128	-	111	150	176	147	139	107	112	95	91
ZG	80	98	102	121	152	122	152	130	110	94	80	81
HG	89	109	101	137	147	201	161	134	109	108	92	89
HW	78	101	97	129	149	124	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	167	236	99	85	90	121
TE	77	97	100	112	144	117	145	150	-	-	-	-
UE	85	80	121	141	150	130	209	141	112	90	97	107
NG	87	92	114	131	161	144	165	150	101	90	72	80
AN	87	95	112	123	166	189	216	143	122	87	75	82
KY	81	89	111	119	186	144	-	-	-	-	-	-
BA	75	92	109	121	166	133	165	209	98	78	68	92
WA	76	89	98	121	167	141	184	220	102	95	75	82
WI	73	87	107	131	176	148	186	146	128	85	73	79
GI	80	91	130	138	177	172	207	237	97	90	73	81
LI	84	94	110	123	166	158	171	166	117	-	-	-
DL	78	96	110	138	179	175	192	224	124	85	-	-
MP	79	98	116	123	174	170	188	223	118	85	74	82
LF	81	94	102	115	166	179	174	270	112	83	81	-
ME	80	95	116	131	165	160	164	-	-	-	-	-
HE	-	-	128	121	165	191	184	187	121	87	84	82
LM	101	99	121	126	144	148	188	216	119	91	84	79
LU	77	99	131	141	151	-	174	214	121	88	77	80
SM	91	97	136	144	186	195	186	238	121	90	83	94
SZ	81	106	135	-	181	174	188	209	111	98	85	-
RE	85	96	144	128	177	142	159	194	106	100	82	-
DE	91	108	135	143	191	187	158	209	120	100	82	93
AS	76	75	143	125	162	101	138	176	119	88	67	73
BR	92	116	138	143	174	150	166	200	135	103	95	98
RT	83	70	-	-	-	154	185	258	-	101	83	72
SC	-	117	162	139	204	167	154	205	123	97	100	94
MU	76	112	140	145	205	141	175	174	117	106	91	110

Tabelle 25: Monatsmaxima Ozon für 1998 in µg/m³, bezogen auf 20° C

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZG	8	15	9	10	9	4	7	7	11	7	10	10
HG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	14	15	18	14	19	20
TE	11	19	12	15	19	-	-	14	-	-	-	-
UE	13	18	12	17	18	16	13	12	19	11	16	15
NG	8	16	9	12	12	11	10	9	19	9	13	11
AN	18	21	16	22	23	19	16	16	25	14	24	21
KY	18	-	16	17	24	21	-	-	-	-	-	-
BA	20	49	21	19	25	16	16	14	16	16	21	20
WA	14	24	14	9	8	6	5	5	6	5	9	8
WI	23	-	25	29	43	31	22	16	17	12	21	-
GI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	15	-
LI	15	21	15	18	21	17	17	16	17	-	-	-
DL	16	21	12	18	23	18	14	16	16	14	-	-
MP	15	24	15	17	23	18	15	17	15	12	21	19
LF	14	23	14	15	24	18	17	21	16	12	18	15
ME	15	33	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE	15	28	14	-	-	-	13	16	12	11	15	-
LM	11	19	21	23	-	25	21	-	19	13	-	15
LU	19	27	15	19	24	-	16	18	17	13	19	23
SM	8	16	9	8	17	11	12	20	8	5	7	7
SZ	11	18	14	12	23	13	13	19	13	10	14	-
RE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DE	5	9	7	4	10	6	6	9	6	5	6	9
AS	18	29	18	16	24	15	16	25	19	12	-	15
BR	4	13	-	-	-	14	15	21	13	9	13	11
RT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC	3	4	6	4	-	9	10	13	8	5	7	6
MU	12	18	11	9	17	12	13	17	9	-	13	13

Tabelle 26: Monatliche 50-Perzentile von Ozon für 1998 in µg/m³, bezogen auf 20° C

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZG	27	36	33	37	33	17	24	21	49	25	100	51
HG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	56	63	75	37	98	71
TE	40	59	49	57	77	-	-	70	-	-	-	-
UE	48	61	52	63	84	54	55	52	70	33	130	71
NG	39	43	41	35	43	26	27	32	61	23	90	59
AN	65	76	57	68	104	63	52	62	80	39	131	78
KY	58	-	53	48	109	55	-	-	-	-	-	-
BA	66	142	61	56	146	44	45	58	45	37	89	67
WA	45	68	53	36	78	22	29	25	28	14	45	35
WI	114	-	91	93	193	77	69	65	66	29	99	-
GI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39	49	-
LI	60	70	61	67	98	46	51	61	64	-	-	-
DL	71	57	64	74	112	65	52	78	64	38	-	-
MP	82	65	65	62	85	56	42	63	60	33	113	91
LF	66	62	49	57	79	72	59	101	72	33	84	70
ME	58	84	84	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE	76	64	52	-	-	-	33	44	48	29	90	-
LM	60	78	75	76	-	87	71	-	69	44	-	48
LU	98	94	60	67	71	-	55	65	62	38	113	72
SM	37	41	43	39	56	42	48	38	40	17	28	29
SZ	60	39	58	51	78	56	42	64	55	34	79	-
RE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DE	27	24	28	13	32	22	17	26	18	12	30	36
AS	84	72	63	48	144	43	41	61	67	39	-	57
BR	34	45	-	-	-	48	39	54	42	33	67	36
RT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC	11	13	23	17	-	37	29	32	30	18	34	30
MU	53	49	45	34	54	46	38	44	41	-	71	61

Tabelle 27: Monatliche 98-Perzentile von Ozon für 1998 in µg/m³, bezogen auf 20° C

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
WE	1	3	13	27	50	71	82	93	101	114	175
ZG	1	3	14	24	40	58	72	85	93	103	151
HG	1	1	12	25	48	70	82	93	101	111	199
HW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TE	1	13	20	27	39	53	68	82	91	103	150
UE	1	5	15	26	41	57	73	88	98	112	203
SW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NG	1	1	7	16	32	51	69	89	101	113	165
AN	1	1	8	17	35	53	71	89	101	118	213
KY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	1	1	4	12	27	43	59	75	87	106	208
WA	1	1	3	12	29	47	65	81	96	117	219
WI	1	2	7	15	30	48	67	89	106	126	185
GI	1	1	2	4	18	40	60	77	91	117	235
LI	1	11	22	30	44	61	80	101	115	132	170
DL	1	5	13	21	37	55	76	101	118	142	222
MP	1	3	5	13	29	47	66	87	103	125	223
LF	1	5	16	25	40	56	72	92	108	134	266
ME	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE	1	5	11	19	37	56	75	91	104	122	191
LM	1	13	22	30	43	58	73	90	103	118	213
LU	1	7	16	26	42	60	79	101	117	135	214
SM	1	14	25	37	55	69	87	110	128	150	218
SZ	1	5	13	23	41	59	76	101	118	137	207
RE	1	7	19	29	45	62	79	101	114	133	192
DE	1	15	26	35	51	66	83	104	124	144	208
AS	1	1	3	9	24	42	60	79	91	110	175
BR	2	25	36	47	61	77	96	118	132	146	199
RT	1	3	4	9	27	53	73	98	117	143	257
SC	1	40	50	60	71	84	100	117	135	156	205
MU	1	3	7	12	28	56	81	103	115	132	201

Tabelle 28: Jährliche Perzentile von Ozon für 1998 in µg/m³, bezogen auf 20° C

Stationen	WE	ZG	HG	AU	HW	TE	UE	SW	NG	AN	SH	KY	BA	WA	WI	GI	LI	FA
1980	56	-	-	-	-	-	-	-	36	-	-	-	-	54	-	-	-	-
1981	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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	-	-
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	-
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	-	-

Stationen	DL	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	AS	BR	RT	SC	MU	ZU
1980	-	-	-	-	-	-	-	49	-	-	57	-	56	-	-	-	-
1981	-	-	-	-	-	-	-	43	-	-	51	-	70	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-	-	-	61	-	-	51	-	76	-	81	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	62	-	-	48	-	75	-	81	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	41	-	-	48	-	59	-	84	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	44	-	-	47	-	61	-	78	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-	45	-	58	-	80	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	51	-	-	46	-	-	-	70	-	-
1988	-	-	-	42	-	-	-	70	-	56	64	-	71	50	81	-	-
1989	-	-	-	40	-	-	-	69	-	50	65	39	78	49	87	-	-
1990	-	-	-	42	58	-	-	43	-	53	64	42	76	50	85	-	-
1991	-	-	-	42	54	-	-	-	42	52	61	38	75	49	83	-	-
1992	42	-	47	41	52	-	55	58	50	59	55	48	73	51	78	-	-
1993	48	37	49	47	57	-	60	65	51	59	59	59	77	58	82	-	-
1994	44	47	51	-	-	55	50	64	53	-	63	-	86	63	85	-	-
1995	53	52	54	55	-	59	60	70	56	-	59	52	74	52	89	-	101
1996	47	44	53	46	44	62	63	69	52	59	64	54	73	50	80	48	103
1997	48	47	51	47	53	61	61	74	57	63	68	43	79	56	89	41	102
1998	59	49	58	-	57	59	62	72	61	64	69	44	80	-	87	57	-

Tabelle 29: Jahresmittel von Ozon für 1980 bis 1998 in µg/m³, bezogen auf 20° C

2.1.4 Peroxyacetylnitrat (PAN)

PAN ($CH_3COO_2NO_2$) wird seit 1995 an drei UBA-Stationen gemessen: Zingst, Waldhof und Schauinsland. Ähnlich wie Ozon wird auch PAN nicht direkt emittiert, sondern es bildet sich aus den Vorläufern (NO_x, VOC) unter dem Einfluss von Sonnenstrahlung. In der Tabelle 30 sind die Monats- und Jahresmittel der PAN-Konzentrationen und in Tabelle 31 die maximalen monatlichen Halbstundenwerte für 1998 zusammengestellt. Ähnlich wie bei Ozon treten die höchsten Jahres- (679 ppt) und Monatswerte (1183 ppt) an der Bergstation Schauinsland (1 ppt = 0.005 $\mu g/m^3$) auf. Während die maximalen Monatswerte im Mai auftraten, wurden die maximalen Stundenwerte zwischen Mai und August registriert.

Im Vergleich zum Schauinsland sind die Jahresmittel bzw. die höchsten Monatsmittel an den Stationen Zingst (200 ppt bzw. 334 ppt) und Waldhof (215 ppt bzw. 376 ppt) um mehr als den Faktor 3 geringer. Dagegen lagen die entsprechenden Ozonwerte auf dem Schauinsland nur um ca. 40% höher als an den Stationen Zingst und Waldhof. 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 die höhere Stabilität von PAN an der Bergstation verantwortlich.

Im Gegensatz zum bodennahen Ozon, wovon ein Teil aus der Stratosphäre stammt, wird PAN ausschließlich photochemisch innerhalb der Troposphäre gebildet (*Ref. 2)*. Die maximalen Halbstundenwerte traten mit 4604 ppt am Schauinsland auf, während die maximalen Werte in Waldhof (1530 ppt) und Zingst (1158 ppt) deutlich niedriger lagen. In der Tabelle 32 sind die monatlichen 50-Perzentile, in Tabelle 33 die 98-Perzentile und in Tabelle 34 die jährlichen Perzentile für 1998 angegeben.

In Tabelle 35 sind die Jahresmittel ab 1995 für die 3 Stationen Zingst, Waldhof und Schauinsland dargestellt. Für die Angabe eines Trends der Jahreswerte ist der Zeitraum von nur 3 Jahren zu kurz. PAN ist bei niedrigen Temperaturen stabil und kann so über große Entfernungen transportiert werden. Bei Erwärmung zerfällt es wieder in seine Bestandteile, wobei NO_x wieder freigesetzt wird.

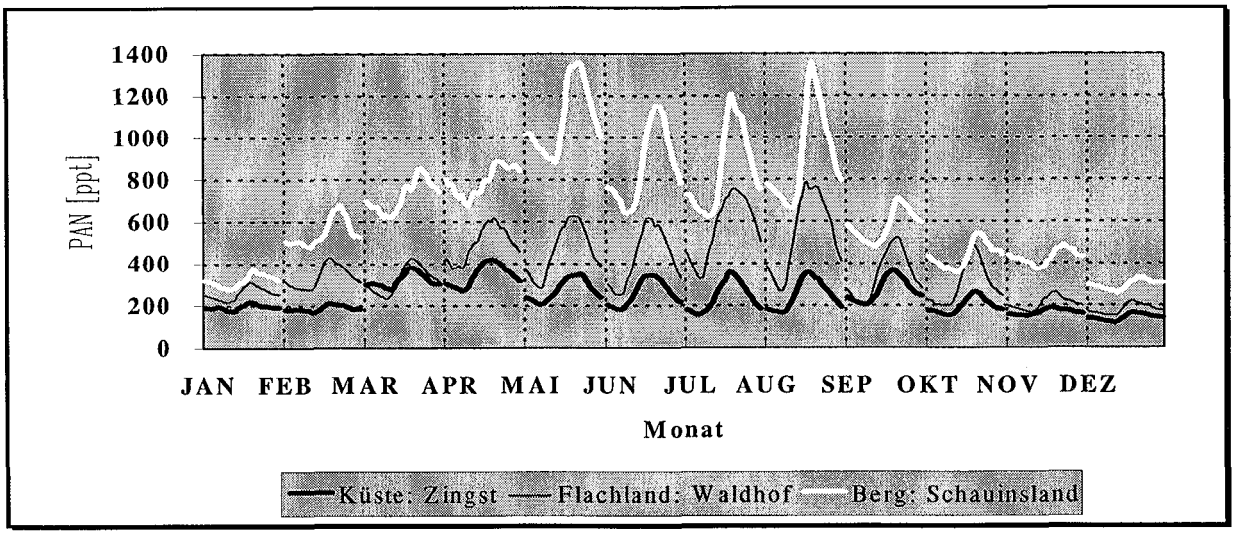


Abbildung 6: Monatliche Tagesgänge von PAN für den Zeitraum 1995 bis 1998

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
ZG	82	-	236	334	-	228	-	177	254	163	215	123	200
WA	101	237	223	300	376	364	-	-	132	173	152	128	215
SC	256	651	476	523	1183	966	914	1166	632	456	640	466	679

Tabelle 30: Monats- und Jahresmittel PAN für 1998 in ppt

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ZG	283	-	1112	1013	-	601	-	1158	861	576	677	526
WA	504	1188	889	1069	1353	1530	-	-	575	774	629	593
SC	1430	2655	1229	1796	2886	4604	2756	4560	2461	1679	2747	1855

Tabelle 31: Monatsmaxima PAN für 1998 in ppt

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ZG	76	-	153	296	-	210	-	121	200	131	162	67
WA	76	189	135	240	318	323	-	-	110	122	120	78
SC	213	532	428	455	1079	814	804	940	510	407	504	339

Tabelle 32: Monatliche 50-Perzentile von PAN für 1998 in ppt

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ZG	174	-	907	804	-	475	-	662	693	422	602	483
WA	405	859	704	850	1062	908	-	-	381	620	549	478
SC	1204	1807	1112	1432	2442	2980	2295	3385	1625	1197	2169	1526

Tabelle 33: Monatliche 98-Perzentile von PAN für 1998 in ppt

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
ZG	2	29	38	50	84	143	265	423	533	686	1158
WA	0	21	33	47	78	150	294	497	629	775	1530
SC	10	92	129	177	287	517	903	1425	1790	2285	4604

Tabelle 34: Jährliche Perzentile von PAN für 1998 in ppt

Stationen	Wester-land	Zingst	Neuglob-sow	Waldhof	Schmücke	Deusel-bach	Brot-jacklr.	Schau-insland	Zugspitze
1995	-	244	-	410	-	-	-	546	-
1996	-	327	-	476	-	-	-	660	-
1997	-	205	-	247	-	-	-	777	-
1998	-	200	-	215	-	-	-	679	-

Tabelle 35: Jahresmittel von PAN für 1995 bis 1998 in ppt

2.1.5 Flüchtige Organische Substanzen (VOC)

Nachdem seit 1994 im Rahmen von EMEP in Waldhof gezogene Proben vom NILU bei Oslo analysiert worden sind, wurden im Jahre 1998 erstmals routinemäßig zweimal pro Woche Messungen von 27 flüchtigen organischen Substanzen in Waldhof (Lüneburger Heide) und auf der Schmücke (Thüringer Wald) durchgeführt. Die Messungen erfolgen jeweils am Montag und Donnerstag um 13 Uhr MEZ. Folgende VOC werden gemessen:

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

Einige der aufgelisteten VOC sind ausschließlich anthropogenen Ursprungs (z.B.Benzol), einige sind natürlichen Ursprungs (z.B. Isopren) und wieder andere sind sowohl anthropogenen als auch natürlichen Ursprungs (z.B. Ethan, Ethen). Die hier aufgelisteten VOC sind aber insgesamt überwiegend anthropogenen Ursprungs. Bei der Interpretation der gemessenen Konzentrationen der 27 VOCs ist zu beachten, dass die berichteten Konzentrationen wegen der sich um Größenordnungen unterscheidenden Reaktivitäten keine Rückschlüsse auf die Emissionen der einzelnen VOC und deren Emissionsverhältnisse ziehen lassen. In der Tabelle 36 sind die Monats- und Jahresmittel der VOC und in Tabelle 37 die Monatsmaxima für die Station Waldhof aufgelistet. Die Tabelle 38 und Tabelle 39 zeigen die entsprechenden Werte für die Schmücke. Die VOC-Konzentrationen unterscheiden sich an beiden Stationen für die meisten der 27 VOC nur geringfügig, d.h. die Konzentrationsmuster der VOC unterscheiden sich kaum.

Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen beispielhaft den gegenläufigen Jahresgang der Einzelwerte für das anthropogene Benzol (Abbildung 7) mit einem Maximum im Winter und einem Minimum im Sommer sowie für das aus natürlichen Quellen stammende Isopren mit einem ausgeprägten Maximum im Sommer (Abbildung 8). Einen ähnlichen Jahresgang wie Benzol weisen auch die Gesamt-VOC auf. Die unterschiedlichen Jahresgänge von Benzol (bzw. Gesamt-VOC) auf der einen Seite und Isopren auf der anderen Seite zeigen sich bei den Abhängigkeiten der Konzentrationen von der Temperatur: Während die Isopren-Konzentrationen mit steigender Temperatur exponentiell zunehmen (Abbildung 9 und Abbildung 10), sinken die Gesamt-VOC-Konzentrationen mit steigender Temperatur (Abbildung 11 und Abbildung 12). Die Abnahme der Gesamt-VOC mit steigender Temperatur ist auf die höhere vertikale Erstreckung der Mischungsschicht und die dadurch bewirkte größere Verdünnung sowie auf den chemischen Abbau zurückzuführen. Diese Effekte werden beim Isopren durch die mit steigender Temperatur exponentiell steigenden Konzentrationen überkompensiert, so dass für dieses Gas trotz größerer Verdünnung im Sommer ein Konzentrationsmaximum beobachtet wird.

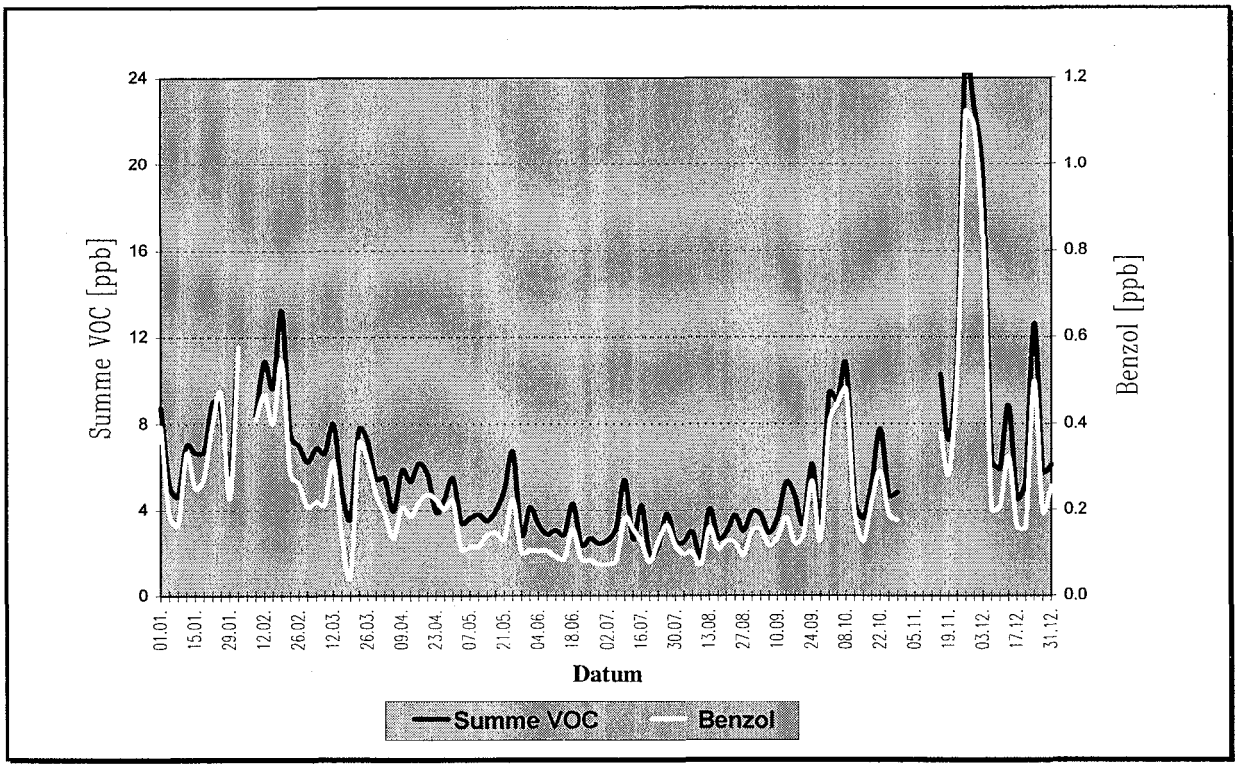


Abbildung 7: Jahresverlauf der Konzentration der Summe VOC und Benzol auf der Schmücke für 1998

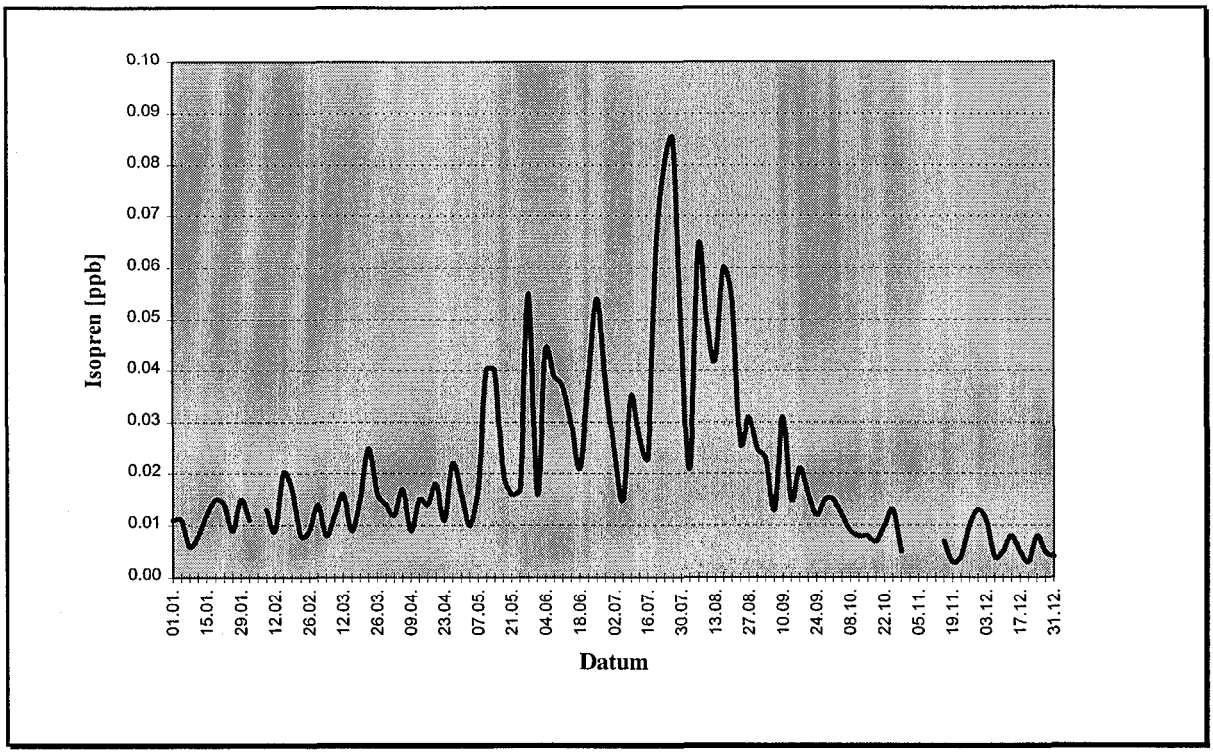


Abbildung 8: Jahresverlauf der Konzentration von Isopren auf der Schmücke für 1998

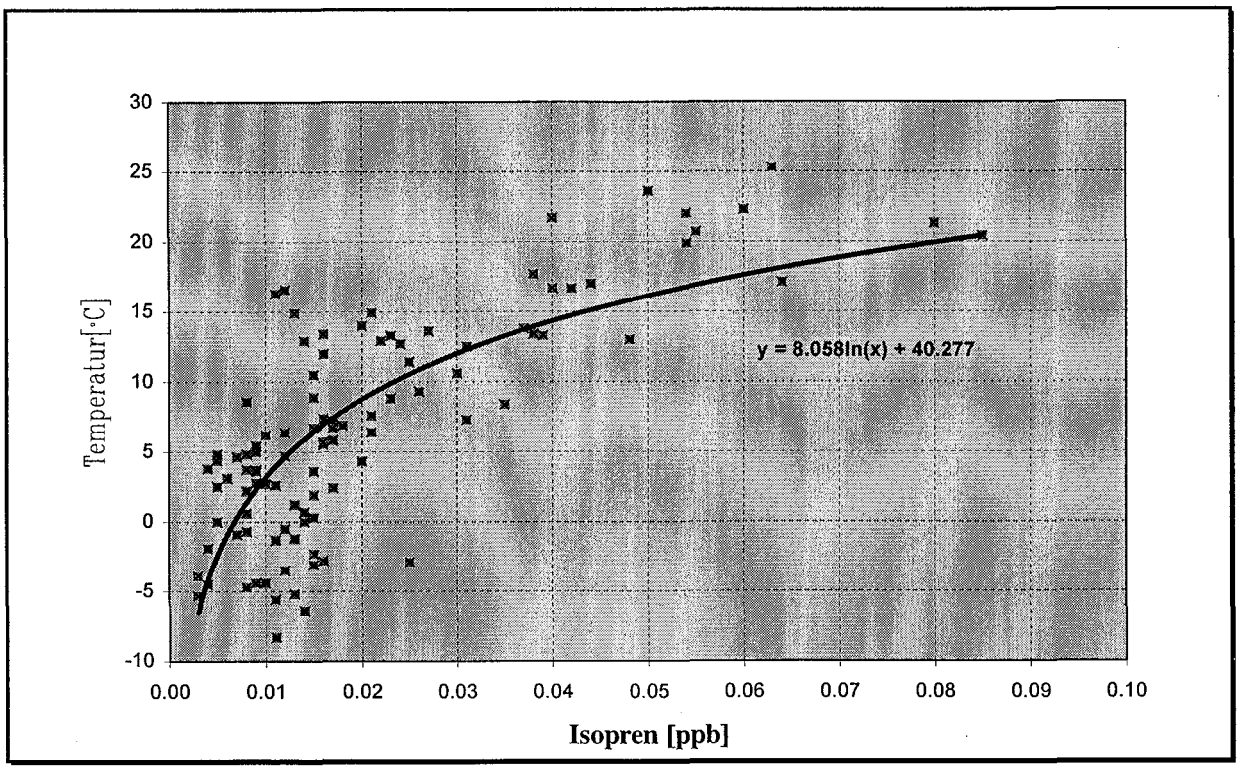


Abbildung 9: Abhängigkeit der Konzentration des Isoprens von der Temperatur auf der Schmücke

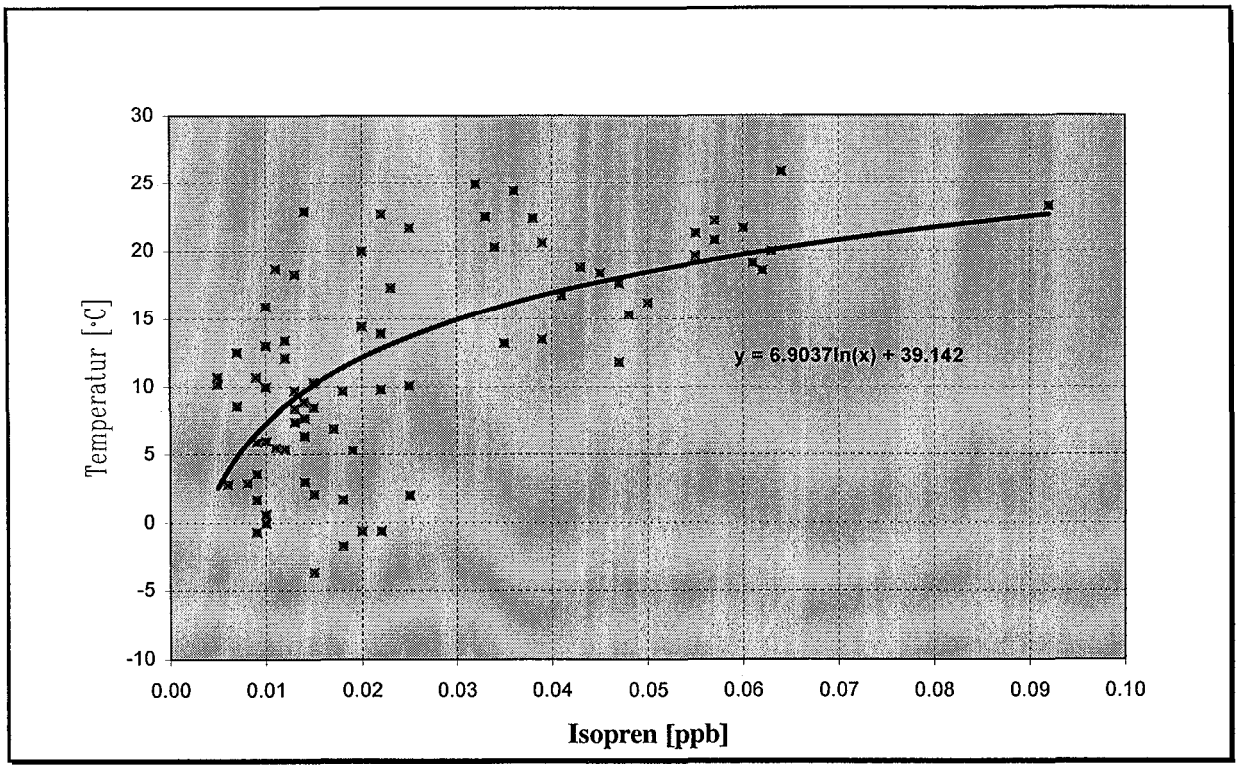


Abbildung 10: Abhängigkeit der Konzentration des Isoprens von der Temperatur in Waldhof

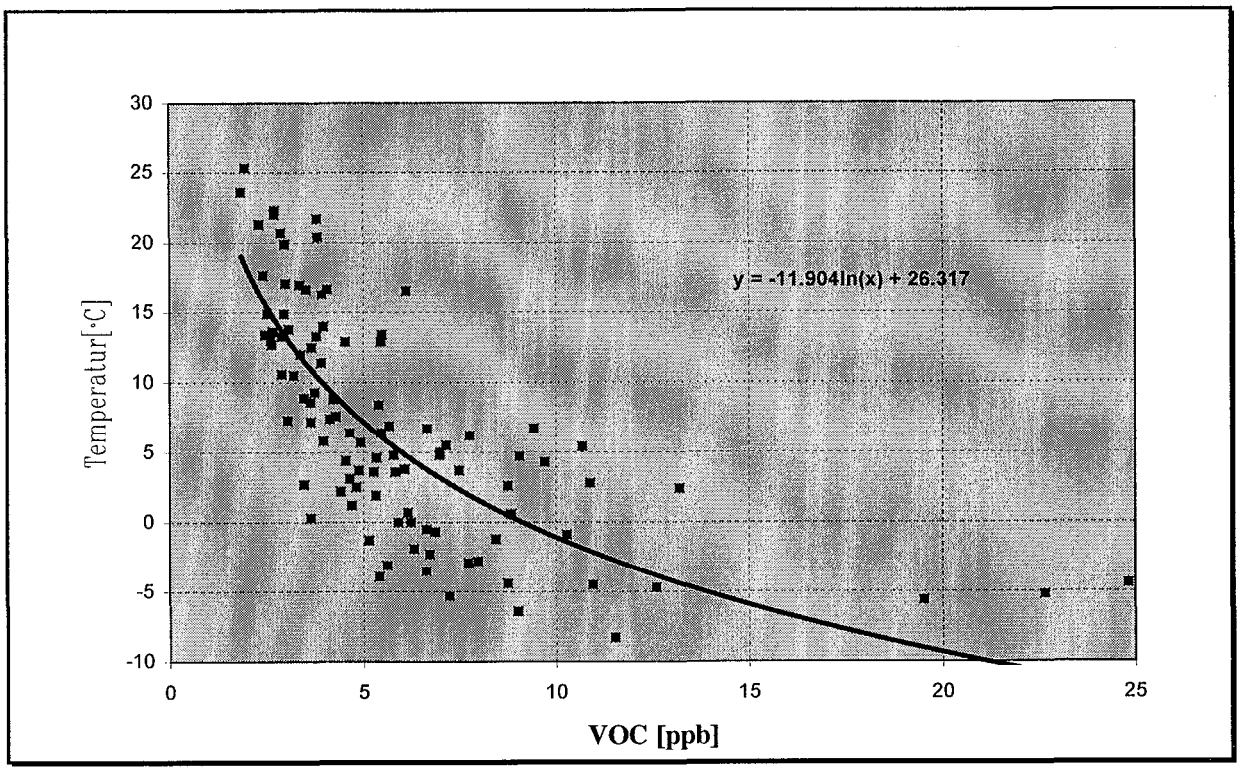


Abbildung 11: Abhängigkeit der Konzentration der VOC von der Temperatur auf der Schmücke

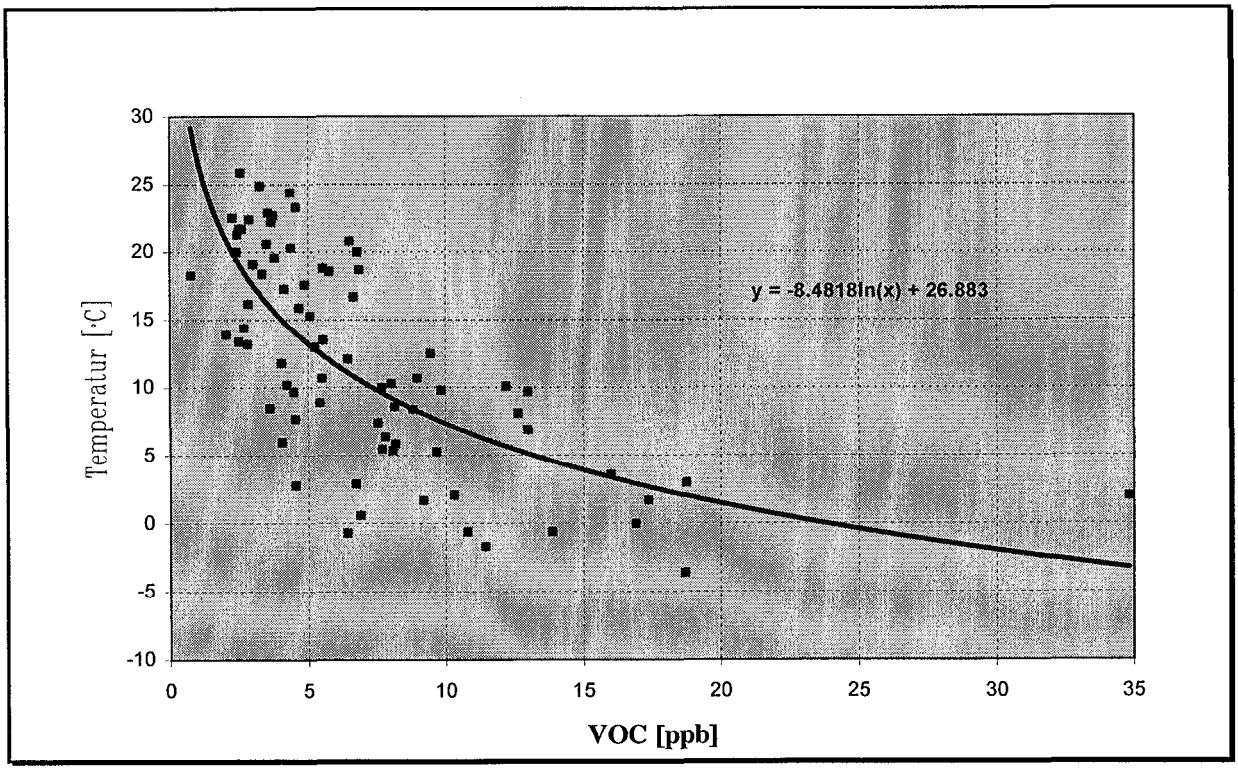


Abbildung 12: Abhängigkeit der Konzentration der VOC von der Temperatur in Waldhof

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Ethan	1779	2320	2095	2189	1435	1325	935	993	1288	1754	2959	2281	1745
Ethen	1007	1156	576	470	230	291	246	201	430	744	2590	1788	802
Propan	1474	1751	738	894	438	418	365	356	511	767	1950	1448	907
Propen	234	321	70	90	77	84	65	69	111	139	431	278	162
Ethin	1523	1533	768	849	416	372	257	282	610	883	2432	1485	929
i-Butan	419	502	173	217	96	147	149	121	166	216	601	436	266
n-Butan	734	841	288	373	158	239	278	183	280	393	1058	751	457
trans-2-Buten	8	14	4	6	4	6	6	4	5	6	19	13	8
1-Buten	59	65	21	28	21	24	21	22	27	36	88	64	39
i-Buten	63	89	46	79	72	69	50	54	54	57	141	104	72
cis-2-Buten	9	17	6	9	5	7	4	5	7	7	21	16	9
i-Pentan	435	488	144	217	118	183	124	136	211	233	654	474	281
n-Pentan	295	335	99	133	90	100	81	74	131	178	522	298	191
Butadien 1,3	28	39	6	9	8	8	10	9	8	19	60	32	19
tr-2-Penten	7	11	3	5	4	3	0	2	7	6	14	11	6
cis-2-Penten	5	8	3	3	4	5	2	1	3	3	11	10	5
2-Methylpentan	199	209	61	84	42	113	49	57	75	94	255	171	116
3-Methylpentan	120	110	28	43	23	78	25	33	41	51	142	95	65
Isopren	12	15	11	19	25	53	36	43	42	13	19	8	25
n-Hexan	145	134	34	63	31	45	32	33	49	66	177	112	75
n-Heptan	41	48	15	16	26	17	18	24	18	34	78	49	32
Benzol	369	410	196	239	112	136	116	112	192	252	726	408	267
Toluol	384	508	104	146	112	170	102	188	180	200	633	410	259
Ethylbenzol	55	89	13	19	8	16	7	13	22	22	103	61	35
m/p-Xylol	120	175	22	30	27	19	11	24	48	63	243	143	75
o-Xylol	10	0	0	2	0	24	33	0	32	11	0	27	12
Pentene	52	78	26	38	40	39	20	25	36	36	97	82	47
VOC gesamt	9587	11264	5549	6269	3623	3991	3043	3066	4586	6281	16022	11055	6908

Tabelle 36: Monats- und Jahresmittel VOC in Waldhof für 1998 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ethan	2522	2583	2481	2620	1814	2052	1480	1254	1881	2254	5390	3136
Ethen	1644	1782	881	810	586	637	455	287	685	1750	5284	3744
Propan	1856	2933	1097	1508	694	716	672	572	807	1435	4880	2475
Propen	424	713	118	164	176	138	118	114	182	271	847	473
Ethin	2065	2797	1378	1180	608	651	381	541	962	1990	4967	2874
i-Butan	574	981	251	311	148	329	367	337	277	455	1402	793
n-Butan	1086	1613	486	607	264	530	779	343	446	876	2822	1465
trans-2-Buten	13	38	6	9	5	14	10	9	6	10	56	30
1-Buten	120	148	34	41	38	42	37	47	41	59	171	99
i-Buten	99	161	83	100	86	91	78	86	86	84	266	173
cis-2-Buten	12	43	14	12	7	15	7	9	12	15	54	28
i-Pentan	694	960	243	293	242	482	204	301	341	572	1535	858
n-Pentan	501	556	174	199	233	206	149	143	200	490	1353	521
Butadien 1,3	45	122	12	16	19	18	21	19	11	41	132	61
tr-2-Penten	12	32	6	7	13	6	0	6	19	14	41	20
cis-2-Penten	10	15	7	5	7	12	8	9	11	8	27	18
2-Methylpentan	363	407	91	128	89	418	75	120	111	244	626	303
3-Methylpentan	243	220	46	57	45	343	48	72	61	130	364	169
Isopren	18	22	14	43	47	92	61	64	62	25	25	10
n-Hexan	410	269	53	95	59	99	52	50	67	159	476	189
n-Heptan	69	101	28	22	90	36	31	91	25	67	219	94
Benzol	570	761	332	297	174	234	162	202	302	480	1436	724
Toluol	609	1203	180	198	293	376	176	368	242	440	1374	768
Ethylbenzol	89	221	26	32	49	58	24	31	39	82	263	115
m/p-Xylol	196	450	42	68	123	81	47	47	88	172	626	266
o-Xylol	67	0	2	9	0	169	211	0	189	76	0	98
Pentene	79	192	44	46	101	59	32	59	65	74	183	143

Tabelle 37: Monatsmaxima VOC in Waldhof für 1998 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Ethan	1476	2137	2099	1828	1451	1101	943	1044	1276	1632	3119	2130	1627
Ethen	696	1182	581	379	305	238	285	250	391	831	2487	1192	663
Propan	1033	1213	877	630	410	296	296	336	452	692	1728	1022	707
Propen	140	198	82	84	83	72	86	80	103	166	389	163	127
Ethin	1136	1616	891	730	472	307	331	310	554	953	2466	1157	842
i-Butan	290	389	211	150	122	103	105	104	138	225	546	291	208
n-Butan	504	677	357	265	200	177	201	194	240	404	895	495	361
trans-2-Buten	8	14	9	7	6	6	6	5	5	8	17	10	8
1-Buten	34	46	24	23	24	24	23	25	23	37	77	40	32
i-Buten	52	65	54	95	91	74	53	41	52	61	109	73	67
cis-2-Buten	9	29	9	9	7	6	6	6	7	10	19	11	10
i-Pentan	283	414	177	159	132	119	154	132	182	302	556	299	228
n-Pentan	196	249	119	97	85	62	87	71	107	190	405	188	144
Butadien 1,3	16	24	7	13	9	9	7	9	10	33	60	19	16
tr-2-Penten	7	11	6	5	18	5	4	4	4	7	15	7	7
cis-2-Penten	6	8	7	6	8	5	5	8	4	6	11	6	6
2-Methylpentan	114	165	107	69	57	44	58	48	69	122	245	109	94
3-Methylpentan	64	88	56	33	29	25	28	31	36	63	130	64	51
Isopren	11	12	14	15	27	35	44	38	18	10	7	6	20
n-Hexan	72	84	70	42	35	31	34	29	39	66	154	68	57
n-Heptan	29	41	23	19	19	15	20	23	19	32	83	32	27
Benzol	300	422	227	202	137	100	124	112	157	281	681	315	237
Toluol	255	380	167	148	141	116	135	99	161	281	557	289	213
Ethylbenzol	36	66	18	22	21	16	12	16	19	46	98	32	31
m/p-Xylol	94	137	41	48	54	27	32	33	52	109	232	108	74
o-Xylol	0	2	0	15	94	84	81	0	0	21	0	152	39
Pentene	54	72	44	50	62	35	36	37	34	55	101	49	50
VOC gesamt	6915	9741	6281	5143	4100	3130	3197	3083	4152	6643	15187	8327	5946

Tabelle 38: Monats- und Jahresmittel VOC auf der Schmücke für 1998 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ethan	1850	2780	2218	2290	1798	1542	1395	1354	1700	2324	4650	4408
Ethen	1249	1737	1054	505	840	401	588	381	600	1614	4304	3002
Propan	1473	1575	1308	807	707	424	526	488	654	1072	2657	2278
Propen	239	277	133	140	202	123	162	140	188	292	647	325
Ethin	1706	2266	1313	922	616	514	539	430	1080	1667	4168	2961
i-Butan	415	540	309	191	323	169	217	166	203	332	972	646
n-Butan	729	932	540	368	449	361	414	315	391	604	1452	1087
trans-2-Buten	12	17	25	12	10	12	15	6	7	12	36	15
1-Buten	53	62	36	37	44	38	39	53	32	56	130	82
i-Buten	64	83	102	128	120	98	117	53	84	98	216	116
cis-2-Buten	12	101	20	13	10	12	8	8	10	14	41	22
i-Pentan	400	596	273	225	344	219	287	215	312	490	968	639
n-Pentan	293	367	178	136	191	107	138	109	166	348	666	527
Butadien 1,3	24	46	17	51	14	23	13	22	23	101	104	50
tr-2-Penten	12	15	18	10	36	18	9	12	6	15	30	19
cis-2-Penten	14	13	15	9	13	13	11	36	7	10	26	13
2-Methylpentan	147	240	293	127	148	73	104	77	111	187	457	281
3-Methylpentan	86	130	111	56	71	38	58	60	61	112	238	154
Isopren	15	20	25	22	55	54	85	64	31	15	13	11
n-Hexan	100	120	144	67	96	40	59	48	59	109	257	198
n-Heptan	44	59	43	36	35	36	32	111	33	51	187	93
Benzol	470	577	353	236	224	155	181	159	266	478	1120	826
Toluol	381	584	250	247	308	214	296	160	253	470	1138	707
Ethylbenzol	56	105	39	40	71	72	60	25	43	87	227	110
m/p-Xylol	132	208	96	111	190	75	97	71	108	196	562	271
o-Xylol	0	12	0	135	752	546	730	0	0	121	0	571
Pentene	156	95	97	129	107	60	70	71	47	89	196	102

Tabelle 39: Monatsmaxima VOC auf der Schmücke für 1998 in ppt

2.1.6 Kohlendioxid (CO_2)

Kohlendioxid (CO_2) ist derzeit mit etwa 50% für den zusätzlichen, anthropogen verursachten Treibhauseffekt verantwortlich. Nur etwa 4% des jährlich in die globale Atmosphäre emittierten CO_2 sind anthropogen, im Wesentlichen bedingt durch die Verbrennung fossiler Energieträger *(Ref. 3)*. Deutschland trägt etwa 3 bis 4% zu den globalen anthropogenen CO_2-Emissionen bei. Angesichts der langen troposphärischen CO_2- Lebendauer von mehreren Jahrzehnten und der relativ schnellen Mischungsvorgänge innerhalb der Troposphäre werden die CO_2-Konzentrationen an den UBA-Stationen weitgehend durch die globalen Emissionen und nur in sehr geringem Maße durch die CO_2-Emissionen in Deutschland bestimmt. Weitere Treibhausgase sind Methan (CH_4), H-FKW, Distickstoffoxid (N_2O), CF_4, C_2F_6, SF_6 und troposphärisches Ozon.

Seit 1972 werden an 5 Messstationen des UBA (Westerland, Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjacklriegel) kontinuierliche Messungen der atmosphärischen CO_2-Konzentrationen durchgeführt, seit 1995 auch an den Stationen Zingst, Neuglobsow und Schmücke. Es ist heute gesicherte wissenschaftliche Erkenntnis, dass die atmosphärischen CO_2-Hintergrundkonzentrationen während der vergangenen zwei Jahrhunderte von etwa 280 ppm zu Beginn des 19. Jahrhunderts auf etwa 365 ppm am Ende des 20. Jahrhunderts angestiegen sind.

In der Tabelle 40 sind die Monats-und Jahresmittel der CO_2-Konzentrationen und in Tabelle 41 die monatlichen Halbstundenmaxima zusammengestellt. Die Tabellen zeigen, dass die CO_2-Konzentrationen sowohl zeitlich und räumlich recht homogen sind. Der Jahresgang der Monatswerte mit einem leichten Maximum im Frühjahr und einem Minimum im Spätsommer und Frühherbst (Abbildung 14) wird durch das Zusammenspiel der von der Jahreszeit abhängigen biologischen Aktivität und der Höhe der Mischungsschicht verursacht. Im Frühling, wenn die Photosynthese verstärkt einsetzt, wird das CO_2 durch die Pflanzen fixiert und damit der Atmosphäre entzogen, so dass die Konzentrationen bis zum Herbst hin abnehmen. Durch die Mineralisation von Biomasse wird anschließend wieder CO_2 bis zum Frühjahr freigesetzt. Der Jahresgang der Mischungsschichthöhen mit einem Maximum im Sommer unterstützt die Abnahme der CO_2-Konzentrationen zwischen Frühling und Herbst. Auf den mittleren Breiten der Nordhalbkugel beträgt die Jahresamplitude etwa 15 ppm (Tabelle 40, Abbildung 14). Die Jahresmittelwerte für 1998 lagen zwischen 368 ppm an der Bergstation Schauinsland und 382 ppm in Neuglobsow.

Wegen der Nähe zu starken biogenen Quellen (Wälder) traten die höchsten Halbstundenwerte mit 520 ppm in Neuglobsow auf, gefolgt von 514 ppm in Waldhof, jeweils im Juni 1998 bei hoher biologischer Aktivität. An diesen Stationen treten die höchsten Halbstundenwerte generell in den Sommermonaten auf, während an den durch lokale biogene Emissionen nur wenig beeinflussten Stationen im Sommer ein schwaches Minimum beobachtet wird (Abbildung 14).

Neben dem Jahresgang tritt an den kontinentalen Stationen auch ein Tagesgang auf, der in Neuglobsow und Waldhof wegen des direkten Einflusses starker biogener CO_2-Quellen am stärksten ausgeprägt ist, vor allem in den Sommermonaten (Abbildung 14). Nur geringe Tagesgänge werden dagegen an den Bergstationen Schauinsland (Abbildung 14) und Brotjacklriegel sowie an der Nordseestation Westerland beobachtet. Die Konzentrationen

fallen nach Sonnenaufgang stark ab und erreichen am frühen Nachmittag ein Minimum. Am Abend und während der Nacht steigen die Konzentrationen bis zu einem Maximum am frühen Morgen an. Der Abfall der Konzentrationen bis zum frühen Nachmittag wird durch die beginnende CO_2-Aufnahme der Pflanzen (Assimilation) in Verbindung mit einem Verdünnungseffekt durch eine thermisch induzierte vertikale Ausdehnung der Mischungsschicht hervorgerufen. Der nächtliche Anstieg wird durch die CO_2-Abgabe der Pflanzen (Respiration) in Verbindung mit einer nächtlichen Schrumpfung der Mischungsschicht hervorgerufen.

In der Tabelle 42 sind die monatlichen 50-Perzentile, 98-Perzentile (Tabelle 43) sowie die jährlichen Perzentile zusammen mit den Maxima und Minima der Halbstundenwerte (Tabelle 44) angegeben. Generell sind die Konzentrationsunterschiede für die verschiedenen Perzentile wesentlich geringer als für die reaktiven Gase SO_2, NO, NO_2, O_3, PAN und VOC.

Wie aus Tabelle 45 sowie aus der Abbildung 13 ersichtlich ist, lässt sich aus den langjährigen Zeitreihen eine mittlere Zunahme der CO_2-Konzentrationen an den 6 UBA-Stationen Westerland, Neuglobsow, Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjacklriegel von etwa 1.5 ppm/Jahr (entspricht etwa 0.4%/Jahr) ableiten.

Wie in Abbildung 15 beispielhaft für die Station Schauinsland zu sehen ist, sind die im UBA-Messnetz gemessenen langjährigen Zunahmen der CO_2-Konzentrationen in guter Übereinstimmung mit Trends, die am Mauna Loa Observatorium auf Hawaii und an anderen globalen Stationen gefunden worden sind.

Aufgrund seiner Wirkung als Treibhausgas muss man vermuten, dass ein Anstieg der CO_2-Konzentrationen zu einer Erwärmung der unteren Atmosphäre führt. In welchem Ausmaß die in Deutschland während der letzten 100 Jahre beobachtete Temperaturzunahme um 0.5 bis 1°C *(Ref. 4)* auf die gestiegenen CO_2-Konzentrationen (um 50 bis 60 ppm) zurückzuführen sind, lässt sich noch nicht verlässlich quantifizieren.

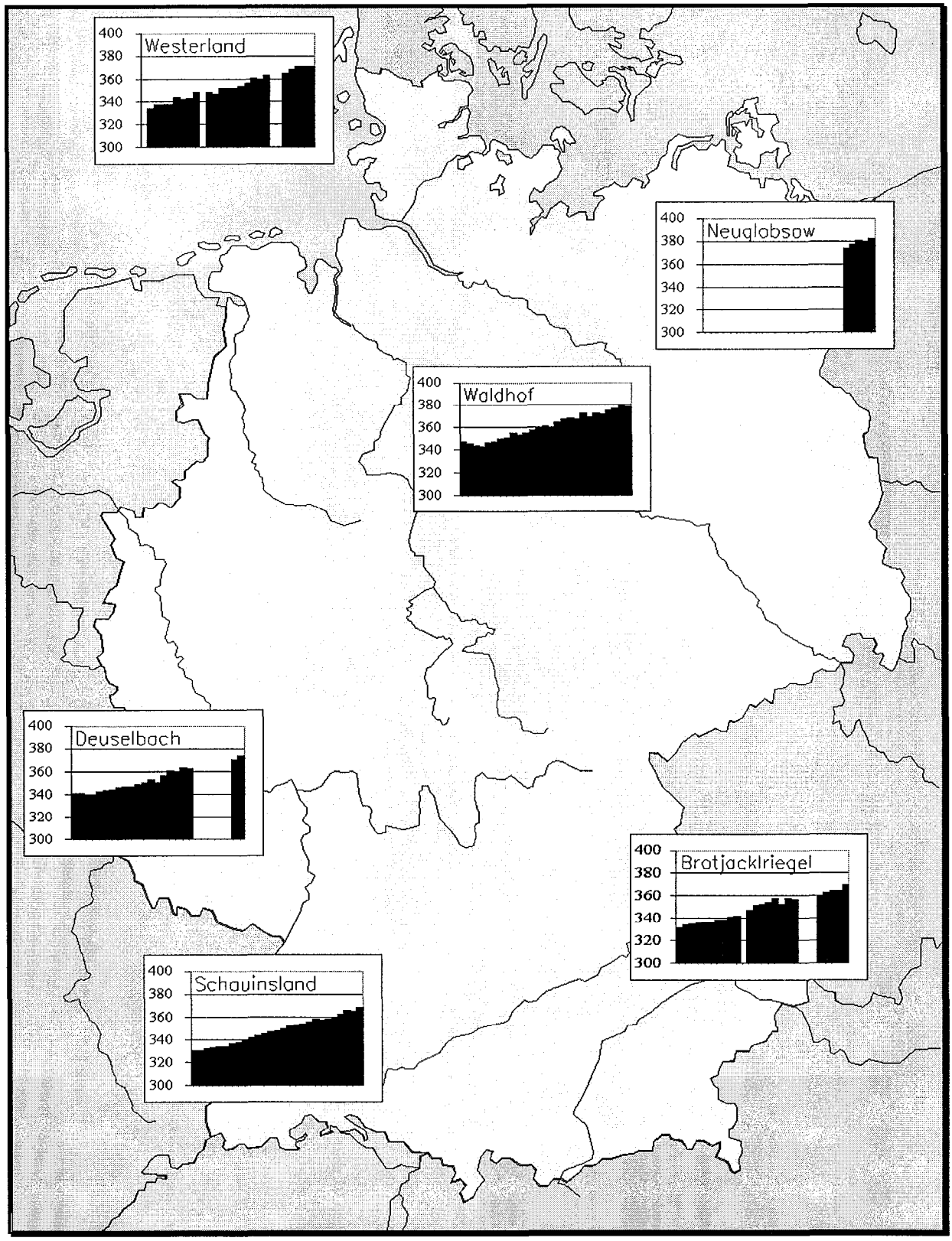


Abbildung 13: Jahresmittel von Kohlendioxid für 1972 bis 1998 in ppm

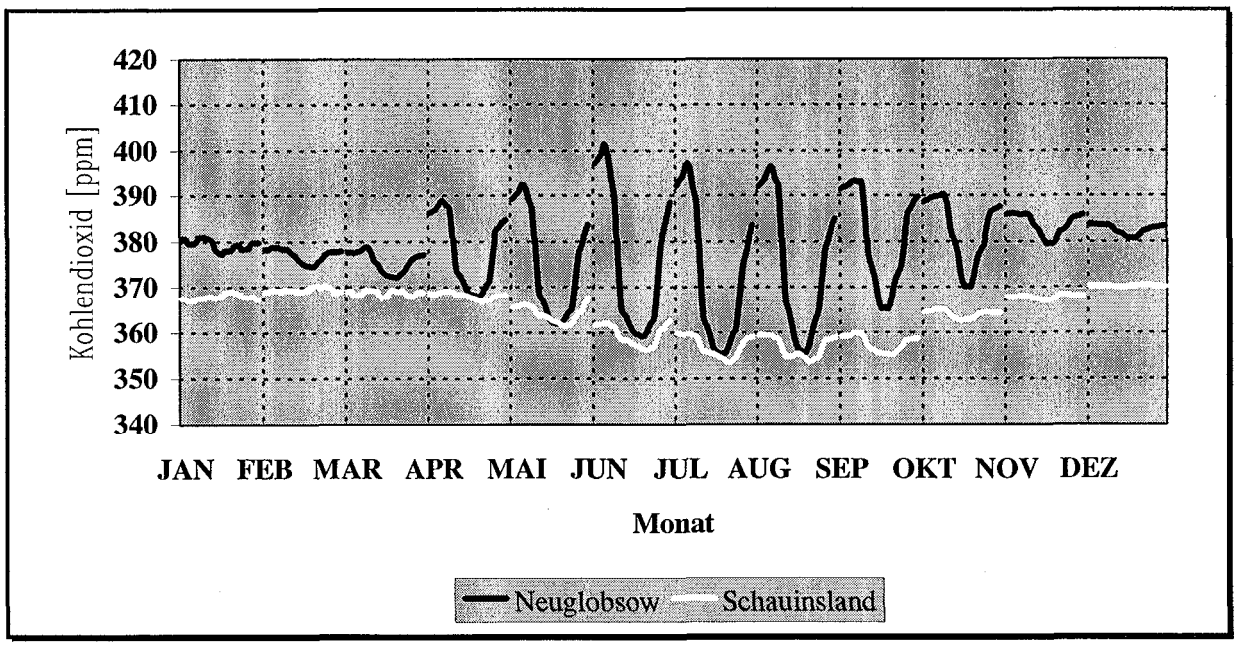


Abbildung 14: Monatliche Tagesgänge von Kohlendioxid in Neuglobsow und auf dem Schauinsland für 1994 bis 1998

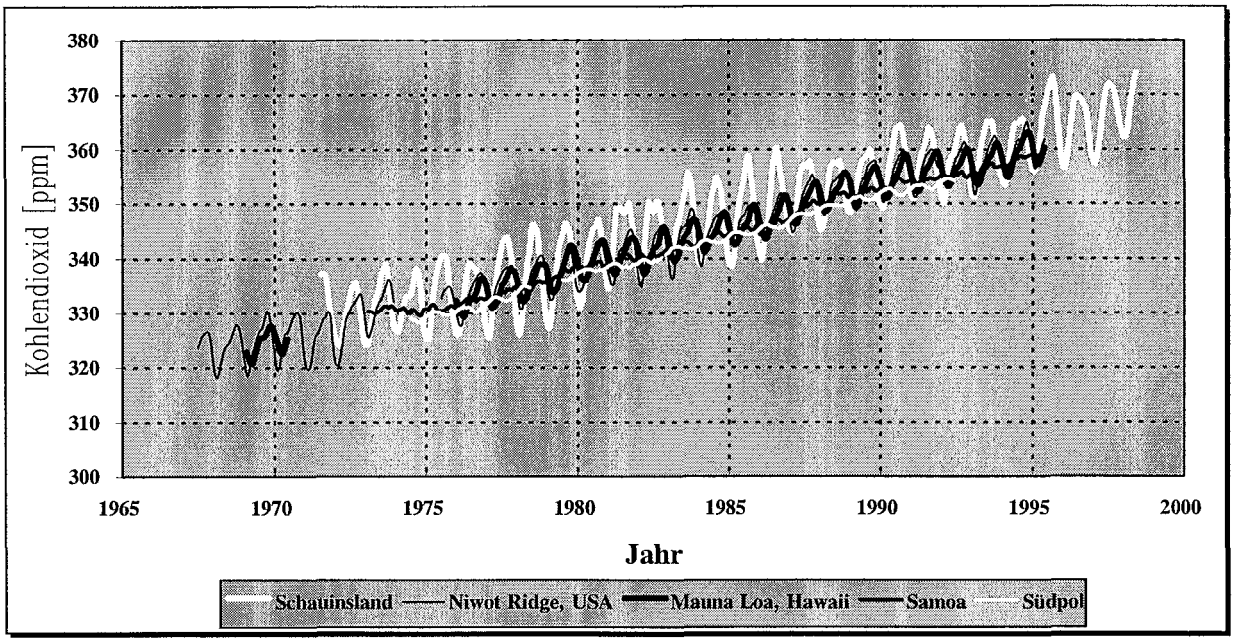


Abbildung 15: Weltweiter Trend der Monatsmittel der Kohlendioxidkonzentrationen von 1968 bis 1998

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	376	373	-	375	371	370	364	360	370	369	387	380	372
ZG	377	377	374	376	372	373	369	365	374	-	387	383	375
NG	382	381	378	385	382	384	372	-	390	377	390	385	382
WA	378	383	376	381	375	378	375	372	382	375	386	388	379
SM	-	-	371	368	361	358	355	-	-	-	-	-	-
DE	376	379	374	375	370	365	366	368	368	377	384	382	374
BR	375	-	370	371	-	362	364	362	364	374	380	378	370
SC	372	371	372	370	366	363	362	362	364	370	374	373	368

Tabelle 40: Monats- und Jahresmittel Kohlendioxid für 1998 in ppm

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	416	397	-	428	397	438	404	391	427	402	439	415
ZG	418	406	400	413	478	494	473	457	498	-	434	413
NG	434	406	421	469	472	520	436	-	489	457	436	436
WA	416	415	416	426	504	514	501	488	491	410	414	416
SM	-	-	403	388	377	400	393	-	-	-	-	-
DE	403	411	398	406	408	410	442	459	399	422	431	417
BR	406	-	384	392	-	396	388	399	392	406	418	417
SC	393	383	396	384	382	379	395	381	386	389	418	392

Tabelle 41: Monatsmaxima Kohlendioxid für 1998 in ppm

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	373	372	371	374	369	368	363	358	367	367	383	376
ZG	375	376	373	375	370	368	365	361	370	-	381	382
NG	379	380	375	380	374	373	367	-	384	373	385	383
WA	377	383	375	379	370	371	369	366	375	374	385	387
SM	-	-	370	368	360	357	354	-	-	-	-	-
DE	374	378	373	374	370	364	365	366	367	374	381	382
BR	373	-	-	370	-	361	363	360	364	371	378	377
SC	369	371	372	370	366	363	362	362	363	368	373	372

Tabelle 42: Monatliche 50-Perzentile von Kohlendioxid für 1998 in ppm

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	404	390	387	394	391	391	383	378	407	389	427	406
ZG	405	396	386	395	414	421	416	417	424	-	427	407
NG	416	399	405	434	451	458	421	-	456	417	427	424
WA	399	406	396	405	440	452	461	433	451	400	406	406
SM	-	-	378	381	373	372	373	-	-	-	-	-
DE	396	398	388	398	391	390	395	395	386	408	413	410
BR	390	-	-	384	-	378	378	381	381	395	411	401
SC	383	380	380	377	378	375	376	373	375	386	391	388

Tabelle 43: Monatliche 98-Perzentile von Kohlendioxid für 1998 in ppm

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
WE	348	356	357	360	365	370	375	383	389	397	438
ZG	345	354	357	360	368	373	381	391	401	414	498
NG	345	357	361	364	371	378	389	407	420	435	520
WA	333	354	357	361	369	377	386	397	405	425	514
SM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DE	331	353	356	360	367	373	380	387	392	400	459
BR	347	354	356	359	364	370	375	381	385	391	418
SC	347	355	357	360	365	369	372	376	379	383	418

Tabelle 44: Jährliche Perzentile von Kohlendioxid für 1998 in ppm

Stationen	Wester-land	Zingst	Neuglob-sow	Waldhof	Schmücke	Deusel-bach	Brot-jacklr.	Schau-insland	Zug-spitze
1972	-	-	-	347.1	-	340.9	331.7	330.2	-
1973	333.7	-	-	345.7	-	340.4	333.9	330.6	-
1974	337.6	-	-	343.4	-	339.9	334.9	332.2	-
1975	337.7	-	-	343.3	-	339.7	336.2	332.9	-
1976	337.4	-	-	346.3	-	342.4	336.7	333.7	-
1977	343.4	-	-	347.6	-	343.5	336.4	333.8	-
1978	341.7	-	-	350.1	-	343.9	338.7	336.8	-
1979	342.7	-	-	350.9	-	346.3	338.8	337.1	-
1980	-	-	-	355.1	-	346.8	341.2	339.9	-
1981	-	-	-	353.1	-	347.2	341.8	341.8	-
1982	348.8	-	-	355.0	-	348.3	-	343.3	-
1983	346.8	-	-	357.8	-	350.1	-	345.1	-
1984	351.9	-	-	360.0	-	352.7	351.9	347.1	-
1985	351.7	-	-	361.3	-	350.7	352.1	347.5	-
1986	351.7	-	-	360.6	-	356.2	354.2	349.2	-
1987	354.0	-	-	364.7	-	361.0	357.3	352.4	-
1988	356.6	-	-	367.5	-	360.1	352.8	352.8	-
1989	360.7	-	-	368.1	-	363.8	-	354.0	-
1990	359.0	-	-	367.7	-	362.6	357.0	355.2	-
1991	363.8	-	-	372.9	-	-	-	358.3	-
1992	-	-	-	369.1	-	-	-	357.4	-
1993	-	-	-	372.2	-	-	-	358.5	-
1994	-	-	373.6	372.0	-	-	359.4	360.1	-
1995	368.5	-	377.2	375.2	-	-	362.9	362.3	360.1
1996	370.7	-	380.2	-	-	-	-	365.5	361.4
1997	370.6	371.9	379.6	379.2	363.6	370.3	364.5	364.9	362.3
1998	372.2	375.1	381.9	378.9	363.1	373.6	370.3	368.4	-

Tabelle 45: Jahresmittel von Kohlendioxid für 1972 bis 1998 in ppm

2.1.7 Methan (CH_4)

Methan trug Mitte der 80er Jahre mit knapp 20% zum zusätzlichen Treibhauseffekt bei. Im Gegensatz zu CO_2, bei dem nur etwa 4% der globalen Emissionen anthropogenen Ursprungs sind, stammt das globale CH_4 überwiegend aus anthropogenen Quellen. Wegen seiner relativ langen Lebenszeit von etwa 8 Jahren unterliegt Methan - ähnlich wie CO_2 - nur geringen zeitlichen und räumlichen Variationen. Die Methan-Konzentrationen haben seit etwa 1700 von 0.7 ppm auf heute etwa 1.8 ppm zugenommen, hauptsächlich als Folge des weltweiten Bevölkerungswachtums wegen der zunehmenden Bedeutung der Rinderhaltung, des Reisanbaus, der CH_4-Emissionen aus Kohle- und Erdgasförderung, der Mülldeponien und der Biomasseverbrennung. In Deutschland tragen hauptsächlich folgende Quellgruppen zur Methanemission bei: Abfallbehandlung (Mülldeponien, Abwasserbehandlung, Klärschlammverwertung) mit etwa 40%, Landwirtschaft (Fermentation, tierische Abfälle) mit etwas über 30% sowie Kohle-und Erdgaswirtschaft mit etwa 25% *(Ref. 5)*.

Methan wird an 5 Stationen des UBA gemessen: Schauinsland (seit September 1991), Deuselbach (seit November 1993), Zingst (seit Februar 1994), Neuglobsow (seit August 1994) und Schmücke (seit 1997). In der Tabelle 46 sind die Monats- und Jahresmittel und in Tabelle 47 die Monatsmaxima der Halbstundenwerte des Methan für 1998 aufgelistet. An den Bergstationen Schauinsland im Schwarzwald (1205 m ü.NN) sowie Schmücke im Thüringer Wald (937 m ü.NN) treten etwas niedrigere Konzentrationen auf als an den übrigen Stationen.

Der Jahresgang der Monatswerte unterliegt nur geringen Schwankungen mit einem schwachen Minimum in den Sommermonaten und maximalen Werten in den Wintermonaten (siehe Abbildung 16). Ebenso wie bei den Monatswerten treten auch die maximalen monatlichen Halbstundenwerte bevorzugt in den Wintermonaten auf. Der Grund für die geringfügig höheren Methan-Werte im Winter liegt in den niedrigeren Mischungsschichthöhen in dieser Jahreszeit. Dagegen spielen jahreszeitlich unterschiedliche globale Methanemissionen wahrscheinlich nur eine geringe Rolle.

Für Deutschland sollte man erwarten, dass die Methan-Emissionen im Frühjahr und Sommer höher sind als in den Wintermonaten, da die Emissionen aus Abfallwirtschaft und Landwirtschaft zusammen mehr als 70% der Gesamtemissionen ausmachen. In der Tabelle 48 sind die monatlichen 50-Perzentile, 98-Perzentile (Tabelle 49) sowie die jährlichen Perzentile zusammen mit den Maxima und Minima der Halbstundenwerte (Tabelle 50) zusammengestellt. Ähnlich wie beim CO_2 sind die Konzentrationsunterschiede für die verschiedenen Perzentile wesentlich geringer als für die reaktiven Gase SO_2, NO, NO_2, O_3, PAN und VOC.

Obwohl die Zeitreihen für Methan mit maximal 7 Jahren noch vergleichsweise kurz sind, lässt sich doch eine leichte Zunahme der Jahreswerte erkennen. Die Zunahme betrug beispielsweise am Schauinsland 5.6 ppb/Jahr (0.3%/Jahr) (Tabelle 51). Diese Zunahme stimmt mit anderen Ergebnissen von Stationen auf der Nordhalbkugel überein (z.B. 4.7 ppb/Jahr an der GAW-Station Mace Head an der Westküste Irlands *(Ref. 6))*.

Interessant ist, dass die Methan-Konzentrationen an den 5 UBA-Stationen seit 1992 weiter zugenommen haben, obwohl die Methan-Emissionen in Deutschland seit Beginn der 90er

Jahre rückläufig sind. Der Grund für den gegenläufigen Trend von Konzentrationen und Emissionen des Methan in Deutschland liegt darin, dass die CH_4-Konzentrationen in Deutschland - ähnlich wie die des CO_2- weitgehend durch die globalen Emissionen bestimmt werden, die entsprechend dem Wachstum der Weltbevölkerung weiter zugenommen haben.

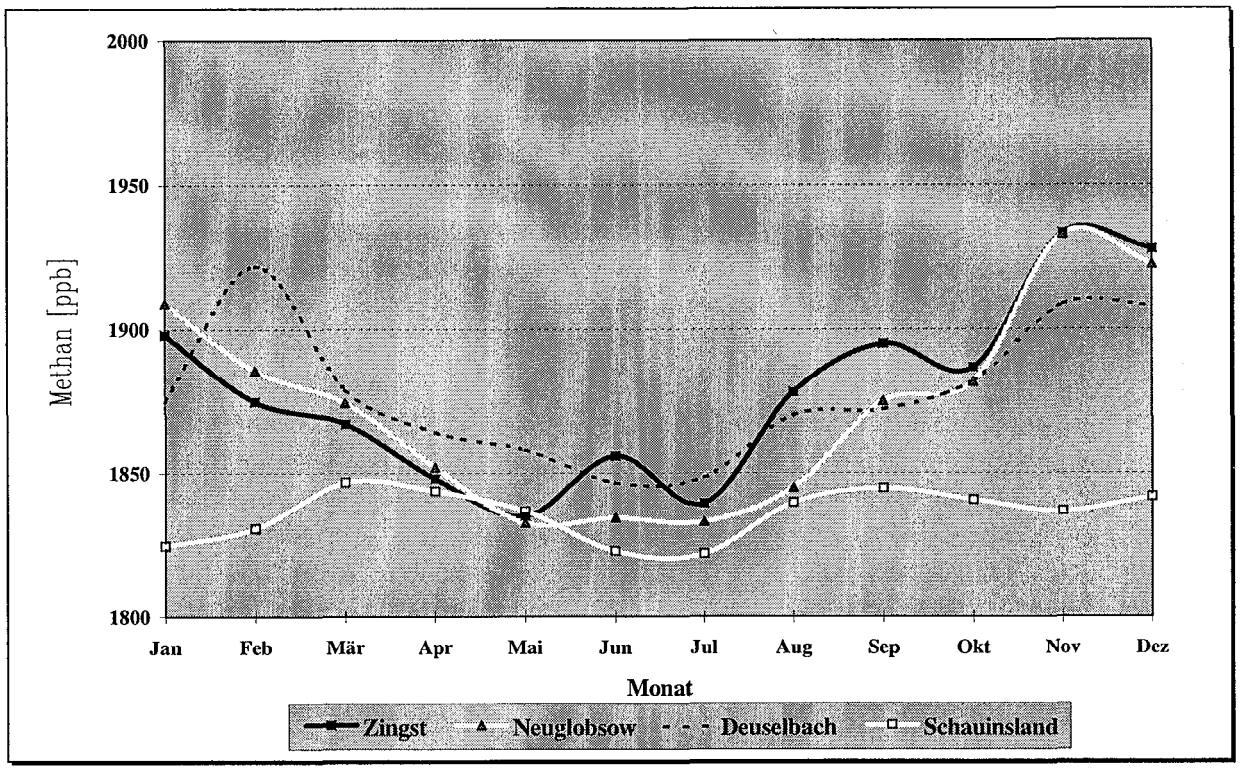


Abbildung 16: Mittlerer Jahresgang von Methan für 1992 bis 1998

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
ZG	1881	1895	1853	1869	1840	1847	1840	1866	1921	1880	1957	1932	1882
NG	1900	1899	1857	1872	1846	1841	1830	1848	1899	1885	1968	1929	1880
SM	1867	-	1848	1848	1845	1824	1837	-	-	-	1923	-	1853
DE	1875	1884	1861	1865	1861	1844	1849	1882	1886	1888	1926	1910	1878
SC	1837	1830	1842	1826	1844	1814	1828	1843	1847	1851	1868	1845	1840

Tabelle 46: Monats- und Jahresmittel Methan für 1998 in ppb

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ZG	2169	2166	2043	2000	2100	2105	2056	2463	2456	2196	2425	2207
NG	2311	2099	2003	2047	2001	1975	1991	2066	2050	2059	2291	2214
SM	2030	-	1946	1972	1954	1906	1994	-	-	-	2128	-
DE	2060	2344	2072	1990	2138	2052	2220	2194	2124	2170	2244	2316
SC	1968	1911	2028	1902	1951	1873	1927	1994	1986	2031	2079	2001

Tabelle 47: Monatsmaxima Methan für 1998 in ppb

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ZG	1864	1884	1845	1863	1828	1841	1831	1851	1906	1868	1921	1923
NG	1876	1887	1848	1871	1837	1836	1827	1844	1888	1873	1930	1915
SM	1860	-	1845	1843	1842	1821	1835	-	-	-	1901	-
DE	1869	1875	1856	1854	1848	1835	1835	1874	1880	1871	1910	1894
SC	1821	1824	1838	1827	1841	1813	1824	1840	1835	1837	1860	1835

Tabelle 48: Monatliche 50-Perzentile von Methan für 1998

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ZG	2089	2072	1942	1945	1944	1977	1955	2038	2134	2067	2311	2107
NG	2155	2030	1957	1957	1941	1922	1910	1939	2022	2009	2235	2136
SM	1973	-	1910	1933	1912	1875	1903	-	-	-	2076	-
DE	1986	2021	1943	1950	1988	1943	1982	1990	1994	2012	2152	2064
SC	1941	1895	1898	1862	1906	1849	1883	1913	1951	1983	1966	1969

Tabelle 49: Monatliche 98-Perzentile von Methan für 1998

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
ZG	872	1799	1808	1817	1835	1864	1908	1970	2022	2094	2463
NG	1663	1798	1810	1820	1838	1865	1902	1961	2003	2093	2311
DE	1768	1807	1816	1824	1840	1866	1903	1945	1974	2020	2344
SC	1745	1786	1795	1803	1817	1833	1854	1886	1910	1946	2079

Tabelle 50: Jährliche Perzentile von Methan für 1998

Stationen	Wester-land	Zingst	Neuglob-sow	Waldhof	Schmücke	Deusel-bach	Brot-jacklr.	Schau-insland	Zug-spitze
1993	-	-	-	-	-	-	-	1819	-
1994	-	-	-	-	-	1847	-	1816	-
1995	-	-	1857	-	1843	-	-	1829	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	1842	1814
1997	-	-	-	-	-	-	-	1831	1800
1998	-	1882	1880	-	-	1878	-	1840	-

Tabelle 51: Jahresmittel von Methan für 1993 bis 1998 in ppb

2.1.8 Partikelförmige Luftverunreinigungen

Neben dem Gesamtschwebstaub werden im Messnetz des UBA folgende Inhaltsstoffe im Staub gemessen: Schwefel (S) und verschiedene Alkali- und Erdalkalimetalle sowie die Schwermetalle Blei (Pb), Cadmium (Cd), Eisen (Fe) und Mangan (Mn), Nickel, Kupfer. Teilweise schon seit Ende der 60er Jahre wird der Gesamtstaub (Tagesproben) 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. Seit 1974 wird der Schwefelgehalt im Schwebstaub (Tagesproben) bestimmt. 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_{10}) umgestellt. In diesem Bericht werden nur die Messergebnisse für den Gesamtstaub sowie den Schwefel im Schwebstaub präsentiert.

In der Tabelle 52 sind die Monats- und Jahresmittel des Schwebstaubes (kontinuierlich) und in Tabelle 53 die Monatsmaxima der Halbstundenwerte zusammengestellt. Die höchsten Monatsmittelwerte traten mit 56 $\mu g/m^3$ in Bassum und mit 55 $\mu g/m^3$ in Wiesenburg auf, die niedrigsten am Schauinsland mit 3 $\mu g/m^3$. Der höchste Jahresmittelwert trat mit 30 $\mu g/m^3$ in Wiesenburg, der niedrigste mit 8 $\mu g/m^3$ am Schauinsland auf.

An den meisten Stationen wurden die maximalen Monatswerte im Mai 1998 gemessen (Tabelle 52). Im langjährigen Mittel traten die höchsten Schwebstaubkonzentrationen an den Flachlandstationen Neuglobsow und Waldhof im Winter, auf dem Schauinsland dagegen im Sommer auf (siehe Abbildung 17). Der Grund für dieses Sommermaximum liegt darin, dass der Schauinsland im Winter oft oberhalb der partikelreichen Mischungsschicht in der unteren freien Troposphäre liegt. Ähnlich wie bei den Monatsmittelwerten traten bei den maximalen monatlichen Halbstundenmitteln im Jahre 1998 die höchsten Werte an den meisten Stationen im Mai auf. Der höchste Halbstundenwert wurde mit 357 $\mu g/m^3$ in Ansbach gemessen, gefolgt von Lindenberg (337 $\mu g/m^3$) und Wiesenburg (306 $\mu g/m^3$).

In der Tabelle 54 sind die monatlichen 50-Perzentile, in Tabelle 55 die 98-Perzentile und in Tabelle 56 die jährlichen Perzentile zusammen mit den Maxima und Minima der Halbstundenwerte zusammengestellt. Wie aus Tabelle 58 sowie aus Abbildung 18 zu entnehmen ist, hat sich die Schwebstaubbelastung (Tagesproben) in den ländlichen Gebieten Deutschlands während der letzten 20 bis 30 Jahre in etwa halbiert. Ein starker Rückgang der Staubkonzentrationen in Deutschland wurde zwischen 1990 und 1998 beobachtet. Dieser Rückgang ist im Wesentlichen auf die erhebliche Reduzierung der Staubemissionen in Deutschland während der letzten Jahrzehnte zurückzuführen, zuerst im ehemaligen Bundesgebiet, ab 1990 vor allem in der neuen Bundesländern. Der Rückgang der Emissionen in Deutschland betrug zwischen 1970 und 1996 mehr als 80% *(Ref. 7)*. Als Folge weiterer Staubreduzierungen in Deutschland und dessen Nachbarstaaten wird der atmosphärische Staubgehalt gegen einen Grenzwert konvergieren, der durch die natürlichen Staubemissionen (Dispersionsaerosol, Seesalzaerosol, Bodenabrieb etc.) bestimmt wird. Dieser Grenzwert liegt in Westerland wegen des hohen Seesalzanteils naturgemäß wesentlich höher als an den Stationen im Binnenland.

Tabelle 59 zeigt die Jahresmittel von Schwefel der in Tabelle 58 aufgelisteten Schwebstaubkonzentrationen. Ähnlich wie die Konzentrationen des Gesamtstaubs (in $\mu g/m^3$) haben auch die Konzentrationen des Schwefels (in $\mu g/m^3$) während der letzten Jahrzehnte abgenommen, d.h. der Schwefelanteil am Gesamtstaub ist weitgehend konstant *(Ref. 10)*. Wie weitergehende Auswertungen gezeigt haben, ist der Rückgang des Schwefels im Schwebstaub auf die Verminderung der Staubemissionen zurückzuführen und nicht auf die drastische Reduzierung der SO_2-Emissionen in Deutschland während der letzten zwei Jahrzehnte *(Ref. 1; 8)*. Änderungen der SO_2-Konzentrationen bewirken bestenfalls Änderungen des Schwefelgehaltes im Feinstaubbereich (Partikel kleiner als 2 μm Durchmesser), in dem zwar der allergrößte Anteil des Schwefels aber nicht der Gesamtmasse des Schwebstaubs enthalten ist. Der Feinstaub ($PM_{2.5}$) wird im UBA-Messnetz nur in Waldhof seit April 1999 gemessen.

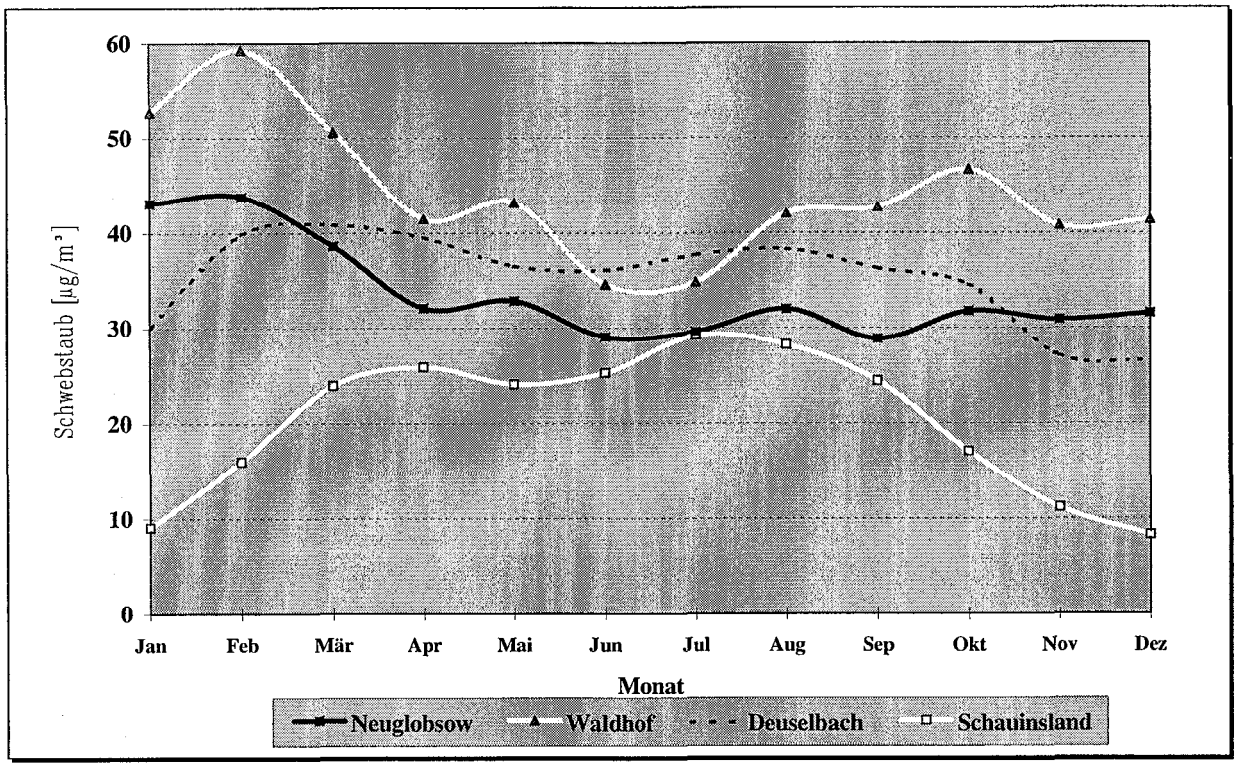


Abbildung 17: Jahresgänge von Schwebstaub für 1968 bis 1998 in µg/m³, Digitel-Tagesproben

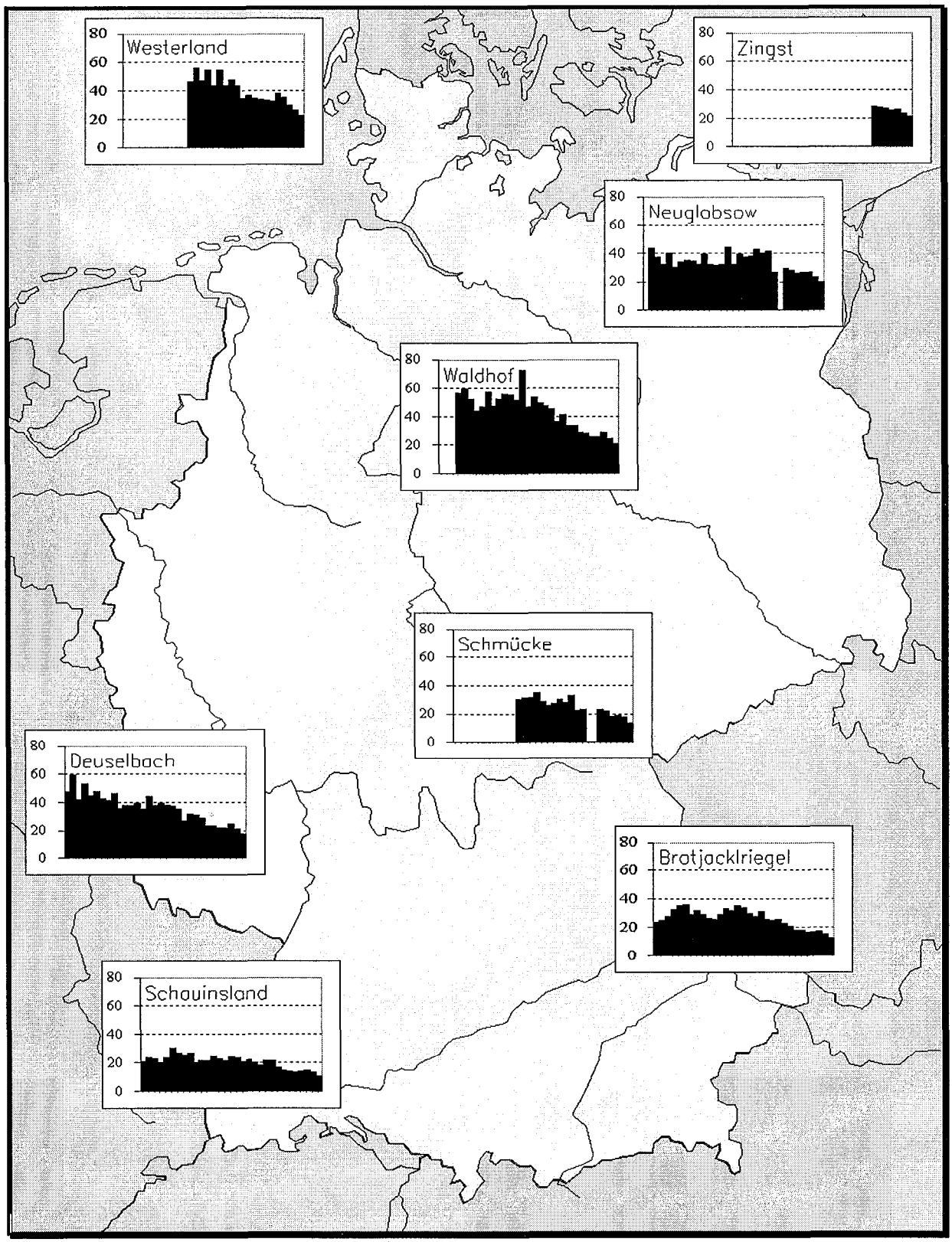


Abbildung 18: Jahresmittel von Schwebstaub für 1968 bis 1998 in µg/m³, Digitel-Tagesproben

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZG	10	16	11	13	11	5	8	8	15	8	23	15	12
HG*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HW*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	17	18	22	14	28	26	-
TE	13	21	15	18	23	-	-	17	-	-	-	-	19
UE	15	20	17	21	24	18	16	17	24	12	32	22	20
NG	11	16	12	14	15	12	11	12	23	10	25	16	15
AN	23	26	20	25	29	22	18	21	29	16	37	28	25
KY	22	-	20	19	32	22	-	-	-	-	-	-	-
BA	23	56	25	20	36	18	17	17	18	16	28	23	25
WA	17	28	17	11	15	7	6	6	8	5	13	10	12
WI	32	-	29	33	55	32	25	21	21	13	30	-	30
GI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-
LI	20	25	19	22	28	18	19	20	20	-	-	-	21
DL	23	24	19	22	31	21	17	22	21	15	-	-	22
MP	25	27	20	21	27	20	17	21	19	14	29	26	22
LF	18	25	17	18	28	22	21	28	21	14	25	21	22
ME	19	36	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE	22	29	17	-	-	-	15	17	15	11	22	-	20
LM	17	22	25	26	-	29	24	-	22	-	-	18	22
LU	26	32	19	22	27	-	18	22	21	15	28	27	23
SM	10	16	12	9	19	12	16	20	10	5	9	8	12
SZ	16	18	17	15	27	16	15	22	16	11	18	-	17
RE*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DE	7	10	9	5	12	7	7	10	7	5	7	11	8
AS	27	30	22	18	36	16	18	26	23	15	-	19	23
BR	7	16	-	-	-	16	16	22	15	11	16	12	15
RT*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC	3	5	7	5	-	11	11	14	10	6	10	7	8
MU	16	20	14	10	20	15	15	18	12	-	19	17	16

Tabelle 52: Monats- und Jahresmittel Schwebstaub für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

*: keine Messungen

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZG	31	73	67	49	48	32	37	41	68	53	135	68
HG*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HW*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	104	106	102	54	118	106
TE	93	80	107	91	115	-	-	111	-	-	-	-
UE	88	82	97	109	223	153	112	80	89	72	236	156
NG	57	64	60	46	175	68	78	73	82	32	120	78
AN	275	109	86	104	209	135	92	94	124	51	191	157
KY	105	-	103	77	266	106	-	-	-	-	-	-
BA	102	201	88	104	255	61	63	91	71	58	115	102
WA	70	89	66	48	166	72	69	61	56	35	80	63
WI	147	-	111	217	306	108	119	95	98	37	157	-
GI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	78	-	-
LI	80	89	108	107	337	68	96	101	161	-	-	-
DL	164	80	106	197	263	120	133	155	115	64	-	-
MP	140	85	120	142	202	105	87	92	136	47	148	125
LF	129	77	63	81	103	127	95	236	170	87	252	171
ME	96	99	186	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE	96	102	83	-	-	-	48	125	83	41	112	-
LM	158	131	150	172	-	174	104	-	131	-	-	63
LU	163	118	110	119	109	-	83	108	86	55	205	98
SM	46	72	75	67	70	61	72	55	55	21	36	40
SZ	91	60	129	93	121	141	73	94	85	49	107	-
RE*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DE	59	34	44	26	64	42	32	62	49	39	57	70
AS	178	109	80	78	357	62	78	129	112	57	-	89
BR	58	89	-	-	-	88	68	81	74	47	102	46
RT*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC	25	26	57	60	-	59	73	64	59	49	157	76
MU	78	72	95	58	102	64	96	91	86	-	95	77

Tabelle 53: Monatsmaxima Schwebstaub für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

*: keine Messungen

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZG	8	15	9	10	9	4	7	7	11	7	10	10
HG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	14	15	18	14	19	20
TE	11	19	12	15	19	-	-	14	-	-	-	-
UE	13	18	12	17	18	16	13	12	19	11	16	15
NG	8	16	9	12	12	11	10	9	19	9	13	11
AN	18	21	16	22	23	19	16	16	25	14	24	21
KY	18	-	16	17	24	21	-	-	-	-	-	-
BA	20	49	21	19	25	16	16	14	16	16	21	20
WA	14	24	14	9	8	6	5	5	6	5	9	8
WI	23	-	25	29	43	31	22	16	17	12	21	-
GI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	15	-
LI	15	21	15	18	21	17	17	16	17	-	-	-
DL	16	21	12	18	23	18	14	16	16	14	-	-
MP	15	24	15	17	23	18	15	17	15	12	21	19
LF	14	23	14	15	24	18	17	21	16	12	18	15
ME	15	33	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE	15	28	14	-	-	-	13	16	12	11	15	-
LM	11	19	21	23	-	25	21	-	19	13	-	15
LU	19	27	15	19	24	-	16	18	17	13	19	23
SM	8	16	9	8	17	11	12	20	8	5	7	7
SZ	11	18	14	12	23	13	13	19	13	10	14	-
RE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DE	5	9	7	4	10	6	6	9	6	5	6	9
AS	18	29	18	16	24	15	16	25	19	12	-	15
BR	4	13	-	-	-	14	15	21	13	9	13	11
RT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC	3	4	6	4	-	9	10	13	8	5	7	6
MU	12	18	11	9	17	12	13	17	9	-	13	13

Tabelle 54: Monatliche 50-Perzentile von Schwebstaub für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZG	27	36	33	37	33	17	24	21	49	25	100	51
HG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	-	-	-	-	-	-	56	63	75	37	98	71
TE	40	59	49	57	77	-	-	70	-	-	-	-
UE	48	61	52	63	84	54	55	52	70	33	130	71
NG	39	43	41	35	43	26	27	32	61	23	90	59
AN	65	76	57	68	104	63	52	62	80	39	131	78
KY	58	-	53	48	109	55	-	-	-	-	-	-
BA	66	142	61	56	146	44	45	58	45	37	89	67
WA	45	68	53	36	78	22	29	25	28	14	45	35
WI	114	-	91	93	193	77	69	65	66	29	99	-
GI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39	49	-
LI	60	70	61	67	98	46	51	61	64	-	-	-
DL	71	57	64	74	112	65	52	78	64	38	-	-
MP	82	65	65	62	85	56	42	63	60	33	113	91
LF	66	62	49	57	79	72	59	101	72	33	84	70
ME	58	84	84	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE	76	64	52	-	-	-	33	44	48	29	90	-
LM	60	78	75	76	-	87	71	-	69	44	-	48
LU	98	94	60	67	71	-	55	65	62	38	113	72
SM	37	41	43	39	56	42	48	38	40	17	28	29
SZ	60	39	58	51	78	56	42	64	55	34	79	-
RE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DE	27	24	28	13	32	22	17	26	18	12	30	36
AS	84	72	63	48	144	43	41	61	67	39	-	57
BR	34	45	-	-	-	48	39	54	42	33	67	36
RT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC	11	13	23	17	-	37	29	32	30	18	34	30
MU	53	49	45	34	54	46	38	44	41	-	71	61

Tabelle 55: Monatliche 98-Perzentile von Schwebstaub für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
WE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZG	0	1	2	3	5	8	14	24	33	47	135
HG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
UE	0	0	3	5	9	15	25	42	55	72	236
SW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NG	0	2	3	4	7	11	19	29	40	54	175
AN	0	0	3	6	11	19	33	50	63	83	275
KY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	0	1	4	7	11	19	30	49	64	88	255
WA	0	1	2	3	5	8	15	27	36	49	166
WI	0	3	5	7	13	23	38	61	76	100	306
GI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DL	0	0	3	5	10	17	28	43	55	72	263
MP	0	2	4	6	11	17	28	44	57	72	202
LF	0	0	2	5	10	17	28	44	57	73	252
ME	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LM	0	0	2	5	10	18	30	44	55	70	174
LU	0	0	3	6	11	18	30	46	58	75	205
SM	0	0	0	2	5	10	17	26	33	41	75
SZ	0	0	1	3	7	14	23	35	46	60	141
RE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DE	0	1	1	2	4	7	10	16	21	27	70
AS	0	2	3	5	10	18	30	45	55	70	357
BR	0	0	1	2	6	12	21	29	36	45	102
RT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SC	0	0	0	1	3	6	11	18	23	29	157
MU	0	1	2	3	6	12	22	33	40	50	102

Tabelle 56: Jährliche Perzentile von Schwebstaub für 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

Stationen	WE	ZG	HG	AU	HW	TE	UE	SW	NG	AN	SH	KY	BA	WA	WI	GI	LI	FA
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45	-	-	-	-
1990	-	-	-	-	19	-	-	-	-	-	-	-	23	30	-	22	-	-
1991	-	-	-	-	23	-	-	41	-	-	-	-	27	35	43	28	-	-
1992	-	19	-	-	19	31	33	33	23	36	-	35	25	29	38	25	-	-
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	-
1996	-	16	-	-	-	28	-	36	21	32	-	-	-	17	-	-	34	-
1997	-	13	-	-	-	24	-	31	16	27	-	31	-	19	44	-	27	-
1998	-	12	-	-	-	-	20	-	15	25	-	-	25	12	30	-	-	-

Stationen	DL	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	AS	BR	RT	SC	MU	ZU
1980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	-	-	-	23	-	-
1990	-	-	-	22	34	-	-	-	-	34	22	36	-	26	24	-	-
1991	42	-	-	26	28	-	-	-	35	40	22	-	30	29	23	-	-
1992	38	-	-	21	25	-	35	24	31	32	20	-	-	23	22	-	-
1993	38	-	36	20	27	-	36	22	30	33	18	39	29	-	20	-	-
1994	33	31	32	19	23	25	32	21	27	23	16	28	26	-	19	-	-
1995	28	29	27	-	20	23	-	18	26	20	22	19	-	22	12	-	-
1996	31	37	-	23	-	25	38	16	30	-	21	26	-	33	9	-	-
1997	28	30	27	-	32	22	30	14	22	-	16	26	-	-	6	17	-
1998	22	22	22	-	-	-	23	12	17	-	8	23	-	-	8	16	-

Tabelle 57: Jahresmittel von Schwebstaub, 1989 bis 1998 in µg/m³, kontinuierliches Messverfahren

Stationen	WE	ZG	HG	HW	SW	NG	AN	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

Tabelle 58: Jahresmittel von Schwebstaub für 1968 bis 1998 in µg/m³, Digitel-Tagesproben

Stationen	WE	ZG	HW	NG	BA	WA	ME	SM	DE	AS	BR	RT	SC
1968	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1969	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1970	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1971	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1972	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1973	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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

Tabelle 59: Jahresmittel von Schwefel im Schwebstaub für 1974 bis 1998 in µgS/m³

2.2 Ionen im Niederschlag

Die Konzentrationen und Depositionen der Ionen Ammonium (NH_4^+), Sulfat ($SO_4^=$), Nitrat (NO_3^-), Chlorid (Cl^-), Natrium (Na^+), Kalium (K^+), Calcium (Ca^{++}) und Magnesium (Mg^{++}) werden zusammen mit der Regenmenge und der spezifischen Leitfähigkeit zunächst als Monatswerte für die Stationen Westerland, Zingst, Waldhof, Neuglobsow, Deuselbach, Schmücke, Schauinsland und Brotjacklriegel in Tabellenform für das Jahr 1998 zusammengestellt.

Des weiteren wird für jede der 8 Stationen der mittlere Jahresgang der Monatswerte der Konzentrationen und Depositionen sowie die Jahreswerte tabellarisch dargestellt: Für die 5 Stationen in den alten Bundesländern umfasst die Darstellung den Zeitraum von 1982 bis 1998, für die 3 Stationen in den neuen Bundesländern den Zeitraum von 1993 bis 1998.

Eine ausführliche Darstellung über die Entwicklung des sauren Regens in Deutschland zwischen 1982 und 1998 und deren Ursachen ist in einem gesonderten Artikel in Kapitel 3.2. ab der Seite 133 in diesem Bericht zu finden, so dass die in Kapitel 2.2 zusammengestellten Messdaten im folgenden nicht weiter interpretiert werden.

2.2.1 Konzentrationen der Ionen im Niederschlag

In Tabelle 60 bis Tabelle 62 sind die monatlichen Konzentrationen der Ionen im Niederschlag sowie deren elektrische Leitfähigkeit, der pH-Wert und die Regenmenge für 1998 dargestellt. In Tabelle 63 bis Tabelle 70 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 jede der 8 Stationen für 1982 bis 1998 bzw. 1993 bis 1998 zusammengefasst.

Aus diesen Tabellen geht hervor, dass sich der seit 1982 beobachtete Rückgang der Ionenkonzentrationen einiger Ionen wie beispielsweise H^+ und $SO_4^=$ auch 1998 fortgesetzt hat. Die höchsten monatlichen Konzentrationen der Seesalzkomponenten Natrium, Magnesium und Chlorid wurden naturgemäß an der Nordseestation Westerland beobachtet. Generell unterscheiden sich die Konzentrationen der Regeninhaltsstoffe Sulfat, Nitrat und Ammonium an den 8 Stationen nur wenig, d.h. die Konzentrationsverteilung dieser Ionen in Deutschland ist recht homogen.

Zeit-raum	Regen l/m²	pH	Leitf. µS/cm	NH_4^+ mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	$SO_4^=$ mg/l	NO_3^- mg/l	Cl^- mg/l
	WESTERLAND										
Jan.	78.5	4.78	75.1	0.45	8.48	0.35	0.53	1.07	3.38	1.96	15.72
Feb.	29.7	4.80	105.3	1.58	10.28	0.43	0.83	1.40	5.61	4.16	21.41
Mär.	43.3	4.72	129.5	1.07	14.34	0.58	1.26	1.71	6.63	3.80	27.17
Apr.	72.2	4.81	32.3	1.20	1.85	0.13	0.37	0.25	2.61	3.64	3.29
Mai	13.0	4.48	65.1	1.21	4.38	0.24	0.78	0.60	4.30	3.96	8.17
Jun.	55.8	4.92	40.9	1.03	2.72	0.24	0.83	0.38	3.08	4.01	5.27
Jul.	96.4	4.98	56.0	0.35	6.06	0.36	0.70	0.74	3.20	2.31	11.10
Aug.	66.5	4.74	77.4	0.48	7.51	0.38	0.81	0.97	3.64	2.37	15.23
Sep.	86.7	4.79	50.3	1.06	4.19	0.23	0.51	0.57	3.45	2.81	7.81
Okt.	178.3	4.90	110.6	0.34	13.71	0.35	0.74	1.47	4.94	1.76	25.85
Nov.	65.5	4.69	53.6	0.51	5.33	0.18	0.64	0.74	2.92	2.57	9.60
Dez.	50.5	4.75	51.5	0.61	4.16	0.31	1.29	0.68	2.74	2.91	8.44
	ZINGST										
Jan.	51.2	4.85	22.2	0.37	1.18	0.11	0.33	0.17	1.52	1.99	2.11
Feb.	35.9	4.81	38.4	1.55	1.11	0.11	0.83	0.21	3.76	4.94	2.26
Mär.	46.7	5.03	19.9	0.57	0.86	0.07	0.42	0.13	1.82	2.18	1.28
Apr.	58.6	5.02	29.9	1.40	0.48	0.16	1.15	0.27	4.68	3.50	0.89
Mai	28.0	5.75	26.9	1.46	0.70	0.22	1.15	0.33	4.12	3.02	1.43
Jun.	89.9	5.02	17.3	0.40	0.37	0.09	0.79	0.16	2.26	2.01	0.63
Jul.	53.7	4.91	26.5	1.17	0.78	0.19	0.66	0.18	2.88	3.72	1.33
Aug.	68.5	5.22	17.9	0.65	0.65	0.10	0.43	0.12	1.72	2.02	1.28
Sep.	56.2	4.84	16.6	0.39	0.56	0.07	0.47	0.11	1.62	1.53	1.01
Okt.	96.6	5.54	30.2	0.20	2.87	0.26	0.67	0.43	2.33	1.28	5.30
Nov.	39.9	4.50	38.8	0.60	1.44	0.15	1.08	0.37	4.34	3.84	2.40
Dez.	34.2	4.70	26.2	0.84	0.61	0.08	0.36	0.12	1.75	3.30	1.62
	NEUGLOBSOW										
Jan.	68.7	4.62	18.7	0.43	0.58	0.06	0.25	0.08	1.36	2.23	0.95
Feb.	16.2	4.99	34.2	1.70	1.00	0.15	0.53	0.13	3.32	4.34	1.92
Mär.	41.8	4.85	21.0	0.89	0.54	0.12	0.29	0.07	1.72	2.80	0.90
Apr.	37.7	4.51	30.7	1.37	0.13	0.18	0.58	0.05	3.43	3.99	0.33
Mai	27.5	4.81	24.9	2.07	0.23	0.07	0.31	0.06	3.32	3.23	0.50
Jun.	39.6	4.62	27.8	1.44	0.23	0.12	0.55	0.07	2.59	3.46	0.56
Jul.	51.0	4.68	30.7	2.31	0.23	0.36	0.45	0.09	3.63	3.17	0.49
Aug.	60.3	4.69	21.1	0.74	0.25	0.09	0.38	0.05	2.36	2.14	0.55
Sep.	28.1	4.71	18.1	0.58	0.08	0.07	0.28	0.03	1.83	1.79	0.22
Okt.	102.7	4.92	14.7	0.33	0.62	0.06	0.26	0.08	1.25	1.42	1.15
Nov.	23.5	4.59	26.3	0.63	0.37	0.07	0.43	0.08	1.84	2.98	0.73
Dez.	45.1	4.95	14.6	0.49	0.27	0.08	0.28	0.05	1.32	2.05	0.47

Tabelle 60: Monatliche Konzentrationen im Niederschlag für 1998, Westerland, Zingst und Neuglobsow

Zeit-raum	Regen l/m²	pH	Leitf. µS/cm	NH_4^+ mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	SO_4^- mg/l	NO_3^- mg/l	Cl^- mg/l
	WALDHOF										
Jan.	52.9	4.97	18.5	0.52	0.94	0.13	0.37	0.16	1.54	2.21	1.63
Feb.	13.2	5.84	25.1	1.32	1.44	0.19	0.65	0.20	3.00	3.31	2.64
Mär.	60.2	5.27	15.9	0.61	0.42	0.11	0.40	0.15	1.60	2.18	0.83
Apr.	70.0	5.02	24.4	1.75	0.12	0.16	0.61	0.15	2.57	4.35	0.38
Mai	18.8	4.87	30.9	1.66	0.22	0.18	0.93	0.24	4.01	3.46	0.58
Jun.	108.1	5.00	18.8	0.94	0.18	0.09	0.65	0.12	2.18	2.96	0.31
Jul.	80.5	5.07	18.4	0.97	0.30	0.10	0.51	0.11	2.25	3.08	0.57
Aug.	66.5	5.54	13.0	0.54	0.46	0.19	0.44	0.10	1.34	1.60	0.91
Sep.	50.1	5.01	19.3	0.94	0.10	0.09	0.55	0.10	2.18	2.54	0.31
Okt.	151.4	5.07	13.5	0.40	0.49	0.09	0.40	0.11	1.46	1.61	0.92
Nov.	57.5	4.92	22.0	0.64	0.80	0.11	0.53	0.19	1.75	2.77	1.55
Dez.	43.2	5.42	17.0	0.66	0.60	0.13	0.44	0.15	1.70	2.07	1.17
	SCHMÜCKE										
Jan.	99.1	4.56	19.3	0.50	0.44	0.06	0.07	0.05	1.49	1.98	0.73
Feb.	52.7	4.72	23.9	1.38	0.36	0.08	0.15	0.06	2.09	3.69	0.82
Mär.	121.1	4.82	16.5	0.92	0.45	0.06	0.21	0.09	1.74	2.40	0.75
Apr.	89.9	4.58	23.8	1.24	0.12	0.08	0.19	0.02	2.20	3.37	0.24
Mai	54.2	4.51	23.1	1.01	0.10	0.08	0.35	0.02	2.49	2.65	0.24
Jun.	68.4	4.73	20.8	1.09	0.11	0.16	0.32	0.04	1.97	2.45	0.20
Jul.	215.5	4.47	22.3	0.89	0.11	0.09	0.15	0.02	2.22	2.59	0.27
Aug.	85.4	4.75	15.4	0.74	0.11	0.11	0.20	0.03	1.52	2.05	0.29
Sep.	254.5	4.79	10.7	0.33	0.12	0.04	0.06	0.02	0.98	1.22	0.20
Okt.	269.3	4.67	15.2	0.27	0.36	0.06	0.09	0.05	1.23	1.52	0.55
Nov.	117.1	4.58	18.1	0.49	0.22	0.06	0.08	0.05	1.23	2.24	0.40
Dez.	75.3	4.37	32.0	1.08	0.83	0.10	0.10	0.09	2.51	3.54	1.31
	DEUSELBACH										
Jan.	70.3	4.97	14.3	0.36	0.83	0.06	0.20	0.11	1.23	1.07	1.54
Feb.	11.3	5.56	12.9	0.82	0.20	0.06	0.24	0.08	1.45	1.71	0.47
Mär.	55.4	4.83	19.6	1.15	0.41	0.07	0.49	0.09	1.99	2.42	0.81
Apr.	115.3	4.55	18.8	0.58	0.16	0.06	0.25	0.05	1.79	1.97	0.43
Mai	54.6	4.90	16.6	0.97	0.07	0.09	0.25	0.03	1.79	2.27	0.23
Jun.	55.9	4.92	14.5	0.48	0.12	0.07	0.71	0.14	1.73	1.75	0.31
Jul.	45.1	4.67	17.1	0.49	0.18	0.05	0.36	0.07	1.77	2.24	0.38
Aug.	24.0	5.21	14.3	0.81	0.19	0.08	0.36	0.08	1.52	2.35	0.43
Sep.	85.6	4.66	20.3	0.53	0.46	0.08	0.54	0.10	1.89	2.26	0.81
Okt.	161.8	4.90	11.2	0.23	0.35	0.07	0.31	0.07	1.03	1.22	0.63
Nov.	43.4	4.55	20.8	0.31	0.31	0.06	0.52	0.12	1.74	2.37	0.69
Dez.	37.4	4.59	22.1	0.37	0.47	0.04	0.41	0.09	1.89	2.19	0.94

Tabelle 61: Monatliche Konzentrationen im Niederschlag für 1998, Waldhof, Schmücke und Deuselbach

Zeitraum	Regen l/m²	pH	Leitf. µS/cm	NH_4^+ mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	$SO_4^=$ mg/l	NO_3^- mg/l	Cl^- mg/l
	BROTJACKLRIEGEL										
Jan.	36.5	4.77	14.8	0.63	0.18	0.09	0.13	0.02	1.13	2.25	0.30
Feb.	13.5	4.88	32.2	1.89	0.56	0.16	1.18	0.11	4.01	5.73	1.01
Mär.	68.6	4.63	27.3	1.73	0.37	0.11	0.30	0.06	2.60	4.25	0.62
Apr.	40.7	5.05	18.3	1.28	0.13	0.08	0.41	0.04	1.97	3.11	0.24
Mai	43.9	4.88	18.5	2.12	0.05	0.38	0.32	0.06	2.48	2.37	0.22
Jun.	111.8	4.84	12.1	0.41	0.05	0.10	0.36	0.02	1.31	1.66	0.09
Jul.	147.8	4.73	20.7	1.07	0.13	0.15	0.42	0.04	2.36	2.88	0.22
Aug.	79.5	5.34	10.9	0.79	0.08	0.09	0.22	0.03	1.37	1.67	0.15
Sep.	173.5	4.95	10.8	0.41	0.14	0.06	0.19	0.02	1.18	1.42	0.20
Okt.	178.5	4.90	10.6	0.48	0.14	0.10	0.15	0.03	1.13	1.62	0.24
Nov.	102.5	4.72	13.8	0.43	0.19	0.15	0.19	0.03	1.14	2.15	0.25
Dez.	38.9	4.53	29.9	1.06	0.90	0.51	0.46	0.09	2.54	4.50	1.39
	SCHAUINSLAND										
Jan.	155.4	4.93	10.2	0.26	0.42	0.06	0.13	0.06	0.93	1.03	0.73
Feb.	74.5	5.07	13.6	0.74	0.15	0.09	0.27	0.03	1.54	1.87	0.26
Mär.	132.0	4.70	21.0	0.90	0.33	0.08	0.21	0.06	1.97	2.43	0.60
Apr.	207.8	4.98	10.9	0.44	0.10	0.05	0.23	0.04	1.10	1.44	0.20
Mai	86.2	4.79	20.6	1.59	0.08	0.09	0.33	0.04	2.18	2.93	0.19
Jun.	144.5	5.06	13.0	0.64	0.17	0.09	0.34	0.05	1.51	1.57	0.26
Jul.	108.7	4.99	15.9	0.87	0.13	0.09	0.43	0.06	1.78	2.05	0.24
Aug.	133.5	5.06	10.8	0.42	0.21	0.11	0.28	0.07	1.67	1.31	0.27
Sep.	202.3	4.96	11.2	0.29	0.22	0.06	0.32	0.06	1.18	1.13	0.43
Okt.	171.4	4.95	11.6	0.32	0.34	0.10	0.29	0.06	1.22	1.15	0.54
Nov.	210.8	4.73	12.8	0.25	0.24	0.07	0.19	0.04	1.09	1.31	0.36
Dez.	100.0	4.64	18.4	0.30	0.42	0.14	0.37	0.07	1.49	1.91	0.72

Tabelle 62: Monatliche Konzentrationen im Niederschlag für 1998, Brotjacklriegel und Schauinsland

Zeit-raum	Regen l/m²	pH	Leitf. µS/cm	NH_4^+ mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	$SO_4^=$ mg/l	NO_3^- mg/l	Cl^- mg/l
	Größte Monatswerte										
82-98	178.3	5.51	292.3	6.56	32.93	1.80	5.73	5.15	14.19	15.18	65.75
84-98	178.3	5.51	275.6	6.53	32.93	1.45	2.87	4.17	12.00	15.18	65.75
	Kleinste Monatswerte										
82-98	0.6	3.97	25.5	0.21	0.49	0.04	0.24	0.00	1.90	1.13	0.50
84-98	0.6	4.07	25.5	0.21	0.49	0.04	0.24	0.00	1.90	1.13	0.77
	Mittlerer Jahresgang 1984-1998										
Jan.	49.6	4.61	124.8	0.56	14.59	0.59	0.86	1.68	5.82	2.39	26.89
Feb.	36.4	4.55	114.6	0.88	12.76	0.49	0.88	1.27	5.80	3.18	23.47
Mär.	39.9	4.49	97.8	1.32	9.11	0.40	0.82	1.15	5.62	3.92	17.58
Apr.	29.1	4.45	61.0	1.60	3.71	0.24	0.98	0.53	5.30	4.49	6.90
Mai	32.1	4.48	51.3	1.24	2.54	0.18	1.00	0.38	4.72	4.14	4.92
Jun.	48.4	4.43	49.2	1.07	2.61	0.23	0.64	0.40	4.11	3.57	5.05
Jul.	56.6	4.49	48.7	0.88	3.13	0.23	0.72	0.43	3.97	3.29	5.80
Aug.	72.8	4.57	61.2	0.84	5.17	0.29	0.89	0.66	4.13	2.97	9.74
Sep.	83.0	4.52	71.1	0.71	6.69	0.33	0.65	0.83	4.32	2.71	12.30
Okt.	84.7	4.65	91.9	0.63	10.47	0.44	0.72	1.22	4.73	2.28	19.24
Nov.	69.4	4.65	92.9	0.58	10.35	0.48	0.70	1.18	4.63	2.39	19.38
Dez.	56.4	4.58	81.3	0.53	8.36	0.38	0.77	1.08	4.27	2.39	16.10
	Jahreswerte										
1982	628.2	4.52	90.4	0.85	8.04	0.46	0.83	1.19	4.82	2.83	16.38
1983	569.2	4.37	95.5	1.52	7.76	0.61	0.77	1.12	5.84	3.79	10.99
1984	666.8	4.38	89.4	0.89	7.03	0.47	0.71	1.05	5.43	3.63	12.36
1985	683.8	4.36	78.6	0.95	6.84	0.32	0.69	0.88	5.38	2.98	12.73
1986	605.0	4.49	75.2	0.97	7.01	0.33	0.61	0.87	4.80	2.83	12.55
1987	686.4	4.43	59.5	0.90	4.49	0.26	0.61	0.58	4.38	3.41	8.40
1988	867.6	4.51	73.2	0.79	6.77	0.34	0.62	0.88	4.71	2.84	12.37
1989	478.8	4.55	79.4	1.09	6.58	0.34	0.88	0.97	5.17	3.48	13.23
1990	691.7	4.63	122.0	0.71	14.08	0.58	0.94	1.52	5.83	2.57	26.68
1991	571.1	4.52	99.1	0.84	10.30	0.51	0.89	1.30	5.46	2.93	20.42
1992	697.4	4.58	79.6	0.78	8.49	0.39	1.02	0.90	4.26	3.00	15.21
1993	669.6	4.56	67.1	0.72	6.43	0.27	0.82	0.68	4.10	2.65	12.30
1994	776.8	4.57	75.4	0.80	7.47	0.35	0.90	0.91	4.53	3.05	14.32
1995	656.7	4.60	71.9	0.67	7.25	0.32	0.83	0.83	4.16	2.54	12.88
1996	436.1	4.79	78.4	1.04	8.18	0.39	0.86	0.89	4.42	3.42	14.95
1997	548.4	4.84	66.3	0.76	6.72	0.32	0.61	0.82	3.82	2.70	12.59
1998	836.4	4.81	72.7	0.68	7.63	0.31	0.73	0.93	3.82	2.67	14.48

Tabelle 63: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima und -minima, Jahresmittel und Jahressummen für Konzentrationen im Niederschlag in Westerland für 1982 bis 1998. Da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben.

Zeit-raum	Regen l/m²	pH	Leitf. µS/cm	NH_4^+ mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	$SO_4^=$ mg/l	NO_3^- mg/l	Cl^- mg/l
	Größte Monatswerte										
82-98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
93-98	105.6	6.01	100.3	4.10	4.42	0.32	1.87	0.66	9.40	8.17	7.91
	Kleinste Monatswerte										
82-98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
93-98	0.1	4.05	16.2	0.20	0.14	0.05	0.21	0.04	1.10	1.28	0.34
	Mittlerer Jahresgang 1993-1998										
Jan.	41.3	4.69	32.9	0.38	2.24	0.14	0.47	0.24	2.21	2.01	3.84
Feb.	31.3	4.67	34.6	0.79	1.34	0.11	0.74	0.25	3.19	3.14	2.57
Mär.	36.9	4.67	30.9	0.95	1.02	0.08	0.50	0.15	2.78	3.02	1.75
Apr.	31.3	4.95	30.5	1.48	0.70	0.14	0.86	0.19	3.76	3.48	1.38
Mai	50.3	4.75	26.3	0.89	0.38	0.10	0.68	0.12	3.27	2.68	0.77
Jun.	55.5	4.76	25.6	0.62	0.56	0.13	0.70	0.15	2.73	2.43	1.06
Jul.	44.1	4.75	27.0	0.88	0.62	0.13	0.61	0.14	2.56	3.02	1.16
Aug.	50.1	4.69	26.9	0.87	0.78	0.12	0.47	0.16	2.79	2.41	1.60
Sep.	70.4	4.65	27.5	0.73	0.89	0.11	0.52	0.16	2.50	2.44	1.68
Okt.	56.0	4.87	28.5	0.39	1.79	0.16	0.61	0.28	2.19	1.90	3.37
Nov.	42.0	4.53	37.6	0.65	1.87	0.17	0.64	0.29	3.04	2.89	3.56
Dez.	47.1	4.63	25.1	0.47	0.79	0.08	0.36	0.12	1.82	2.50	1.42
	Jahreswerte										
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	623.9	4.60	31.2	0.68	1.07	0.11	0.38	0.15	2.54	2.58	1.92
1994	621.3	4.58	30.1	0.65	1.03	0.11	0.49	0.15	2.52	2.39	2.01
1995	508.9	4.61	29.1	0.70	1.12	0.10	0.48	0.18	2.53	2.40	2.04
1996	440.8	4.78	30.8	0.88	1.25	0.15	0.87	0.22	3.20	2.86	2.29
1997	482.7	4.86	28.1	0.84	0.84	0.13	0.70	0.18	2.88	2.91	1.71
1998	659.4	4.96	25.0	0.70	1.05	0.14	0.68	0.22	2.60	2.53	1.94

Tabelle 64: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima und -minima, Jahresmittel und Jahressummen für Konzentrationen im Niederschlag in Zingst für 1993 bis 1998. Da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben.

Zeit-raum	Regen l/m²	pH	Leitf. µS/cm	NH_4^+ mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	$SO_4^=$ mg/l	NO_3^- mg/l	Cl^- mg/l
	Größte Monatswerte										
82-98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
93-98	102.7	5.59	52.0	4.11	1.41	0.90	1.03	0.19	7.15	8.27	2.44
	Kleinste Monatswerte										
82-98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
93-98	0.0	4.09	11.8	0.24	0.04	0.02	0.16	0.02	0.85	1.04	0.09
	Mittlerer Jahresgang 1993-1998										
Jan.	45.4	4.68	22.5	0.45	0.90	0.08	0.28	0.12	1.66	2.10	1.64
Feb.	26.2	4.60	26.5	0.78	0.50	0.07	0.36	0.08	2.28	2.91	1.03
Mär.	33.5	4.69	29.6	1.36	0.62	0.18	0.41	0.09	2.83	3.66	1.18
Apr.	28.2	4.64	28.1	1.44	0.20	0.15	0.47	0.06	3.03	3.38	0.48
Mai	58.0	4.58	26.2	1.10	0.11	0.12	0.38	0.04	2.97	2.48	0.24
Jun.	64.8	4.46	29.2	1.06	0.14	0.13	0.42	0.04	3.15	2.51	0.29
Jul.	55.2	4.60	23.8	1.18	0.14	0.14	0.37	0.05	2.53	2.57	0.32
Aug.	45.2	4.74	22.1	1.49	0.25	0.23	0.36	0.06	2.38	2.22	0.57
Sep.	42.7	4.65	23.4	0.88	0.24	0.16	0.40	0.05	2.31	2.30	0.48
Okt.	44.9	4.72	18.3	0.46	0.47	0.10	0.34	0.07	1.47	1.95	0.90
Nov.	25.3	4.55	26.4	0.66	0.48	0.11	0.38	0.08	2.20	2.42	1.01
Dez.	40.4	4.59	21.8	0.48	0.43	0.08	0.34	0.07	1.71	2.43	0.83
	Jahreswerte										
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	566.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	598.4	4.54	29.0	1.16	0.36	0.21	0.36	0.08	2.90	2.69	0.73
1994	639.5	4.52	25.6	0.90	0.42	0.11	0.39	0.07	2.78	2.33	0.83
1995	475.5	4.61	24.7	0.84	0.29	0.13	0.36	0.05	2.23	2.27	0.59
1996	403.0	4.62	24.3	0.96	0.26	0.08	0.40	0.05	2.29	2.90	0.51
1997	399.9	4.77	19.5	0.87	0.29	0.11	0.38	0.06	1.81	2.47	0.62
1998	542.2	4.73	21.8	0.94	0.39	0.11	0.36	0.07	2.13	2.52	0.74

Tabelle 65: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima und -minima, Jahresmittel und Jahressummen für Konzentrationen im Niederschlag in Neuglobsow für 1992 bis 1998. Da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben.

Zeit-raum	Regen l/m²	pH	Leitf. µS/cm	NH_4^+ mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	$SO_4^=$ mg/l	NO_3^- mg/l	Cl^- mg/l
	Größte Monatswerte										
82-98	151.4	5.96	99.2	-	-	-	-	-	15.66	11.45	8.90
84-98	151.4	5.96	91.5	4.21	4.06	0.52	2.47	0.48	15.66	11.45	8.90
	Kleinste Monatswerte										
82-98	0.8	3.84	10.9	-	-	-	-	-	1.27	1.14	0.13
84-98	0.8	3.92	10.9	0.18	0.05	0.03	0.09	0.03	1.27	1.14	0.13
	Mittlerer Jahresgang 1984-1998										
Jan.	49.8	4.51	29.8	0.55	1.15	0.12	0.36	0.17	2.50	2.31	2.25
Feb.	37.4	4.49	31.8	0.74	1.16	0.13	0.41	0.18	2.78	2.52	2.26
Mär.	42.7	4.52	33.1	1.16	0.72	0.13	0.43	0.14	3.15	3.30	1.55
Apr.	35.0	4.50	36.2	1.69	0.44	0.18	0.67	0.12	4.31	4.30	0.94
Mai	47.3	4.27	41.9	1.50	0.24	0.21	0.68	0.10	5.15	4.15	0.55
Jun.	56.3	4.35	32.4	0.96	0.23	0.12	0.49	0.09	3.58	3.15	0.57
Jul.	68.4	4.40	30.0	1.02	0.19	0.12	0.48	0.07	3.47	3.07	0.43
Aug.	56.0	4.42	34.1	1.20	0.33	0.21	0.65	0.11	3.97	3.38	0.72
Sep.	50.0	4.39	35.9	1.07	0.61	0.16	0.56	0.13	4.12	3.39	1.26
Okt.	47.2	4.55	26.7	0.75	0.51	0.14	0.48	0.11	2.80	2.71	1.03
Nov.	49.5	4.55	27.3	0.71	0.66	0.13	0.48	0.16	2.78	2.62	1.38
Dez.	50.6	4.52	27.3	0.61	0.65	0.12	0.38	0.12	2.59	2.37	1.35
	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

Tabelle 66: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima und -minima, Jahresmittel und Jahressummen für Konzentrationen im Niederschlag in Waldhof für 1982 bis 1998. Da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben.

Zeit-raum	Regen l/m²	pH	Leitf. µS/cm	NH_4^+ mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	SO_4^- mg/l	NO_3^- mg/l	Cl^- mg/l
	Größte Monatswerte										
82-98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
93-98	326.0	4.84	52.6	3.59	1.84	0.49	1.57	0.19	7.12	6.57	4.17
	Kleinste Monatswerte										
82-98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
93-98	1.2	4.17	10.7	0.27	0.03	0.02	0.05	0.01	0.98	1.22	0.13
	Mittlerer Jahresgang 1993-1998										
Jan.	117.5	4.59	20.7	0.42	0.58	0.06	0.10	0.07	1.47	1.72	1.09
Feb.	91.6	4.52	24.2	0.79	0.38	0.05	0.12	0.05	1.89	2.58	0.76
Mär.	92.0	4.55	27.2	1.27	0.40	0.08	0.22	0.06	2.56	3.44	0.75
Apr.	101.6	4.47	30.6	1.44	0.18	0.08	0.29	0.04	3.24	3.31	0.38
Mai	80.6	4.56	23.2	0.82	0.10	0.07	0.36	0.04	2.51	2.25	0.25
Jun.	77.0	4.41	27.6	0.90	0.12	0.13	0.27	0.03	2.41	2.66	0.28
Jul.	145.7	4.50	23.4	0.80	0.09	0.06	0.28	0.02	2.29	2.12	0.20
Aug.	76.4	4.58	23.2	0.91	0.17	0.11	0.27	0.04	2.13	2.47	0.38
Sep.	122.4	4.63	17.0	0.51	0.13	0.06	0.13	0.02	1.44	1.67	0.27
Okt.	122.2	4.58	19.3	0.54	0.29	0.08	0.18	0.04	1.74	1.94	0.53
Nov.	83.3	4.47	23.1	0.61	0.28	0.08	0.15	0.04	1.77	2.41	0.56
Dez.	141.5	4.52	20.4	0.48	0.30	0.04	0.07	0.04	1.56	1.95	0.54
	Jahreswerte										
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	1313.3	4.49	25.0	0.73	0.25	0.07	0.28	0.04	2.28	2.32	0.48
1994	1321.4	4.45	26.4	0.75	0.27	0.06	0.24	0.04	2.39	2.32	0.56
1995	1414.3	4.53	23.4	0.70	0.27	0.06	0.15	0.04	1.90	2.05	0.56
1996	984.9	4.49	26.2	1.00	0.24	0.09	0.22	0.04	2.38	2.86	0.45
1997	973.7	4.65	18.5	0.78	0.23	0.08	0.16	0.04	1.71	2.31	0.48
1998	1502.5	4.62	18.3	0.68	0.26	0.07	0.14	0.04	1.64	2.18	0.45

Tabelle 67: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima und -minima, Jahresmittel und Jahressummen für Konzentrationen im Niederschlag auf der Schmücke für 1993 bis 1998. Da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben.

Zeit-raum	Regen l/m²	pH	Leitf. µS/cm	NH_4^+ mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	$SO_4^=$ mg/l	NO_3^- mg/l	Cl^- mg/l
	Größte Monatswerte										
82-98	197.7	5.76	72.5	-	-	-	-	-	8.75	9.01	6.05
84-98	197.7	5.76	72.5	3.52	3.23	0.56	1.43	0.41	8.75	9.01	6.05
	Kleinste Monatswerte										
82-98	3.6	3.90	10.4	-	-	-	-	-	0.75	0.50	0.11
84-98	3.6	3.96	10.4	0.11	0.07	0.02	0.09	0.02	0.75	0.50	0.11
	Mittlerer Jahresgang 1984-1998										
Jan.	59.5	4.72	17.8	0.25	0.70	0.09	0.23	0.09	1.45	1.15	1.38
Feb.	47.3	4.60	21.7	0.47	0.63	0.12	0.29	0.09	1.84	1.73	1.20
Mär.	53.6	4.64	25.1	0.98	0.43	0.10	0.38	0.08	2.55	2.48	0.89
Apr.	46.7	4.40	33.1	1.06	0.32	0.11	0.44	0.09	3.37	3.48	0.72
Mai	60.1	4.34	33.1	1.02	0.17	0.14	0.40	0.07	3.44	3.38	0.37
Jun.	65.7	4.41	29.0	0.76	0.16	0.10	0.42	0.06	3.08	2.73	0.37
Jul.	63.1	4.51	25.3	0.74	0.17	0.11	0.44	0.06	2.86	2.37	0.39
Aug.	52.3	4.63	21.4	0.75	0.20	0.12	0.37	0.05	2.32	2.25	0.40
Sep.	70.7	4.58	21.6	0.55	0.25	0.08	0.37	0.06	2.07	2.09	0.51
Okt.	70.9	4.73	15.4	0.32	0.32	0.08	0.28	0.06	1.58	1.40	0.62
Nov.	55.3	4.60	19.9	0.44	0.41	0.07	0.29	0.07	1.75	1.73	0.81
Dez.	59.5	4.71	17.1	0.27	0.51	0.06	0.23	0.08	1.44	1.35	1.03
	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

Tabelle 68: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima und -minima, Jahresmittel und Jahressummen für Konzentrationen im Niederschlag in Deuselbach für 1982 bis 1998. Da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben.

Zeit-raum	Regen l/m²	pH	Leitf. µS/cm	NH_4^+ mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	$SO_4^=$ mg/l	NO_3^- mg/l	Cl^- mg/l
	Größte Monatswerte										
82-98	219.0	5.58	120.4	-	-	-	-	-	32.29	10.60	2.91
84-98	212.9	5.58	74.3	4.14	1.00	1.01	2.03	0.21	10.02	8.96	2.91
	Kleinste Monatswerte										
82-98	3.5	3.99	7.2	-	-	-	-	-	0.51	0.68	0.05
84-98	6.8	3.99	7.2	0.06	0.01	0.01	0.11	0.01	0.51	0.68	0.05
	Mittlerer Jahresgang 1984-1998										
Jan.	56.9	4.69	18.7	0.68	0.34	0.10	0.24	0.05	2.00	2.32	0.55
Feb.	48.1	4.53	25.4	0.96	0.33	0.13	0.36	0.07	2.52	3.29	0.55
Mär.	62.3	4.59	27.7	1.44	0.25	0.11	0.43	0.06	3.23	3.87	0.45
Apr.	50.4	4.42	35.6	1.77	0.17	0.11	0.59	0.06	4.76	4.39	0.33
Mai	78.3	4.57	24.3	1.02	0.09	0.15	0.43	0.05	3.21	2.47	0.17
Jun.	114.2	4.52	22.8	0.85	0.09	0.09	0.29	0.03	2.86	2.27	0.15
Jul.	118.0	4.63	21.4	0.92	0.10	0.11	0.35	0.04	2.63	2.29	0.17
Aug.	102.1	4.68	20.9	0.97	0.14	0.11	0.32	0.04	2.56	2.20	0.20
Sep.	89.0	4.60	21.3	0.80	0.15	0.12	0.30	0.04	2.52	2.56	0.28
Okt.	71.8	4.79	17.1	0.77	0.19	0.10	0.30	0.05	1.90	2.31	0.31
Nov.	70.6	4.74	18.7	0.80	0.23	0.14	0.29	0.04	2.04	2.56	0.39
Dez.	84.0	4.67	19.3	0.70	0.27	0.12	0.26	0.05	2.13	2.32	0.45
	Jahreswerte										
1982	758.4	4.61	24.8	-	-	-	-	-	3.54	2.73	0.41
1983	842.9	4.42	28.7	-	-	-	-	-	3.87	3.15	0.36
1984	834.9	4.43	32.1	1.09	0.19	0.16	0.44	0.05	4.03	3.38	0.36
1985	946.1	4.38	31.9	1.14	0.21	0.14	0.47	0.05	4.13	3.39	0.37
1986	1113.8	4.58	25.2	0.95	0.26	0.16	0.42	0.06	3.34	2.57	0.37
1987	1113.5	4.55	25.3	0.96	0.20	0.11	0.41	0.05	3.12	2.90	0.31
1988	1057.8	4.63	23.2	0.98	0.19	0.11	0.30	0.05	2.68	2.70	0.34
1989	842.8	4.47	29.3	1.18	0.19	0.14	0.47	0.05	3.64	3.25	0.32
1990	921.7	4.64	21.0	0.90	0.15	0.09	0.32	0.05	2.61	2.44	0.28
1991	830.1	4.62	19.9	0.82	0.20	0.13	0.32	0.05	2.48	2.33	0.28
1992	862.4	4.62	20.4	0.94	0.18	0.10	0.32	0.05	2.36	2.64	0.30
1993	1018.9	4.75	16.4	0.78	0.11	0.06	0.25	0.04	1.96	2.04	0.17
1994	966.2	4.67	18.7	0.92	0.18	0.07	0.27	0.04	2.13	2.33	0.30
1995	1030.6	4.66	19.5	0.93	0.14	0.07	0.22	0.03	1.95	2.29	0.24
1996	765.7	4.81	18.4	0.81	0.14	0.21	0.27	0.03	1.86	2.31	0.34
1997	844.7	4.85	17.5	0.94	0.16	0.09	0.30	0.03	1.85	2.44	0.27
1998	1035.7	4.83	15.5	0.79	0.18	0.13	0.28	0.04	1.63	2.28	0.29

Tabelle 69: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima und -minima, Jahresmittel und Jahressummen für Konzentrationen im Niederschlag auf dem Brotjacklriegel für 1982 bis 1998. Da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben.

Zeit-raum	Regen l/m²	pH	Leitf. µS/cm	NH_4^+ mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	$SO_4^=$ mg/l	NO_3^- mg/l	Cl^- mg/l
	Größte Monatswerte										
82-98	412.1	5.48	62.5	3.69	1.50	0.68	1.22	0.23	7.54	6.96	2.72
84-98	412.1	5.48	62.5	3.69	1.50	0.32	1.22	0.23	7.54	6.96	2.72
	Kleinste Monatswerte										
82-98	8.1	4.06	6.9	0.07	0.04	0.02	0.06	0.02	0.43	0.47	0.10
84-98	8.1	4.06	6.9	0.07	0.04	0.02	0.06	0.02	0.57	0.49	0.10
	Mittlerer Jahresgang 1984-1998										
Jan.	122.8	4.80	12.9	0.24	0.38	0.08	0.15	0.05	1.10	0.97	0.64
Feb.	115.8	4.66	17.8	0.45	0.40	0.09	0.18	0.07	1.62	1.60	0.75
Mär.	139.4	4.67	19.8	0.71	0.29	0.09	0.25	0.06	1.95	2.02	0.51
Apr.	129.9	4.47	27.6	1.12	0.19	0.09	0.32	0.05	2.94	2.91	0.39
Mai	153.8	4.56	21.5	0.78	0.10	0.11	0.32	0.04	2.38	2.08	0.23
Jun.	160.4	4.63	18.4	0.62	0.10	0.09	0.27	0.04	1.99	1.67	0.22
Jul.	143.0	4.71	18.3	0.78	0.11	0.13	0.38	0.05	2.09	1.86	0.24
Aug.	134.1	4.71	18.2	0.67	0.15	0.11	0.34	0.05	2.07	1.72	0.27
Sep.	146.6	4.66	17.2	0.49	0.16	0.08	0.23	0.04	1.71	1.55	0.31
Okt.	134.5	4.86	12.9	0.40	0.22	0.11	0.23	0.05	1.28	1.19	0.39
Nov.	158.3	4.78	12.2	0.24	0.21	0.06	0.16	0.04	1.08	1.08	0.38
Dez.	168.4	4.79	11.9	0.20	0.31	0.07	0.15	0.04	1.03	1.01	0.57
	Jahreswerte										
1982	1943.1	4.58	20.5	0.60	0.20	0.13	0.28	0.06	2.11	1.60	0.46
1983	1817.0	4.58	20.2	0.47	0.28	0.12	0.27	0.05	2.00	1.62	0.44
1984	1599.8	4.45	24.8	0.50	0.22	0.12	0.31	0.04	2.34	1.86	0.41
1985	1443.7	4.57	20.9	0.56	0.20	0.11	0.27	0.04	2.09	1.72	0.39
1986	2044.0	4.60	19.4	0.53	0.24	0.10	0.21	0.04	2.02	1.53	0.41
1987	2008.5	4.62	16.2	0.45	0.18	0.08	0.21	0.04	1.74	1.51	0.34
1988	2019.1	4.58	20.7	0.72	0.26	0.11	0.26	0.06	2.27	1.99	0.53
1989	1362.1	4.61	20.2	0.64	0.23	0.12	0.33	0.07	2.25	1.89	0.43
1990	1658.1	4.72	16.3	0.54	0.26	0.09	0.23	0.06	1.69	1.48	0.48
1991	1551.4	4.63	17.9	0.59	0.17	0.08	0.22	0.04	1.87	1.70	0.33
1992	1554.6	4.77	14.0	0.47	0.16	0.08	0.20	0.05	1.38	1.34	0.31
1993	1474.0	4.72	16.8	0.56	0.30	0.08	0.27	0.06	1.73	1.64	0.57
1994	2021.5	4.81	14.3	0.55	0.17	0.10	0.27	0.04	1.52	1.44	0.37
1995	1992.8	4.78	15.3	0.51	0.17	0.07	0.19	0.04	1.37	1.40	0.32
1996	1520.2	4.82	15.1	0.63	0.16	0.08	0.26	0.04	1.48	1.87	0.32
1997	1629.4	4.90	13.5	0.55	0.19	0.07	0.29	0.05	1.35	1.64	0.38
1998	1727.1	4.88	13.5	0.51	0.24	0.08	0.27	0.05	1.39	1.56	0.40

Tabelle 70: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima und -minima, Jahresmittel und Jahressummen für Konzentrationen im Niederschlag auf dem Schauinsland für 1982 bis 1998. Da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben.

2.2.2 Depositionen der Ionen im Niederschlag

In Tabelle 71 bis Tabelle 73 sind die monatlichen Depositionen der Ionen im Niederschlag für 1998 zusammengestellt. Die Tabelle 74 bis Tabelle 81 enthalten die mittleren Jahresgänge der Depositionen sowie deren Jahreswerte. Die nasse Deposition wird in erheblichem Maße durch die Regenmenge bestimmt, die in Deutschland in weiten Bereichen schwanken kann, d.h. die räumliche Verteilung der nassen Ionen-Deposition ist wesentlich inhomogener als die entsprechende Verteilung der Konzentrationen. Hohe Depositionen treten vor allem an den Bergstationen auf, da hier die jährlichen Regenmengen am höchsten sind. Aus den Tabellen ist ersichtlich, dass die jährlichen Regenmengen - wie erwartet - zwischen 1982 und 1998 keinen systematischen Trend zeigen, d.h. die Langzeittrends der Ionen-Deposition sind den entsprechenden Trends der Konzentrationen sehr ähnlich. Der stärkste Rückgang der nassen Deposition wurde bei den Ionen H^+ und Sulfat beobachtet.

Zeit-raum	NH_4^+ mg/m²	Na^+ mg/m²	K^+ mg/m²	Ca^{++} mg/m²	Mg^{++} mg/m²	$SO_4^=$ mg/m²	NO_3^- mg/m²	Cl^- mg/m²	H^+ mg/m²	Regen l/m²
	WESTERLAND									
Jan.	35.0	665.4	27.8	41.8	83.9	265.7	153.8	1233.9	1.31	78.5
Feb.	46.9	305.4	12.9	24.5	41.5	166.6	123.6	636.0	0.47	29.7
Mär.	46.3	621.1	25.1	54.4	74.0	287.1	164.4	1176.5	0.83	43.3
Apr.	86.3	133.5	9.4	26.6	18.0	188.7	263.0	237.6	1.13	72.2
Mai	15.7	57.0	3.1	10.2	7.7	55.9	51.4	106.2	0.43	13.0
Jun.	57.6	152.0	13.6	46.1	21.1	171.7	223.5	294.2	0.67	55.8
Jul.	34.2	584.6	34.3	67.8	71.3	308.3	222.5	1070.3	1.02	96.4
Aug.	31.9	499.3	25.5	54.1	64.2	242.4	157.8	1013.0	1.21	66.5
Sep.	92.0	363.6	19.9	44.4	49.0	299.0	243.2	676.7	1.42	86.7
Okt.	60.7	2444.7	62.1	132.4	261.2	880.3	314.0	4609.1	2.23	178.3
Nov.	33.2	349.1	12.0	41.8	48.3	191.0	168.6	628.7	1.33	65.5
Dez.	30.9	209.9	15.7	65.2	34.3	138.1	147.0	426.4	0.90	50.5
	ZINGST									
Jan.	19.2	60.6	5.6	17.0	8.8	77.6	101.6	108.3	0.72	51.2
Feb.	55.6	39.9	3.9	29.9	7.7	135.1	177.2	81.3	0.55	35.9
Mär.	26.4	40.2	3.1	19.6	6.2	85.0	101.9	59.9	0.43	46.7
Apr.	82.1	27.8	9.1	67.2	15.8	274.1	205.1	52.1	0.56	58.6
Mai	40.8	19.7	6.1	32.3	9.1	115.4	84.5	40.1	0.05	28.0
Jun.	36.2	33.6	8.1	70.7	14.4	203.2	181.0	56.3	0.86	89.9
Jul.	63.0	41.6	10.1	35.5	9.5	154.6	200.0	71.3	0.67	53.7
Aug.	44.6	44.8	6.8	29.4	8.3	117.6	138.5	87.4	0.41	68.5
Sep.	22.1	31.2	3.8	26.3	6.2	90.9	86.0	56.6	0.82	56.2
Okt.	19.5	277.7	24.8	65.2	41.6	225.4	123.4	511.5	0.28	96.6
Nov.	23.9	57.4	6.2	43.2	15.0	173.0	153.0	95.7	1.27	39.9
Dez.	28.7	20.7	2.9	12.4	4.2	59.8	113.0	55.6	0.69	34.2
	NEUGLOBSOW									
Jan.	29.3	39.8	4.4	17.1	5.2	93.6	153.5	65.4	1.65	68.7
Feb.	27.5	16.2	2.4	8.6	2.1	53.8	70.3	31.1	0.17	16.2
Mär.	37.1	22.4	5.2	12.2	3.1	72.0	117.1	37.7	0.60	41.8
Apr.	51.8	4.8	6.9	21.8	2.0	129.2	150.4	12.5	1.17	37.7
Mai	56.9	6.2	2.0	8.6	1.7	91.2	88.7	13.8	0.43	27.5
Jun.	56.8	9.0	4.6	21.9	2.7	102.6	136.8	22.3	0.94	39.6
Jul.	117.6	11.7	18.5	23.0	4.4	185.2	161.5	24.8	1.07	51.0
Aug.	44.8	15.0	5.6	22.9	2.8	142.4	128.8	33.0	1.22	60.3
Sep.	16.3	2.3	1.8	8.0	0.9	51.4	50.2	6.3	0.54	28.1
Okt.	33.8	63.2	5.7	26.6	8.7	128.1	145.5	118.3	1.22	102.7
Nov.	14.9	8.8	1.7	10.0	1.9	43.4	70.1	17.1	0.60	23.5
Dez.	22.3	12.0	3.5	12.6	2.1	59.6	92.4	21.3	0.50	45.1

Tabelle 71: Monatliche Depositionen im Niederschlag für 1998, Westerland, Zingst und Neuglobsow

Zeitraum	NH_4^+ mg/m²	Na^+ mg/m²	K^+ mg/m²	Ca^{++} mg/m²	Mg^{++} mg/m²	$SO_4^=$ mg/m²	NO_3^- mg/m²	Cl^- mg/m²	H^+ mg/m²	Regen l/m²
	WALDHOF									
Jan.	27.4	49.7	6.8	19.4	8.3	81.5	117.0	86.4	0.57	52.9
Feb.	17.5	19.0	2.4	8.5	2.7	39.5	43.7	34.9	0.02	13.2
Mär.	36.5	25.5	6.4	24.2	8.9	96.3	131.1	49.7	0.32	60.2
Apr.	122.6	8.6	11.4	42.7	10.8	179.7	304.6	26.8	0.66	70.0
Mai	31.3	4.2	3.3	17.4	4.5	75.4	65.1	11.0	0.26	18.8
Jun.	102.1	19.5	9.6	70.0	13.1	235.7	320.1	33.3	1.08	108.1
Jul.	78.1	24.5	8.3	41.3	8.6	181.2	247.6	46.2	0.68	80.5
Aug.	35.7	30.5	12.5	29.0	6.7	89.1	106.1	60.2	0.19	66.5
Sep.	47.3	4.8	4.5	27.5	4.9	109.3	127.1	15.3	0.49	50.1
Okt.	59.8	74.6	13.2	61.3	16.2	221.2	243.7	138.7	1.29	151.4
Nov.	36.8	46.3	6.6	30.4	10.9	100.5	159.4	89.0	0.69	57.5
Dez.	28.5	25.9	5.4	18.9	6.6	73.7	89.6	50.4	0.16	43.2
	SCHMÜCKE									
Jan.	49.3	43.7	5.7	7.4	5.1	147.7	196.2	72.0	2.76	99.1
Feb.	72.6	18.8	4.4	8.1	3.2	110.2	194.7	43.1	0.99	52.7
Mär.	111.1	55.1	7.7	25.6	10.4	210.5	291.0	91.2	1.83	121.1
Apr.	111.7	10.5	7.5	17.2	2.1	197.5	303.1	21.8	2.39	89.9
Mai	54.5	5.2	4.6	18.9	0.9	135.1	143.5	12.7	1.69	54.2
Jun.	74.3	7.4	11.1	21.9	2.8	135.0	167.7	14.0	1.26	68.4
Jul.	192.5	24.1	19.7	31.3	4.7	479.1	558.8	58.0	7.32	215.5
Aug.	63.1	9.1	9.4	16.8	2.6	129.7	175.4	24.4	1.53	85.4
Sep.	83.0	30.9	10.7	14.9	4.4	249.6	311.1	50.4	4.12	254.5
Okt.	72.6	96.9	15.4	25.1	12.9	331.8	408.4	147.5	5.79	269.3
Nov.	57.4	25.3	6.5	9.5	5.3	144.3	262.4	46.8	3.11	117.1
Dez.	81.1	62.6	7.8	7.7	6.6	189.1	266.9	98.4	3.23	75.3
	DEUSELBACH									
Jan.	25.0	58.4	3.9	13.7	7.9	86.7	74.9	108.1	0.75	70.3
Feb.	9.2	2.3	0.7	2.7	0.9	16.3	19.3	5.3	0.03	11.3
Mär.	63.9	22.7	3.8	27.0	4.7	110.3	134.0	44.7	0.82	55.4
Apr.	67.3	18.7	6.6	28.7	5.6	206.4	227.0	49.1	3.23	115.3
Mai	53.0	3.9	4.8	13.6	1.9	98.0	124.2	12.5	0.69	54.6
Jun.	27.1	6.7	3.7	39.4	7.8	96.5	98.0	17.5	0.67	55.9
Jul.	22.0	8.2	2.4	16.2	3.2	79.8	100.8	17.0	0.96	45.1
Aug.	19.5	4.6	1.9	8.7	2.0	36.4	56.3	10.3	0.15	24.0
Sep.	45.6	39.2	6.9	46.0	8.3	161.6	193.1	69.0	1.87	85.6
Okt.	37.6	56.3	11.4	49.8	11.0	166.2	197.5	102.5	2.05	161.8
Nov.	13.4	13.5	2.8	22.5	5.1	75.5	102.9	29.8	1.22	43.4
Dez.	13.8	17.5	1.4	15.3	3.5	70.8	81.9	35.1	0.97	37.4

Tabelle 72: Monatliche Depositionen im Niederschlag für 1998, Waldhof, Schmücke und Deuselbach

Zeitraum	NH_4^+ mg/m²	Na^+ mg/m²	K^+ mg/m²	Ca^{++} mg/m²	Mg^{++} mg/m²	$SO_4^=$ mg/m²	NO_3^- mg/m²	Cl^- mg/m²	H^+ mg/m²	Regen l/m²
	BROTJACKLRIEGEL									
Jan.	22.9	6.7	3.3	4.6	0.9	41.3	82.1	10.8	0.62	36.5
Feb.	25.5	7.5	2.2	15.9	1.5	54.2	77.4	13.6	0.18	13.5
Mär.	118.4	25.4	7.5	20.6	4.4	178.4	291.8	42.4	1.60	68.6
Apr.	52.0	5.2	3.3	16.5	1.8	80.0	126.7	9.8	0.37	40.7
Mai	93.1	2.0	16.5	13.9	2.8	108.7	104.2	9.6	0.57	43.9
Jun.	46.0	5.3	11.2	39.9	2.7	145.9	186.0	10.2	1.62	111.8
Jul.	158.7	18.9	22.1	61.4	5.3	348.2	426.2	33.1	2.75	147.8
Aug.	62.5	6.3	7.3	17.8	2.3	109.0	132.8	12.2	0.36	79.5
Sep.	71.8	24.7	11.2	33.6	4.3	205.5	245.7	34.9	1.94	173.5
Okt.	86.1	25.9	17.8	26.2	4.6	202.4	289.4	42.8	2.25	178.5
Nov.	44.2	19.8	15.1	20.0	3.1	116.9	220.8	25.9	1.96	102.5
Dez.	41.4	35.0	19.7	17.8	3.6	98.6	175.0	54.0	1.15	38.9
	SCHAUINSLAND									
Jan.	39.6	65.8	9.9	19.6	9.7	144.9	160.7	113.2	1.83	155.4
Feb.	55.4	11.0	6.5	20.0	2.5	114.8	139.0	19.7	0.64	74.5
Mär.	118.3	43.1	10.2	28.0	8.2	260.5	320.1	79.3	2.65	132.0
Apr.	90.7	21.5	9.8	47.8	7.6	227.8	298.3	40.7	2.19	207.8
Mai	137.0	7.1	7.8	28.2	3.8	188.2	252.8	16.6	1.39	86.2
Jun.	91.9	25.1	13.7	48.7	6.7	218.2	226.4	38.2	1.26	144.5
Jul.	94.3	14.4	9.8	46.5	6.1	193.2	222.5	25.8	1.11	108.7
Aug.	55.9	27.8	14.6	37.4	9.3	222.9	174.3	36.0	1.17	133.5
Sep.	58.3	43.8	11.3	64.4	13.1	238.8	228.8	87.3	2.22	202.3
Okt.	54.1	57.9	17.3	49.5	9.7	209.2	197.1	92.9	1.94	171.4
Nov.	53.5	50.8	15.8	40.1	8.1	229.4	275.4	75.4	3.93	210.8
Dez.	30.1	41.6	13.8	36.8	6.7	148.9	191.1	72.2	2.29	100.0

Tabelle 73: Monatliche Depositionen im Niederschlag für 1998, Brotjacklriegel und Schauinsland

Zeit-raum	NH_4^+ mg/m²	Na^+ mg/m²	K^+ mg/m²	Ca^{++} mg/m²	Mg^{++} mg/m²	$SO_4^=$ mg/m²	NO_3^- mg/m²	Cl^- mg/m²	H^+ mg/m²	Regen l/m²
	Größte Monatswerte									
82-98	265.9	2445	100.5	306.0	303.1	880	628	4609	9.21	178.3
84-98	111.7	2445	93.0	306.0	261.2	880	578	4609	8.39	178.3
	Kleinste Monatswerte									
82-98	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0.00	0.6
84-98	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0.00	0.6
	Mittlerer Jahresgang 1984-1998									
Jan.	27.8	724	29.2	42.8	83.4	289	118	1334	1.23	49.6
Feb.	31.9	464	17.9	32.1	46.3	211	116	854	1.02	36.4
Mär.	52.5	363	16.0	32.7	45.9	224	156	701	1.29	39.9
Apr.	46.6	108	6.9	28.5	15.5	154	131	201	1.03	29.1
Mai	39.9	82	5.9	32.1	12.2	152	133	158	1.07	32.1
Jun.	51.8	126	11.1	30.9	19.3	199	173	244	1.79	48.4
Jul.	49.7	177	13.1	40.9	24.6	225	186	328	1.82	56.6
Aug.	61.1	376	20.8	64.9	48.1	301	216	709	1.96	72.8
Sep.	59.1	555	27.2	53.9	68.6	358	225	1020	2.49	83.0
Okt.	53.0	886	36.8	61.1	102.9	400	193	1629	1.90	84.7
Nov.	40.4	719	33.5	48.4	82.0	321	166	1345	1.54	69.4
Dez.	29.7	471	21.1	43.5	60.7	241	135	908	1.49	56.4
	Jahreswerte									
1982	535.1	5049	287.1	523.7	747.3	3029	1779	10292	18.78	628.2
1983	864.7	4418	345.0	439.2	638.9	3322	2159	6257	24.44	569.2
1984	596.4	4690	315.0	475.6	699.5	3621	2419	8244	27.88	666.8
1985	648.7	4678	218.3	471.3	602.2	3680	2040	8703	29.88	683.8
1986	585.0	4238	200.3	369.0	528.1	2906	1710	7595	19.67	605.0
1987	620.3	3084	177.4	422.0	401.1	3006	2337	5763	25.77	686.4
1988	681.4	5871	292.7	537.4	762.4	4089	2461	10733	26.87	867.6
1989	519.7	3152	162.9	419.2	462.8	2473	1666	6335	13.51	478.8
1990	494.0	9741	398.6	648.9	1048.4	4034	1780	18455	16.40	691.7
1991	479.2	5885	290.6	507.2	745.3	3116	1673	11663	17.28	571.1
1992	545.1	5920	270.2	714.4	630.8	2971	2091	10611	18.24	697.4
1993	481.1	4308	181.5	551.0	454.3	2744	1776	8236	18.55	669.6
1994	623.1	5802	271.3	699.6	703.6	3521	2367	11123	20.99	776.8
1995	437.4	4762	208.4	546.1	543.9	2735	1669	8458	16.43	656.7
1996	452.9	3569	172.0	373.5	389.5	1925	1494	6520	7.15	436.1
1997	415.7	3683	173.4	333.6	449.9	2095	1478	6905	7.89	548.4
1998	570.8	6385	261.4	609.4	774.7	3195	2233	12109	12.93	836.4

Tabelle 74: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima und -minima, Jahresmittel und Jahressummen für Depositionen im Niederschlag in Westerland für 1982 bis 1998. Da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben.

Zeit-raum	NH_4^+ mg/m²	Na^+ mg/m²	K^+ mg/m²	Ca^{++} mg/m²	Mg^{++} mg/m²	$SO_4^=$ mg/m²	NO_3^- mg/m²	Cl^- mg/m²	H^+ mg/m²	Regen l/m²
	Größte Monatswerte									
82-98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
93-98	86.8	278	24.8	70.7	41.6	319	282	512	3.15	105.6
	Kleinste Monatswerte									
82-98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
93-98	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0.00	0.1
	Mittlerer Jahresgang 1993-1998									
Jan.	15.5	92	5.9	19.5	10.0	91	83	158	0.84	41.3
Feb.	24.8	42	3.4	23.3	7.7	100	98	81	0.67	31.3
Mär.	35.2	38	2.9	18.6	5.6	103	111	65	0.78	36.9
Apr.	46.2	22	4.5	26.9	6.1	117	109	43	0.35	31.3
Mai	44.8	19	5.1	34.0	6.1	164	135	39	0.90	50.3
Jun.	34.7	31	7.0	38.8	8.3	152	135	59	0.96	55.5
Jul.	39.0	28	5.5	27.0	6.3	113	133	51	0.79	44.1
Aug.	43.8	39	6.0	23.3	7.9	140	121	80	1.03	50.1
Sep.	51.1	62	8.0	36.4	11.1	176	171	118	1.56	70.4
Okt.	22.0	100	8.7	34.2	15.5	123	106	189	0.75	56.0
Nov.	27.4	79	7.1	26.9	12.0	128	121	149	1.24	42.0
Dez.	22.2	37	3.7	16.9	5.6	86	118	67	1.10	47.1
	Jahreswerte									
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	425.3	669	68.5	238.4	94.4	1587	1612	1199	15.78	623.9
1994	404.2	642	65.6	303.8	91.7	1565	1483	1246	16.25	621.3
1995	355.6	568	52.9	242.6	93.2	1289	1220	1038	12.55	508.9
1996	386.1	552	65.6	384.7	98.2	1410	1263	1011	7.34	440.8
1997	405.5	407	64.0	337.2	87.5	1388	1405	825	6.64	482.7
1998	462.2	695	90.4	448.6	146.7	1712	1665	1276	7.31	659.4

Tabelle 75: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima und -minima, Jahresmittel und Jahressummen für Depositionen im Niederschlag in Zingst für 1993 bis 1998. Da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben.

Zeit-raum	NH_4^+ mg/m²	Na^+ mg/m²	K^+ mg/m²	Ca^{++} mg/m²	Mg^{++} mg/m²	$SO_4^=$ mg/m²	NO_3^- mg/m²	Cl^- mg/m²	H^+ mg/m²	Regen l/m²
	Größte Monatswerte									
82-98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
93-98	207.3	106.6	33.2	55.2	13.4	438	251	208.5	4.25	102.7
	Kleinste Monatswerte									
82-98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
93-98	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.00	0.0
	Mittlerer Jahresgang 1993-1998									
Jan.	20.3	40.8	3.6	12.7	5.4	76	95	74.6	0.95	45.4
Feb.	20.4	13.2	1.9	9.5	2.0	60	76	27.0	0.66	26.2
Mär.	45.7	20.9	6.1	13.6	3.0	95	123	39.6	0.68	33.5
Apr.	40.6	5.7	4.4	13.4	1.6	86	95	13.6	0.65	28.2
Mai	63.6	6.2	6.7	22.0	2.5	172	144	14.0	1.52	58.0
Jun.	69.0	9.2	8.2	27.5	2.7	204	163	18.7	2.25	64.8
Jul.	64.9	7.5	7.9	20.2	2.6	140	142	17.7	1.38	55.2
Aug.	67.3	11.4	10.4	16.3	2.9	108	100	25.7	0.82	45.2
Sep.	37.4	10.1	6.7	17.2	2.2	99	98	20.5	0.95	42.7
Okt.	20.8	21.1	4.3	15.4	3.3	66	87	40.6	0.86	44.9
Nov.	16.7	12.2	2.7	9.5	1.9	56	61	25.6	0.71	25.3
Dez.	19.3	17.5	3.0	13.6	2.8	69	98	33.4	1.03	40.4
	Jahreswerte									
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	566.2
1993	696.2	215.7	124.8	215.7	45.0	1733	1608	438.6	17.24	598.4
1994	574.6	268.8	71.8	252.3	45.6	1781	1489	530.6	19.36	639.5
1995	400.3	137.4	60.5	171.0	25.9	1063	1078	279.9	11.67	475.5
1996	386.9	106.0	32.9	162.4	20.8	922	1169	206.0	9.64	403.0
1997	349.3	115.4	43.7	151.1	23.1	726	989	247.2	6.82	399.9
1998	509.4	211.4	62.3	193.6	37.6	1152	1365	403.6	10.11	542.2

Tabelle 76: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima und -minima, Jahresmittel und Jahressummen für Depositionen im Niederschlag in Neuglobsow für 1992 bis 1998. Da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben.

Zeit-raum	NH_4^+ mg/m²	Na^+ mg/m²	K^+ mg/m²	Ca^{++} mg/m²	Mg^{++} mg/m²	$SO_4^=$ mg/m²	NO_3^- mg/m²	Cl^- mg/m²	H^+ mg/m²	Regen l/m²
	Größte Monatswerte									
82-98	-	-	-	-	-	667	549	451.2	11.68	151.4
84-98	151.9	240.8	26.4	72.8	31.9	667	426	451.2	8.87	151.4
	Kleinste Monatswerte									
82-98	-	-	-	-	-	0	0	0.0	0.00	0.8
84-98	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.00	0.8
	Mittlerer Jahresgang 1984-1998									
Jan.	27.5	57.2	6.0	17.8	8.6	124	115	112.0	1.54	49.8
Feb.	27.6	43.5	4.8	15.3	6.8	104	94	84.7	1.20	37.4
Mär.	49.7	30.6	5.5	18.4	6.0	134	141	66.3	1.30	42.7
Apr.	59.1	15.4	6.2	23.6	4.3	151	150	32.9	1.10	35.0
Mai	70.8	11.2	9.9	32.4	5.0	244	196	26.3	2.56	47.3
Jun.	54.1	12.9	7.0	27.4	5.3	202	177	32.0	2.50	56.3
Jul.	69.5	13.1	8.3	32.7	5.0	237	210	29.4	2.70	68.4
Aug.	66.9	18.6	11.9	36.5	5.9	222	189	40.5	2.14	56.0
Sep.	53.5	30.8	8.0	28.2	6.4	206	170	62.8	2.02	50.0
Okt.	35.6	24.1	6.4	22.7	5.4	132	128	48.5	1.35	47.2
Nov.	35.0	32.5	6.6	23.8	7.7	138	130	68.2	1.39	49.5
Dez.	30.8	32.7	5.9	19.3	5.9	131	120	68.4	1.54	50.6
	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

Tabelle 77: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima und -minima, Jahresmittel und Jahressummen für Depositionen im Niederschlag in Waldhof für 1982 bis 1998. Da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben.

Zeit-raum	NH_4^+ mg/m²	Na^+ mg/m²	K^+ mg/m²	Ca^{++} mg/m²	Mg^{++} mg/m²	$SO_4^=$ mg/m²	NO_3^- mg/m²	Cl^- mg/m²	H^+ mg/m²	Regen l/m²
	Größte Monatswerte									
82-98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
93-98	193.0	140.9	19.7	108.8	18.8	533	559	287.4	8.26	326.0
	Kleinste Monatswerte									
82-98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
93-98	1.0	2.2	0.1	1.9	0.2	6	8	5.0	0.44	1.2
	Mittlerer Jahresgang 1993-1998									
Jan.	49.8	68.2	6.5	12.3	8.6	173	202	127.5	3.05	117.5
Feb.	72.5	35.1	5.0	11.1	4.8	173	237	69.8	2.77	91.6
Mär.	117.0	36.4	7.2	20.4	5.5	235	317	69.2	2.59	92.0
Apr.	146.6	18.0	8.2	29.6	4.2	329	336	39.0	3.42	101.6
Mai	66.3	8.0	5.2	28.9	2.8	202	181	20.5	2.22	80.6
Jun.	69.1	9.1	9.8	20.6	2.5	186	204	21.5	3.00	77.0
Jul.	116.7	12.7	8.8	41.4	3.6	333	308	29.6	4.57	145.7
Aug.	69.6	12.9	8.5	20.7	2.7	163	188	28.7	2.02	76.4
Sep.	61.9	16.4	7.6	15.6	2.9	177	205	32.7	2.88	122.4
Okt.	65.7	35.4	9.9	22.4	5.4	213	237	64.3	3.21	122.2
Nov.	50.5	23.3	6.4	12.2	3.5	147	200	46.8	2.85	83.3
Dez.	68.3	43.0	6.2	10.2	5.1	221	276	76.8	4.27	141.5
	Jahreswerte									
1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	963.4	326.2	89.0	361.9	56.0	2997	3051	627.2	42.28	1313.3
1994	996.3	352.6	85.2	311.6	56.0	3156	3059	738.8	46.89	1321.4
1995	997.0	387.8	90.0	217.0	61.1	2685	2894	798.9	41.91	1414.3
1996	985.0	231.7	86.0	221.2	39.5	2348	2817	445.3	32.12	984.9
1997	759.0	222.5	75.8	155.9	36.9	1665	2249	467.8	21.89	973.7
1998	1023.3	389.6	110.5	204.5	60.9	2460	3279	680.3	36.02	1502.5

Tabelle 78: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima und -minima, Jahresmittel und Jahressummen für Depositionen im Niederschlag auf der Schmücke für 1993 bis 1998. Da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben.

Zeit-raum	NH_4^+ mg/m²	Na^+ mg/m²	K^+ mg/m²	Ca^{++} mg/m²	Mg^{++} mg/m²	$SO_4^=$ mg/m²	NO_3^- mg/m²	Cl^- mg/m²	H^+ mg/m²	Regen l/m²
	Größte Monatswerte									
82-98	-	-	-	-	-	721	645	265.7	13.56	197.7
84-98	155.1	138.1	23.5	56.4	16.9	721	645	265.7	13.56	197.7
	Kleinste Monatswerte									
82-98	-	-	-	-	-	6	8	1.2	0.03	3.6
84-98	1.1	0.5	0.1	1.8	0.2	6	8	1.2	0.03	3.6
	Mittlerer Jahresgang 1984-1998									
Jan.	15.2	41.9	5.1	13.6	5.6	86	69	81.9	1.14	59.5
Feb.	22.4	30.0	5.4	13.5	4.3	87	82	56.9	1.18	47.3
Mär.	52.5	23.2	5.4	20.2	4.3	137	133	47.8	1.24	53.6
Apr.	49.3	14.7	5.0	20.4	4.0	158	162	33.5	1.86	46.7
Mai	61.3	10.1	8.3	23.9	3.9	207	203	22.2	2.74	60.1
Jun.	49.9	10.7	6.8	27.6	4.1	203	180	24.2	2.56	65.7
Jul.	46.5	10.6	6.8	27.8	3.5	180	149	24.3	1.95	63.1
Aug.	39.1	10.7	6.3	19.2	2.9	121	118	20.8	1.24	52.3
Sep.	38.8	17.9	5.7	26.4	4.0	147	148	35.9	1.88	70.7
Okt.	22.6	22.5	5.7	20.0	4.1	112	99	43.7	1.32	70.9
Nov.	24.1	22.7	3.8	15.8	4.1	97	95	44.8	1.40	55.3
Dez.	16.2	30.5	3.7	13.8	4.6	86	81	61.5	1.16	59.5
	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	1012	1264.6	10.33	670.2
1998	397.6	252.0	50.4	283.6	61.8	1204	1410	501.0	13.42	760.1

Tabelle 79: **Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima und -minima, Jahresmittel und Jahressummen für Depositionen im Niederschlag in Deuselbach für 1982 bis 1998. Da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben.**

Zeitraum	NH_4^+ mg/m²	Na^+ mg/m²	K^+ mg/m²	Ca^{++} mg/m²	Mg^{++} mg/m²	$SO_4^=$ mg/m²	NO_3^- mg/m²	Cl^- mg/m²	H^+ mg/m²	Regen l/m²
	Größte Monatswerte									
82-98	-	-	-	-	-	715	567	104.1	7.73	219.0
84-98	183.7	74.8	51.0	86.0	11.5	715	567	104.1	7.73	212.9
	Kleinste Monatswerte									
82-98	-	-	-	-	-	5	6	0.5	0.08	3.5
84-98	0.6	0.3	0.1	0.7	0.1	5	6	0.5	0.08	6.8
	Mittlerer Jahresgang 1984-1998									
Jan.	38.6	19.5	5.8	13.4	2.6	114	132	31.1	1.17	56.9
Feb.	46.4	16.1	6.5	17.4	3.1	121	158	26.6	1.41	48.1
Mär.	89.7	15.6	7.0	26.8	3.6	201	241	28.0	1.62	62.3
Apr.	89.3	8.8	5.4	29.5	3.2	240	221	16.8	1.91	50.4
Mai	79.9	7.4	12.0	33.5	4.1	251	193	13.0	2.12	78.3
Jun.	97.3	9.9	10.2	33.4	3.9	326	260	17.1	3.45	114.2
Jul.	108.0	11.5	13.0	41.3	4.7	310	271	19.7	2.75	118.0
Aug.	98.6	14.7	11.5	32.5	4.1	261	224	20.5	2.14	102.1
Sep.	71.5	12.9	11.1	26.4	3.2	225	228	25.0	2.26	89.0
Okt.	55.4	14.0	7.4	21.3	3.4	137	166	22.2	1.17	71.8
Nov.	56.2	16.5	10.1	20.6	3.1	144	180	27.5	1.27	70.6
Dez.	58.9	23.0	10.2	22.1	3.9	179	195	38.0	1.80	84.0
	Jahreswerte									
1982	-	-	-	-	-	2685	2074	313.7	18.43	758.4
1983	-	-	-	-	-	3260	2653	304.7	31.76	842.9
1984	906.8	157.7	131.9	364.2	44.6	3368	2820	298.9	30.83	834.9
1985	1079.9	200.5	132.9	445.1	50.3	3912	3205	346.8	39.03	946.1
1986	1060.1	289.1	175.6	467.0	65.5	3721	2863	410.4	29.38	1113.8
1987	1068.0	217.6	127.3	458.6	54.8	3475	3227	345.2	31.29	1113.5
1988	1041.2	204.7	113.5	320.5	50.0	2838	2859	362.8	24.83	1057.8
1989	998.4	164.0	120.1	396.6	45.7	3072	2737	269.9	28.52	842.8
1990	829.3	142.4	81.8	291.1	48.4	2404	2251	260.3	21.06	921.7
1991	679.6	163.9	105.6	266.6	43.8	2056	1936	235.7	19.78	830.1
1992	809.6	151.3	82.8	274.0	45.9	2032	2273	262.3	20.75	862.4
1993	798.3	113.8	65.2	256.5	38.1	1997	2078	174.2	18.04	1018.9
1994	884.5	173.3	68.4	259.9	34.8	2063	2256	285.8	20.70	966.2
1995	954.8	139.2	70.1	223.9	31.8	2013	2359	244.1	22.53	1030.6
1996	621.1	110.9	162.9	205.0	26.0	1426	1765	258.7	11.83	765.7
1997	792.6	133.7	75.0	254.8	28.6	1565	2065	228.7	11.97	844.7
1998	822.5	182.7	137.3	288.2	37.4	1689	2358	299.5	15.36	1035.7

Tabelle 80: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima und -minima, Jahresmittel und Jahressummen für Depositionen im Niederschlag auf dem Brotjacklriegel für 1982 bis 1998. Da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben.

Zeit-raum	NH_4^+ mg/m²	Na^+ mg/m²	K^+ mg/m²	Ca^{++} mg/m²	Mg^{++} mg/m²	SO_4^{--} mg/m²	NO_3^- mg/m²	Cl^- mg/m²	H^+ mg/m²	Regen l/m²
	Größte Monatswerte									
82-98	322.5	220.9	37.3	106.0	20.2	1004	843	409.8	14.44	412.1
84-98	322.5	220.9	37.0	106.0	18.5	1004	843	409.8	14.44	412.1
	Kleinste Monatswerte									
82-98	0.8	2.1	0.6	2.8	0.5	8	9	3.7	0.09	8.1
84-98	0.8	2.1	0.6	2.8	0.5	8	9	3.7	0.09	8.1
	Mittlerer Jahresgang 1984-1998									
Jan.	29.2	46.1	9.8	18.8	6.6	135	119	78.7	1.93	122.8
Feb.	52.6	46.0	10.6	20.7	7.7	188	185	87.1	2.54	115.8
Mär.	99.5	40.3	12.8	35.3	7.8	272	281	71.4	3.00	139.4
Apr.	145.2	24.9	11.4	42.2	6.4	382	378	50.5	4.36	129.9
Mai	119.7	15.4	16.7	49.3	6.8	366	320	35.9	4.28	153.8
Jun.	98.9	15.3	14.5	44.0	6.8	319	268	34.8	3.73	160.4
Jul.	111.3	16.0	18.3	53.7	7.2	299	266	34.6	2.79	143.0
Aug.	89.4	19.8	14.6	46.2	6.4	278	230	35.8	2.62	134.1
Sep.	71.6	22.8	11.0	33.7	5.9	250	228	46.1	3.18	146.6
Okt.	53.3	29.0	15.0	31.1	7.1	172	160	51.8	1.87	134.5
Nov.	37.9	33.1	10.0	25.8	6.5	171	172	59.8	2.64	158.3
Dez.	34.2	51.6	11.1	24.9	7.3	173	170	95.3	2.72	168.4
	Jahreswerte									
1982	1159.4	384.6	257.2	546.6	115.9	4094	3101	891.6	51.61	1943.1
1983	858.5	515.7	210.8	482.0	95.1	3640	2948	807.2	48.05	1817.0
1984	806.2	354.8	185.8	500.8	67.6	3738	2979	651.6	57.09	1599.8
1985	810.9	294.4	157.0	382.9	61.4	3014	2479	567.1	38.99	1443.7
1986	1077.7	500.8	210.7	432.2	92.0	4137	3118	829.9	51.68	2044.0
1987	906.2	360.8	169.0	423.2	80.7	3498	3024	692.3	47.67	2008.5
1988	1450.0	529.4	223.2	515.0	115.6	4587	4010	1070.1	53.43	2019.1
1989	871.0	315.7	167.6	454.4	91.5	3062	2575	582.2	33.13	1362.1
1990	893.9	439.1	145.7	380.9	97.7	2803	2460	795.0	31.86	1658.1
1991	915.6	256.1	127.9	344.8	69.5	2894	2632	509.4	35.96	1551.4
1992	734.2	244.9	125.9	304.7	77.5	2152	2089	480.9	26.17	1554.6
1993	818.1	437.4	115.6	397.8	84.0	2557	2414	845.6	28.02	1474.0
1994	1105.7	353.7	198.5	539.2	82.6	3067	2903	752.6	31.40	2021.5
1995	1021.4	346.4	140.9	370.8	78.9	2737	2784	635.9	33.20	1992.8
1996	951.1	250.5	115.7	398.3	66.6	2247	2842	489.8	22.95	1520.2
1997	902.0	311.7	111.9	476.8	78.8	2200	2672	626.4	20.43	1629.4
1998	879.3	409.8	140.5	467.1	91.4	2397	2686	697.4	22.62	1727.1

Tabelle 81: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima und -minima, Jahresmittel und Jahressummen für Depositionen im Niederschlag auf dem Schauinsland für 1982 bis 1998. Da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben.

2.3 Literatur

(2) *Penkett,S.A. and Brice,K.A.(1986)*
The spring maximum in photo-oxidants in the Northern Hemisphere troposphere, Nature, Vol.319, 20 Feb.1986, pp.655-657.

(3) *Bericht der Enquete-Kommission des 11. Deutschen Bundestages, Schutz der Erd-atmosphäre, 5/88*

(4) *Rapp,J. und Schönwiese,C.(1995)*
Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891 - 1990, Frankfurter Geophysikalische Arbeiten, Serie B, Band 5, 1995

(5) *Umweltbundesamt (1999)*
Emissionen und Emittentengruppen in Deutschland (1990 - 1997). Quelle UBA, Postfach 330022, 14191 Berlin, Mäz 1999

(6) *Schmidt, M. (1999)*
Messung und Bilanzierung anthropogener Treibhausgase in Deutschland, Dissertation Universität Heidelberg, Juli 1999

(7) *Umweltbundesamt (1998)*
Emissionen und Emittentengruppen in der ehemaligen DDR (1970 - 1995), im bisherigen Bundesgebiet (1970 - 1995) sowie in Deutschland (1990 - 1996)

(8) *Fricke,W. and Beilke,S. (1993)*
Changing concentrations and deposition of sulfur and nitrogen compounds in Central Europe between 1980 and 1992. In: Air Pollution Research Report 47, CEC, Proceedings of Joint Workshop CEC/BIATEX of Eurotrac , 4-7 May 1993, Aveiro, Portugal, pp.9-30 Editors: Slanina,J.; Angeletti,G. and Beilke,S.

(9) *Fricke,W. und Uhse,K.(1994)*
Anteile von Witterung und Emissionsminderung am SO_2-Rückgang in Deutschland. Staub-Reinhaltung der Luft 54, 1994, S.289-296.

(10) *Müller,J., 1986*
Invariant properties of the atmospheric aerosol. J.Aerosol Science, Vol.17, No.3, pp.277-282

3. SPEZIELLE UMWELTPROBLEME

3.1 Die Entwicklung der Ozonbelastung in Deutschland zwischen 1990 und 1998 - Zusammenhänge mit der Emissionssituation

3.1.1 Allgemeine Zusammenhänge

Etwa 90% des atmosphärischen Ozons befinden sich in der Luftschicht zwischen etwa 10 und 50 km Höhe (Stratosphäre) und nur etwa 10% in der darunter liegenden Troposphäre. In der Stratosphäre hat Ozon die lebenswichtige Funktion eines Filters gegen den schädlichen ultravioletten (UV-B) Anteil des Sonnenlichts, in den bodennahen Luftschichten dagegen können erhöhte Ozon-Konzentrationen die menschliche Gesundheit sowie Pflanzen und Materialien schädigen. Darüber hinaus ist Ozon ein Treibhausgas, trägt also zur Erwärmung der Erdatmosphäre bei. Der Sommersmog mit seinen hohen Ozon-Konzentrationen ist ein Problem der unteren Troposphäre, der atmosphärischen Grenzschicht, einer Schicht zwischen Erdboden und maximal etwa 3 km Höhe, in der der Übergang von der freien Strömung zum ruhenden Untergrund erfolgt. In der Grenzschicht findet eine mehr oder weniger intensive Durchmischung durch Turbulenz statt. In Mitteleuropa ändert diese Schicht während eines sommerlichen Schönwettertages ihre mittlere Höhenerstreckung von etwa 1.5 km am Tage auf etwa 600 Meter in der Nacht *(Ref. 1)*. Zwischen der bodennahen Grenzschicht und der darüber liegenden freien Troposphäre findet in der Regel ein mehr oder weniger intensiver Luftmassenaustausch statt und damit auch eine direkte Beeinflussung der bodennahen Ozon-Konzentrationen durch das Ozon aus höheren Schichten der Atmosphäre und umgekehrt.

Ozon ist eines der wenigen Gase, die ausschließlich in der Atmosphäre selbst gebildet werden. Es bildet sich durch Reaktion von molekularem mit atomarem Sauerstoff. Da der molekulare Sauerstoff (O_2) stets in großer Konzentration ohnehin vorhanden ist, richtet sich das Interesse auf die Quellen des atomaren Sauerstoffs (O). Im Gegensatz zur Stratosphäre, wo der atomare Sauerstoff durch Dissoziation von molekularem Sauerstoff bei Wellenlängen kleiner als 243 nm gebildet wird, entstammt der atomare Sauerstoff in Bodennähe wegen der vergleichsweise geringen Energie der Sonnenstrahlung (Wellenlängen größer als 290 nm) aus dem Stickstoffdioxid (NO_2).

Ozon ist ein natürlicher Bestandteil der Erdatmosphäre seit es eine sauerstoffhaltige Atmosphäre gibt, d.h. es gab Ozon lange bevor der Mensch die Erde bevölkerte. Allerdings sind die natürlichen Ozon-Konzentrationen in Bodennähe sehr gering. Sommersmog ist dagegen eine Luftverschmutzung, die durch das Auftreten gegenüber den natürlichen Werten stark erhöhter Konzentrationen von Ozon und anderen Photooxidantien wie beispielsweise Peroxyacetylnitrat (PAN), Wasserstoffperoxid, Salpetersäure, Aldehyden, Ketonen, etc. charakterisiert ist. Da Ozon von der Konzentration und den Wirkungen her dominiert, wird dieses Gas als Leitsubstanz des Sommersmogs angesehen und im vorliegenden Bericht ausschließlich behandelt. In der bodennahen Troposphäre bildet sich Ozon unter dem Einfluss von Sonnenlicht durch komplizierte photochemische Reaktionen aus den sog. Ozonvorläufern, den Stickoxiden (NO_x), den flüchtigen organischen Verbindungen (Volatile Organic Compounds, VOC) sowie in Mitteleuropa in geringerem Maße aus Kohlenmonoxid (CO) und Methan (CH_4).

Notwendige Bedingung für die photochemische Ozonbildung ist neben dem Vorhandensein der Ozonvorläufer eine intensive Sonneneinstrahlung im ultravioletten Spektralbereich zwischen 290 und 420 nm. Zusätzliche Voraussetzung für hohe bodennahe Ozon-Konzentrationen ist eine mehrere Tage anhaltende stabile sommerliche Hochdruckwetterlage, die in Mitteleuropa zu einer Akkumulation des Ozons innerhalb der Mischungsschicht führt, d.h. eine hohe photochemische Ozonbildung ist für die Ausbildung hoher bodennaher Ozon-Konzentrationen notwendig, aber nicht hinreichend.

3.1.2 Emissionen der Ozonvorläufer

In der globalen Troposphäre fern von Quellen der Luftverunreinigungen erfolgt die Ozonbildung vor allem durch Reaktionen zwischen NO_x, CO und CH_4, wobei NO_x der limitierende Faktor sein sollte. Dagegen sind in der bodennahen Grenzschicht in Mitteleuropa für die Ozonbildung vor allem Reaktionen unter Beteiligung von NO_x und VOC von Bedeutung, wobei je nach den Absolutkonzentrationen der Vorläufer und ihrem Verhältnis zueinander sowohl das NO_x als auch die VOC die limitierenden Faktoren bei der Ozonbildung sein können. Limitierend bedeutet hier, dass man diejenige Vorläufersubstanz, welche ohnehin schon knapp ist, reduzieren muss, um die Ozonbildung wirkungsvoll zu vermindern. Dagegen wird die Ozonbildung durch Reduzierung der Vorläufersubstanz, die im Überfluss vorhanden ist, kaum beeinflusst. Im NO_x-limitierten Bereich führen also NO_x-Reduktionen zu einer Verminderung, NO_x-Erhöhungen zu einer Verstärkung der Ozonbildung, während VOC-Änderungen kaum einen Einfluss auf die Ozonbildung haben. Im VOC-limitierten Bereich dagegen bewirkt eine Reduzierung der VOC-Emissionen eine Verminderung, eine Erhöhung der Emissionen eine Verstärkung der Ozonbildung, während eine NO_x-Verminderung nur einen geringen Einfluss auf die Ozonproduktion hat und unter Umständen sogar zu einem Ozonanstieg führen kann.

Die Ozonvorläufer werden sowohl durch natürliche als auch durch anthropogene Quellen in die Atmosphäre emittiert. Im dicht bevölkerten Mitteleuropa sind die jährlichen anthropogenen Emissionen gegenüber den natürlichen bei weitem dominant. So tragen beispielsweise die jährlichen natürlichen NO_x-Emissionen aus ungedüngten Böden, Gewittern sowie Oxidation von natürlichem Ammoniak in einigen Ländern Mitteleuropas zu weniger als 5% zu den Gesamtemissionen bei *(Ref. 2; 3; 4)*.

Während kurzzeitiger, oft nur mehrere Tage dauernder sommerlicher Ozonepisoden können NO_x-Emissionen aus überwiegend gedüngten Böden bis zu etwa 20% zu den Gesamtemissionen beitragen und in geringem Maße die Ozonbildung erhöhen *(Ref. 5; 6)*. Im Gegensatz zum NO_x tragen biogene VOC-Emissionen während sommerlicher Ozonepisoden erheblich zu den Gesamtemissionen bei *(Ref. 7; 8)*. Ob jedoch die aus Pflanzen emittierten VOC (hauptsächlich Kohlenwasserstoffe wie Terpene und Isoprene aus Laub - und Nadelbäumen) eine ihrer hohen Emission entsprechende Rolle bei der Ozonbildung spielen, ist fraglich, da die biogenen VOC fast durchweg in ländlichen Waldgebieten emittiert werden, wo die Ozonbildung häufig NO_x-limitiert ist.

Dagegen tragen biogene VOCs im Übergangsbereich zwischen VOC-Limitierung und NO_x-Limitierung wahrscheinlich erheblich zur Ozonbildung bei. In Deutschland liegen die VOC-

limitierten Bereiche eher unmittelbar in Städten und Ballungsgebieten und im Lee dieser Gebiete, NO_x-limitierte Bereiche dagegen außerhalb in ländlichen Waldgebieten, während die Übergangsbereiche in der Umgebung von Städten und Ballungsgebieten, an Autobahnen und anderen stark befahrenen Straßen liegen. Die Größe dieses Übergangsbereiches hängt vor allem von den meteorologischen Gegebenheiten ab und ist deshalb sehr variabel. In diesem Bereich werden oft hohe Ozonspitzen gemessen, deren Auftreten insgesamt allerdings selten ist. Solche Ozonspitzen traten z.B. in der Nähe von Industrieanlagen wie z.B. Raffinerien auf, die sich häufig am Stadtrand befinden *(Ref. 9)*.

Der Beitrag der biogenen VOC zum Sommersmog kann vor allem durch Verminderung der anthropogenen NO_x-Emissionen reduziert werden. Die Rolle, die biogene VOCs bei der sommerlichen Ozonbildung spielen, wird derzeit intensiv im BMBF-Troposphärenforschungsprogramm untersucht. In Abbildung 19 ist die Entwicklung der jährlichen anthropogenen Emissionen von NO_x und VOC in Deutschland für die Jahre 1990 bis 1997 dargestellt (Basisjahr: 1990; *Ref. 10)*. Die Gesamtemissionen sind in dieser Zeit beim NO_x um etwa 30%, bei den VOCs um etwa 40% zurückgegangen. Der Verkehr ist beim NO_x der wichtigste und bei den VOC nach der Lösemittelverwendung der bedeutendste Emissionsbereich.

Die Stickoxide entstammten 1997 zu etwa 60% aus dem Verkehrsbereich (ca. 47% aus dem Straßenverkehr (PKW, LKW und Busse) und ca. 13% aus dem übrigen Verkehr (Land-, Wasser- und Luftverkehr). Etwa 30% des NO_x entstammte aus Kraft- und Fernheizwerken sowie aus Industriefeuerungen (Basis: 1997, vorläufige Daten, *Ref. 10*). Bei den VOC entstammten 1997 mehr als 50% aus der Lösemittelverwendung und knapp 30% aus dem Verkehr, im Wesentlichen aus dem Straßenverkehr.

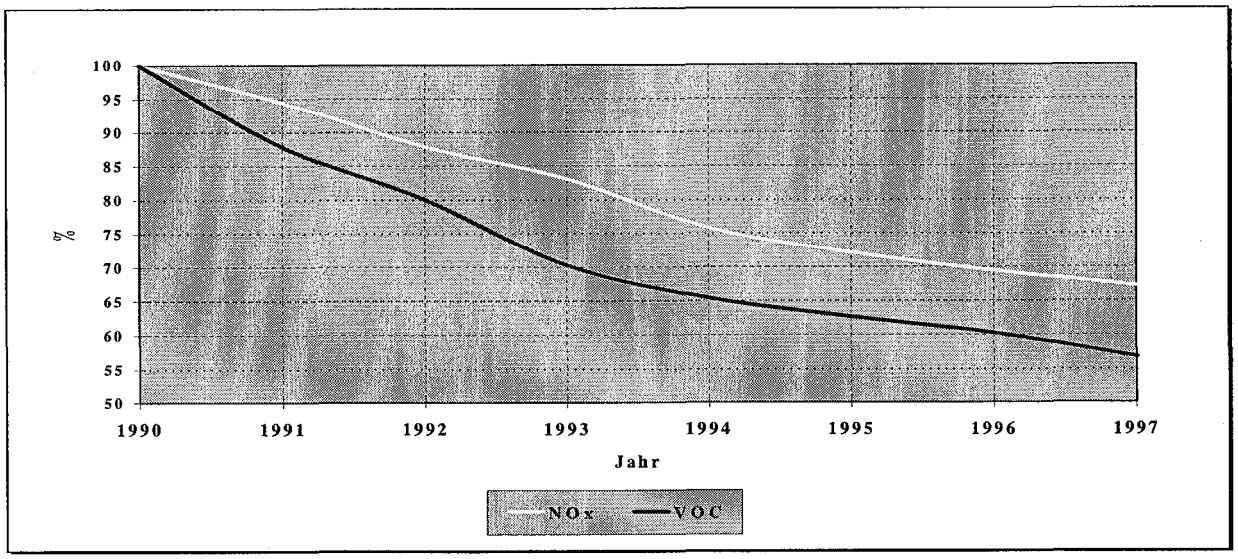


Abbildung 19: Entwicklung der jährlichen anthropogenen Emissionen von NO_x und VOC in Deutschland für die Jahre 1990 bis 1997 (Basisjahr: 1990; Quelle UBA, 1999). Die Gesamtemissionen sind in dieser Zeit beim NO_x um mehr als 30% und bei den VOC um mehr als 40% zurückgegangen. Emissionen im Jahre 1990: 2.677 kt NO_x und 3.181 kt VOC

3.1.3 Herkunft des bodennahen Ozons in Deutschland

Die Ozonbelastung setzt sich aus verschiedenen Anteilen zusammen. Im folgenden Beispiel sollen diese Anteile für eine deutsche Station abgeschätzt werden, bei der während einer sommerlichen Ozonepisode der Wert von 240 $\mu g/m^3$ (120 ppb) im Stundenmittel erreicht wird. Der Abschätzung liegen Literaturveröffentlichungen sowie eigene Ozonauswertungen zugrunde *(Ref. 4; 11-27)*. Dieser hohe Ozonwert könnte sich wie folgt zusammensetzen (Tabelle 82).

A	**Natürliches Ozon** davon: - stratosphärisches Ozon - photochemisch gebildetes Ozon aus natürlichen Vorläufern *(Ref. 4; 14; 18; 20; 22; 27)*	**30 ± 10 µg/m³** 20 ± 10 µg/m³ 10 ± 6 µg/m³
B	**Globales Hintergrundozon** in 30-60°N durch anthropogene NO_x-und VOC-Emissionen in Europa, Nordamerika und Asien *(Ref. 13; 15; 16; 17; 18; 21; 23; 24; 45)*	**50 ± 20 µg/m³**
C	**Großräumige Ozonanreicherung** durch NO_x- und VOC-Emissionen in Mitteleuropa *(Ref. 11; 25)*	**80 ± 40 µg/m³**
D	**Lokale bis regionale Ozonspitzen** durch NO_x- und VOC-Emissionen hauptsächlich innerhalb Deutschlands *(Ref. 26)*	**80 ± 60 µg/m³**

Tabelle 82: Geschätzte Beiträge zur Ozonbelastung in Deutschland am Beispiel einer Station, an der während einer sommerlichen Ozonepisode ein Stundenwert von 240 µg/m³ erreicht wird.

Der Beitrag des stratosphärischen Ozons (A) zu den hohen bodennahen Ozonbelastungen in Mitteleuropa während einer sommerlichen Ozonepisode ist sehr gering *(Ref. 16; 20; 22; 27)*. Er liegt wahrscheinlich unterhalb von 10% und ist durch ozonreduzierende Maßnahmen nicht zu beeinflussen.

Die Abschätzung des erhöhten photochemisch gebildeten Ozon-Hintergrundes auf den mittleren Breiten (30-60°N) der Nordhalbkugel (B) von etwa 50 $\mu g/m^3$ beruht auf Messungen und Modellrechnungen zur großräumigen sommerlichen Ozonverteilung über dem Nordatlantik und der Nordsee *(Ref. 13; 23; 28; 29, 45)* sowie über dem Pazifik *(Ref. 45)*. Die Anteile A und B bilden zusammen den nordhemisphärischen Ozon-Hintergrund (engl.: NHMLB: Northern Hemisphere Mid-Latitude Background).

Abbildung 20 zeigt als Beispiel für den nordhemisphärischen Ozon-Hintergrund (Anteile A+B) einen Vergleich der mittleren monatlichen Ozon-Tagesgänge in Westerland (Nordseeinsel Sylt) für Windrichtungen aus zwei entgegengesetzten Sektoren, nämlich die

Windrichtungen aus dem Sektor Nordwest (Seewind, Antransport von Ozon über den Atlantik und die Nordsee nach Westerland) zum einen und die Richtungen aus dem Sektor Südost (Landwind, Antransport von Ozon vom europäischen Kontinent) zum anderen. Beide Sektoren umspannen je einen Winkel von 135 Grad, wobei der Sektor Nordwest zwischen 247.5° (WSW) und 22.5° (NNE), der Sektor Südost zwischen 67.5° (ENE) und 202.5° (SSW) liegt. Im Frühling und Sommer liegen die mittleren Ozon-Hintergrundwerte etwa zwischen 70 und 80 $\mu g/m^3$ (Anteile A+B, s. Abbildung 20). Diese Werte sind repräsentativ für die untere maritime Troposphäre, da die Vertikalgradienten des Ozons über dem Ozean hauptsächlich wegen der 10-mal geringeren Deposition als über Land wesentlich geringer sind als über kontinentalen Oberflächen.

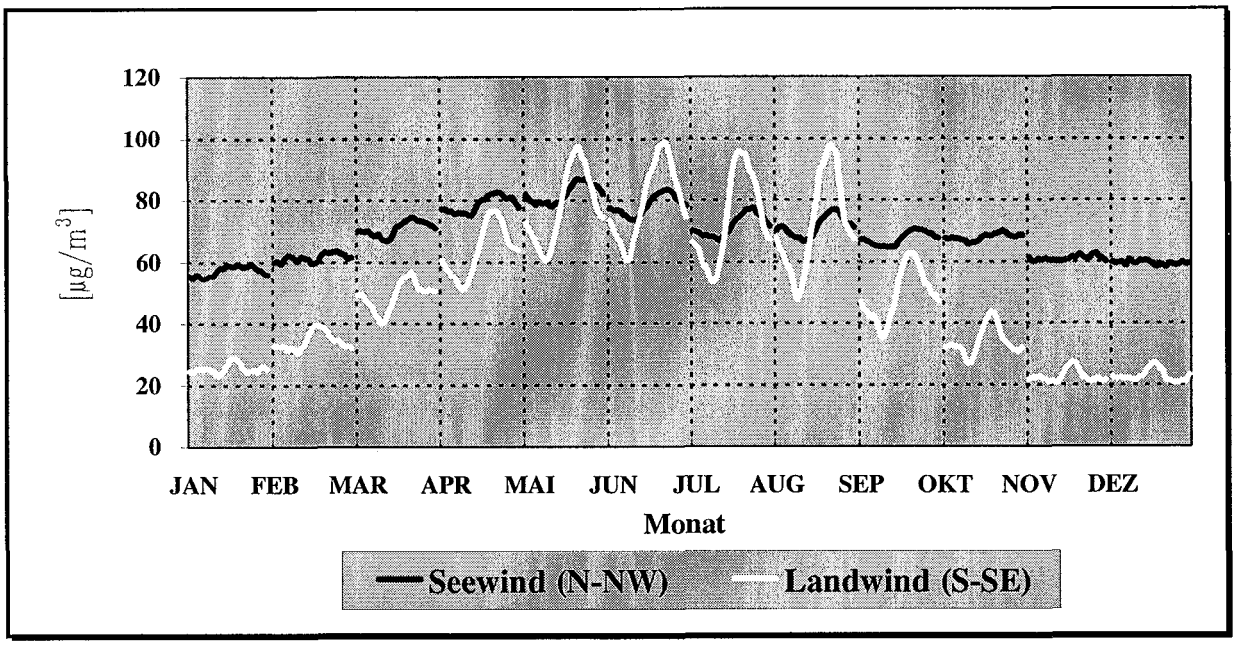


Abbildung 20: Mittlere monatliche Tagesgänge der Ozon-Konzentrationen in Westerland von 1984 bis 1998 bei Landwind (Antransport von Ozon vom europäischen Kontinent) und bei Seewind (Antransport von Ozon über den Atlantik und die Nordsee nach Westerland „Nordhemisphärischer Ozonhintergrund")

Nach Auswertung alter Ozonmessungen *(Ref. 30; 31)* sowie aufgrund von Modellrechnungen *(Ref. 13)* liegen die Ozon-Hintergrundkonzentrationen in der bodennahen und in der freien Troposphäre auf den gemäßigten Breiten der Nordhalbkugel mit etwa doppelt so hohen Werten heute deutlich höher als in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Des weiteren sind die nordhemisphärischen Ozon-Hintergrundkonzentrationen zwischen 30° N und 60° N heute etwa doppelt so hoch wie die entsprechenden Ozonwerte auf der Südhalbkugel *(Ref. 28)*. Die Ursache für die langjährige Zunahme der Ozonwerte auf den mittleren Breiten der Nordhalbkugel liegt mit ziemlicher Sicherheit in der Zunahme der photochemischen Ozonbildung aus den Ozonvorläufern (NO_x, VOC, CO, CH_4), deren Emissionen seit Beginn der Industrialisierung stark zugenommen haben *(Ref. 31; 32; 33; 34)*. Das nordhemisphärische Hintergrund-Ozon wird in den Sommermonaten hauptsächlich über den Kontinenten gebildet *(Ref. 35; 36)* und wegen seiner im Vergleich zu den wesentlichen

Vorläufern (vor allem NO_x) relativ langen troposphärischen Lebensdauer zonal gut durchmischt *(Ref. 4; 13; 36)*.

Der anthropogene Anteil (B) an der nordhemisphärischen Hintergrundbelastung kann durch dauerhaft wirksame Maßnahmen zur Reduzierung der Vorläufer in den Industrieländern Nordamerikas, Asiens und Europas vermindert werden.

Die Abschätzung der großräumigen Ozonanreicherung mit ca. 80 $\mu g/m^3$ über dem mitteleuropäischen Kontinent (C) gegenüber dem nordhemisphärischen Hintergrund (A+B) beruht auf Boden - und Flugzeugmessungen der großräumigen Ozonverteilung während sommerlicher Ozonepisoden *(Ref. 11; 12; 25; 37; 38)*. Die Bildung dieses hohen Ozonsockels erfolgt in der Regel über mehrere Tage im Wesentlichen innerhalb der Mischungsschicht *(Ref. 16)*.

Für die in ländlichen Gebieten gelegenen Stationen des UBA-Messnetzes werden die sommerlichen Ozonwerte im Wesentlichen durch die Anteile A bis C bestimmt. Zur nachhaltigen Senkung des Anteils C sind großräumige Maßnahmen in ganz Europa erforderlich, wobei gegenwärtig sowohl NO_x als auch VOC reduziert werden müssen. Vor dem Hintergrund des hohen Anteils biogen emittierter VOC während sommerlicher Ozon-Episoden ist das NO_x-Minderungspotential in vielen Regionen Europas deutlich höher als das VOC-Minderungspotential. Im Zuge der weiteren Reduzierung der Emissionen beider Ozon-Vorläufer wird eine Minderung der NO_x-Emissionen zunehmend wirkungsvoller bei der Bekämpfung der hohen sommerlichen Ozon-Konzentrationen.

Die auf den hohen großräumigen Ozonsockel (A+B+C) aufgesetzten lokalen bis regionalen Ozonspitzen (D) treten in Gebieten mit hohen Vorläuferemissionen und in deren unmittelbarer Umgebung auf. In Deutschland traten solche Spitzen bisher vor allem in und um das Ruhrgebiet, im Rhein-Main-Gebiet, Rhein-Neckar-Gebiet, Oberrheingraben, aber auch über den Industriegebieten im Süden der neuen Bundesländer sowie in Berlin und Umgebung auf. Um die hohen Ozonspitzen nachhaltig zu senken, ist vor allem eine Reduktion der Ozonvorläufer (NO_x und VOC) um 70 bis 80% bezogen auf die Emissionen 1990 notwendig *(Ref. 39)*, vor allem in Deutschland und seinen Nachbarstaaten. Dabei weisen dauerhafte Minderungsmaßnahmen eine deutlich höhere Wirksamkeit bei der Bekämpfung von Ozonspitzenkonzentrationen auf als temporäre Maßnahmen. Dauerhafte, großräumige Minderungsmaßnahmen in Europa bewirken sowohl eine Senkung der großräumigen Hintergrundkonzentrationen (Anteil C) als auch eine Minderung der lokalen Ozonproduktion *(Ref. 42)*. Die in Deutschland zwischen Ende der 80er Jahre und heute erreichte Verminderung der Ozonvorläufer um etwa 40% hat zu einer Absenkung der Ozonspitzenwerte geführt *(Ref. 40; 41; 42)*, die allerdings zum Schutz der menschlichen Gesundheit nicht ausreicht.

3.1.4 Ozon-Belastung in Deutschland zwischen 1990 und 1998

3.1.4.1 Ozon-Spitzenwerte

In Tabelle 83 ist die Zahl der Tage angegeben, an denen an mindestens einer deutschen Ozon-Messstation die Ozon-Schwellenwerte von 180 $\mu g/m^3$ bzw. 240 $\mu g/m^3$ (Stundenmittel) in den Jahren 1990 bis 1998 überschritten worden sind.

Anzahl der Tage mit Überschreitungen	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
180 $\mu g/m^3$	64	54	82	53	46	54	36	41	32
240 $\mu g/m^3$	25	20	20	9	17	19	3	3	7
Zahl der Ozon-Messstellen	220	250	290	326	332	353	370	379	377

Tabelle 83: Anzahl der Tage mit Überschreitungen von 180 µg/m³ bzw. 240 µg/m³ sowie Anzahl der Ozon-Messstellen in Deutschland *(Ref. 11; 43).*

In Abbildung 21 sind die in Tabelle 83 angegebenen Zahlen der Tage mit Überschreitungen der Ozon-Schwellenwerte in den Jahren 1990 bis 1998 graphisch dargestellt. Die Werte sind auf das Jahr 1990 bezogen. Grundlage sind die Einstunden-Mittelwerte der Ozon-Konzentrationen aus den Messnetzen der Bundesländer sowie des Umweltbundesamtes. Da sich die Zahl der Ozon-Messstellen im Untersuchungszeitraum von 220 im Jahre 1990 auf 377 im Jahre 1998 (davon 31 UBA-Stationen) und damit auch die Wahrscheinlichkeit für Überschreitungen erhöht hat, wurde die Zahl der Tage mit Überschreitungen auch auf die Zahl der Messstellen im Jahre 1990 normiert.

Diese Normierung bedeutet jedoch nicht, dass es sich immer um die gleichen 220 Messstellen aus dem Jahr 1990 handelt. Obwohl die Darstellung die Zusammenhänge nur in sehr grober Weise wiedergibt, erkennt man doch eine deutliche Abnahme der Zahl der Überschreitungen, vor allem bei den Konzentrationen über 240 $\mu g/m^3$.

Auffallend ist auch, dass die Ozonepisode zwischen dem 6. und 12. August 1998 mit sehr hohen Ozonwerten am 11. und 12. August (siehe Kapitel 3.1.5), die am 12. August zu Fahrverboten in mehreren Bundesländern geführt hat, in Abbildung 3 kaum zu erkennen ist, d.h. der insgesamt abnehmende Trend der Ozon-Spitzenwerte wird durch diese extreme Situation kaum beeinflusst.

Die Abbildung 21 kann einen möglichen Zusammenhang zwischen einer zeitlichen Änderung der Ozon-Konzentrationen und der entsprechenden Änderung der Ozon-Vorläufer naturgemäß nur sehr grob aufzeigen, da die Ozon-Messstationen auf Änderungen der Vorläufer keinesfalls einheitlich reagieren. Ob die Ozon-Konzentrationen bei einer Emissionsminderung zu- oder abnehmen, ist eine komplizierte Funktion der lokalen Emissionsverhältnisse, des regionalen und überregionalen Transports sowie der Intensität der photochemischen Ozonproduktion.

Von erheblicher Bedeutung ist dabei der Einfluss der Meteorologie, da in Jahren mit langanhaltenden sommerlichen Schönwetterperioden die Zahl der Überschreitungen von Ozon-Schwellenwerten naturgemäß höher ist als in Jahren mit kühlen und verregneten Sommern. Der in Abbildung 21 dargestellte Verlauf der Ozonwerte wird im Wesentlichen durch die Abnahme der Emissionen der Ozonvorläufer sowie durch meteorologische Einflussfaktoren bestimmt. Um herauszufinden, inwieweit sich die Reduktion der Ozonvorläufer in den letzten Jahren auf die Überschreitungshäufigkeiten ausgewirkt haben, wird im Rahmen eines UBA-Forschungsvorhabens *(Ref. 40)* versucht, den Einfluss der Meteorologie aus den Ozondaten zu eliminieren.

Abbildung 22 zeigt die original gemessenen und die wetterbereinigten Trends der Überschreitungshäufigkeiten von Ozon-Schwellenwerten (Maxima) in Prozent als Mittel über 167 Ozonstationen in Deutschland im Zeitraum von April bis September 1990 bis 1997 (Basisjahr:1990). Diese 167 Stationen haben in diesem Zeitraum durchgehend Ozon gemessen.

Deutlich erkennbar nimmt die Überschreitungshäufigkeit der Ozonmaxima sowohl der gemessenen, nicht wetterbereinigten, als auch der wetterbereinigten Werte vor allem bei hohen Ozonwerten über etwa 120 $\mu g/m^3$ mit steigenden Ozon-Schwellenwerten ab, wobei diese Abnahme umso stärker ausgeprägt ist, je höher die Werte sind. Eine leichte Abnahme wird auch bei den niedrigen Schwellenwerten beobachtet, während die Überschreitungshäufigkeiten im mittleren Konzentrationsbereich (etwa zwischen 70 und 120 $\mu g/m^3$ bzw. 35 und 60 ppb) geringfügig zugenommen haben. Dieses scheinbar paradoxe Ergebnis ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die gleichen Ursachen zurückzuführen, nämlich den erheblichen Rückgang der Vorläuferemissionen im Bezugszeitraum.

Die relativ niedrigen Ozonwerte, die bevorzugt an den stärker verkehrsbeeinflussten Stationen auftreten, steigen wegen der Verminderung des Titrationseffektes (Ozonabbau durch Reaktion mit NO) mit steigenden Ozonwerten leicht an, d.h. sehr niedrige Ozonwerte treten demzufolge insgesamt seltener, mittlere Werte dagegen häufiger als im Jahre 1990 auf. Die größten Abnahmen der Ozon-Schwellenwerte treten in Gebieten auf, in denen die NO_x-Emissionen geringer sind als an den stark verkehrsbeeinflussten Stationen, d.h. in der Regel außerhalb der Stadtzentren am Stadtrand, wo im Allgemeinen auch die höchsten Ozonwerte gemessen und berechnet werden *(Ref. 40; 41; 42)*.

Entsprechende Untersuchungen von Trends der Überschreitungshäufigkeiten wurden auch getrennt für einzelne Stationskategorien durchgeführt. Die insgesamt 167 Stationen wurden dabei in verkehrsnahe (40), städtische (94), ländliche (28) und Bergstationen (5) unterteilt. Gemeinsam ist allen Stationskategorien, dass die Häufigkeit höherer Ozonwerte zwischen 1990 und 1997 deutlich abgenommen hat, während die Schwellenwerte zwischen 80 und 120 $\mu g/m^3$ leicht zugenommen haben *(Ref. 40)*.

Der abnehmende Trend bei den Ozon-Spitzenwerten zeigt sich auch an den absoluten Maxima der Stundenwerte (Abbildung 23, *Ref. 11; 43)*. Ozon-Konzentrationen über 300 $\mu g/m^3$ wurden seit 1993 in Deutschland nicht mehr beobachtet. Der hohe Wert von 287 $\mu g/m^3$ (Neuwied) im Jahre 1998 ist auf die extremen Wetterbedingungen am 11. August zurückzuführen (siehe Kapitel 3.1.5).

Die auf der Basis von globalen, regionalen und lokalen Bilanzierungen der Ozonbeiträge (vgl. Tabelle 82) sowie der auf der Grundlage der Meteorologie-Bereinigung der Ozontrends *(Ref. 40)* gezogenen Schlussfolgerungen, wonach der Rückgang der Ozon-Spitzenbelastungen in Deutschland im Wesentlichen auf die Reduktion der Ozon-Vorläufer zurückzuführen ist, werden durch neuere Modellrechnungen bestätigt *(Ref. 42)*.

Modellrechnungen mit zwei verschiedenen photochemischen Modellsystemen (EURAD: EURopean Air Pollution Dispersion Model, REM3: Regional Eulerian Model with 3 chemistry schemes) kommen zu dem Ergebnis, dass bei einer dauerhaften deutschland - und europaweiten Absenkung der Emissionen der Ozon-Vorläufer in der Größenordnung von etwa 40%, bezogen auf die Emissionen im Jahre 1990, die Ozon-Spitzenkonzentrationen in Deutschland deutlich zurückgehen *(Ref. 42)*.

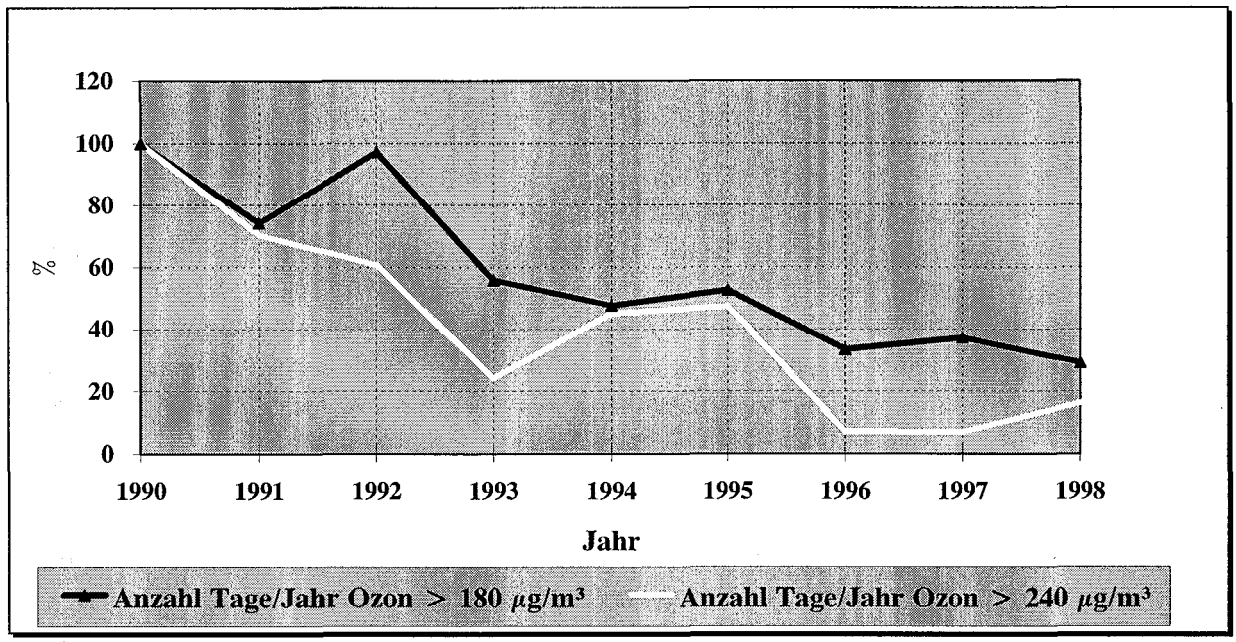


Abbildung 21: Graphische Darstellung der in der Tabelle 81 angegebenen Zahlen der Tage mit Schwellenwertüberschreitungen der Ozonmaxima. Die Zahlen sind auf Ozonwerte von 1990 sowie die Stationszahl von 1990 (220 Ozonstationen) bezogen.

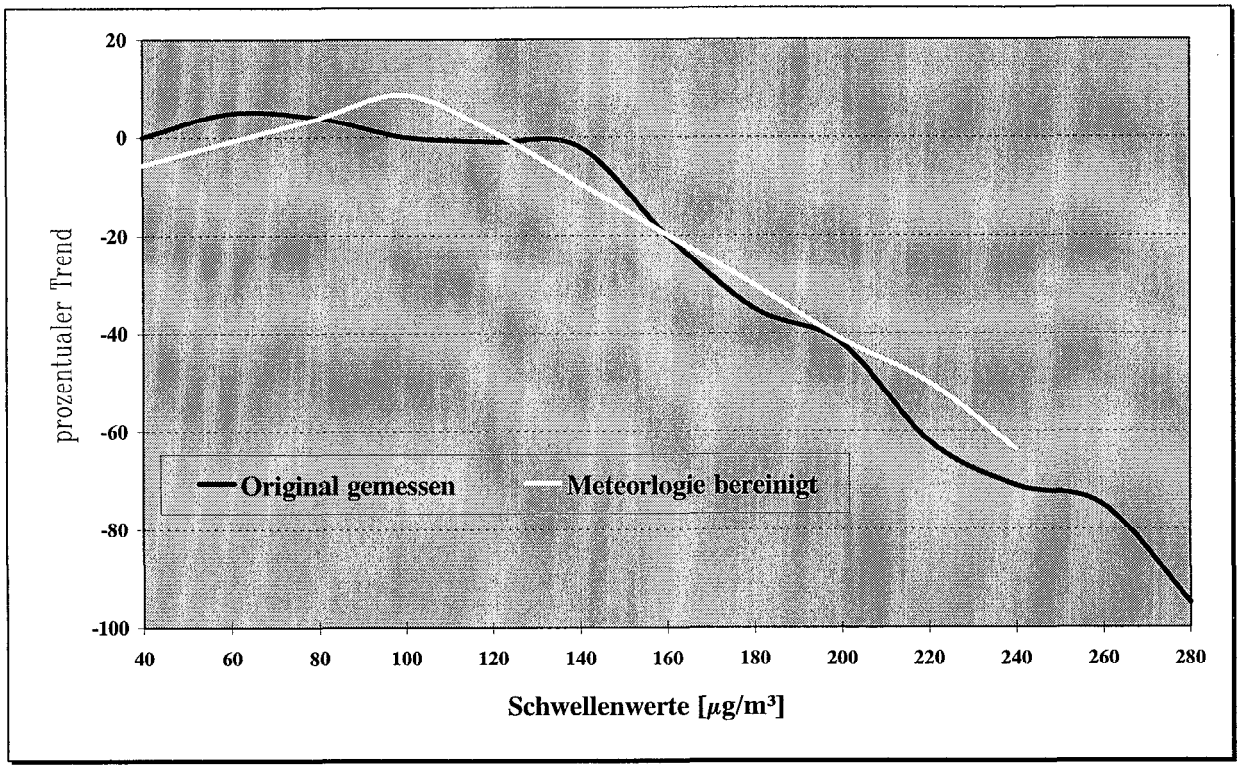


Abbildung 22: Trend der Überschreitungshäufigkeiten der Ozonmaxima bei vorgegebenen Schwellenwerten (original und witterungsbereinigt, April bis September 1990 bis 1997), Mittel über 167 Stationen *(Ref. 40)*

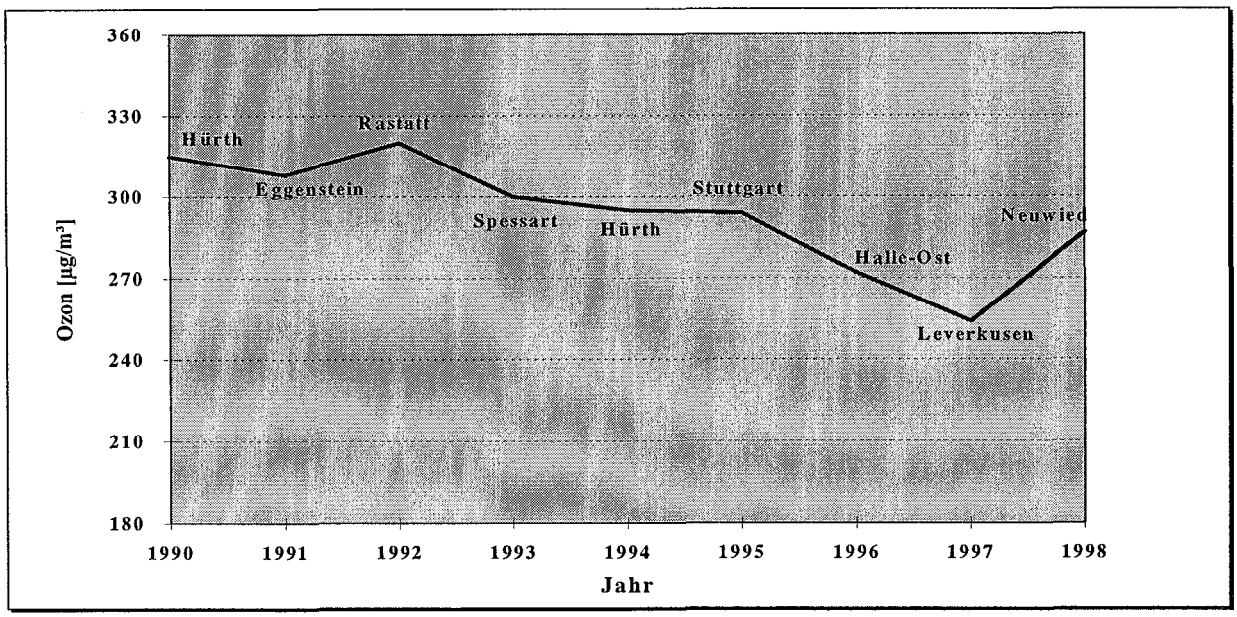


Abbildung 23: Jährliche Ozonmaximalwerte (Stundenwerte) in Deutschland zwischen 1990 und 1998.

3.1.4.2 Ozon-Mittelwerte

Abbildung 24 zeigt den Verlauf der Halbjahres-Ozonmittelwerte zwischen 1990 und 1997 jeweils für die Monate zwischen April und September (Sommerhalbjahr) bzw. Oktober bis März (Winterhalbjahr). Die Werte sind nicht auf die Zahl der Ozon-Messstellen in Deutschland normiert (zwischen 220 und 377, siehe Tabelle 83). Im Gegensatz zu den Ozon-Spitzenwerten ist keine Abnahme der mittleren Halbjahreswerte zwischen 1990 und 1997 zu erkennen. Ähnlich wie in Abbildung 3 können Zusammenhänge zwischen dem Ozonverlauf einerseits und emissionsseitigen bzw. meteorologischen Einflussgrößen andererseits naturgemäß nur sehr grob wiedergegeben werden.

Die erhebliche Reduzierung der Ozonvorläufer in Deutschland führte zu einer Absenkung der Ozon-Spitzenwerte (über 120 $\mu g/m^3$), einem geringerem Auftreten niedriger Werte (unter etwa 70 $\mu g/m^3$) und einem geringfügig häufigeren Auftreten mittlerer Konzentrationen (etwa zwischen 70 und 120 $\mu g/m^3$). Dagegen haben sich die Mittelwerte, die aus dem gesamten Konzentrations-Spektrum gebildet werden, im Zeitraum zwischen 1990 und 1998 nur unwesentlich geändert.

Im Gegensatz zu den Ozonspitzenwerten können die mittleren Ozon-Konzentrationen durch ozonmindernde Maßnahmen in Deutschland allein nicht wirksam vermindert werden. Wie Tabelle 82 zeigt, sind hierfür wegen der weiträumig hohen Belastung und des vergleichsweise hohen Anteils des Ferntransports auch Maßnahmen in anderen europäischen und sogar in außereuropäischen Ländern der Nordhalbkugel notwendig. Vor diesem Hintergrund ist die Einhaltung bestimmter Grenzwerte für den Gesundheitsschutz, vor allem aber der niedrigen Grenzwerte für den Pflanzenschutz, nicht ganz unproblematisch, wie es im folgenden Beispiel anhand der AOT40-Werte für den Pflanzenschutz dargestellt werden soll.

Als Maß für das Schädigungspotential von Ozon wird oft die Überschreitung von ökosystemspezifischen Schadschwellen-Konzentrationen ("Critical Levels") angegeben. Für die Schädigung von Pflanzen wurden Critical Levels als kumulierte Dosis, als sogenannter AOT40-Wert ("Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb") definiert. Zur Bestimmung dieses Wertes werden alle Überschreitungen eines Stundenmittels von 40 ppb (80 $\mu g/m^3$) summiert.

Mit dem AOT40-Wert sollen sowohl die akut schädigenden Wirkungen einzelner Spitzenkonzentrationen, als auch die chronischen Wirkungen lang anhaltender, leicht erhöhter Belastungen berücksichtigt werden. Der AOT40-Wert soll für landwirtschaftliche Nutzpflanzen den Wert von 3000 ppb Stunden (ppb*h) und für Waldgebiete von 10 000 ppb Stunden (ppb*h) während der Hauptwachstumsphase nicht überschreiten. In Deutschland liegt dieser Zeitraum für landwirtschaftliche Nutzpflanzen in den Monaten Mai bis Juli und für Waldgebiete in den Monaten April bis September jeweils für die Stunden mit Tageslicht, das heißt definitionsgemäß 6.00 bis 18.00 Uhr MEZ.

Wie Abbildung 25 zeigt, wurden die AOT40-Werte für landwirtschaftliche Nutzpflanzen während der Vegetationsperiode im Jahre 1997 an fast allen der meist in landwirtschaftlich genutzten Gebieten gelegenen Stationen des UBA-Messnetzes - es umfasste insgesamt 31 Stationen - mehr oder weniger deutlich überschritten. Das gilt insbesondere für die Bergstationen Schauinsland (1205 m über NN), Brotjacklriegel (1016 m über NN), Schmücke

937 m über NN) und die Mittelgebirgsstation Deuselbach (480 m über NN). Allerdings sind die Bergstationen Schauinsland, Brotjacklriegel und Schmücke überwiegend von Wald (AOT40-Wert von 10 000 ppb*h) umgeben. Auch dieser Wert wird während der Wachstumsphase von April bis September an den letzgenannten drei Bergstationen deutlich überschritten (Faktor 1.7 bis 2.3).

Die Ozon-Konzentrationen tragen sehr unterschiedlich zum AOT40-Wert bei. In den Abbildung 26a-d sind die prozentualen Beiträge zum AOT40-Wert für landwirtschaftliche Nutzpflanzen beispielhaft für je eine Bergstation (Schauinsland), Küstenstation (Westerland), ländliche Flachlandstation (Neuglobsow) sowie zum Vergleich für eine verkehrsbeeinflusste ländliche Station (Meinerzhagen) dargestellt. Man erkennt, dass die AOT40-Werte generell durch die mittleren Ozon-Konzentrationen (40 bis 80 ppb) bestimmt werden und nur in sehr geringen Maße durch die Ozon-Spitzenwerte (über 80 ppb). Daneben gibt es systematische Unterschiede zwischen den Stationskategorien: An der Küstenstation tragen vor allem Ozon-Konzentrationen zwischen 40 und 60 ppb zu den AOT40-Werten bei, während an den Mittelgebirgsstationen vor allem die Ozon-Konzentrationen zwischen 45 und 75 ppb die AOT40-Werte bestimmen.

Da die AOT40-Werte im Wesentlichen durch die mittleren Ozon-Konzentrationen bestimmt werden und weniger durch die Ozon-Spitzenwerte, sollte man keinen abnehmenden Trend während der letzten Dekade erwarten. Tatsächlich weisen die AOT40-Werte für landwirtschaftliche Nutzpflanzen für die fünf in ländlichen Gebieten gelegenen UBA-Messstationen Westerland, Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjacklriegel zwar erhebliche Schwankungen von Jahr zu Jahr auf. Diese sind jedoch weitgehend meteorologisch bedingt, eine Abnahme der AOT40-Werte zwischen 1990 und 1998 ist trotz der in dieser Zeit erfolgten erheblichen Minderung der Vorläufersubstanzen in Deutschland nicht festzustellen.

Abbildung 27 zeigt die kumulative Ozon-Exposition über 40 ppb (AOT40) im Jahre 1998 für die UBA-Messstellen Westerland, Zingst, Neuglobsow, Deuselbach und Schauinsland für den Zeitraum 1. Mai bis 31. Juli.

Die deutlichen Überschreitungen der AOT40-Werte in Deutschland werden sich auch in den kommenden Jahren kaum spürbar reduzieren lassen, trotz der ozonmindernden Maßnahmen, da die Emissionsminderungen der Vorläufer NO_x und VOC zwar zu einem Rückgang der Ozon-Spitzenwerte, kaum aber zu einer Verminderung der Ozon-Mittelwerte führen *(Ref. 40; 42)*

Der Rückgang der Ozon-Spitzenwerte in Deutschland kann nicht auf einen Rückgang des nordhemisphärischen Hintergrund-Ozons zurückgeführt werden (Anteile A und B in Tabelle 82), wie eigene Messungen in Westerland sowie andere Untersuchungen gezeigt haben (*Ref. 44)*. Für den Rückgang der Spitzenwerte ist vor allem die Reduzierung der Vorläufer in Deutschland (Anteil D in Tabelle 82) und möglicherweise auch in einigen deutschen Nachbarstaaten verantwortlich (Anteil C in Tabelle 82).

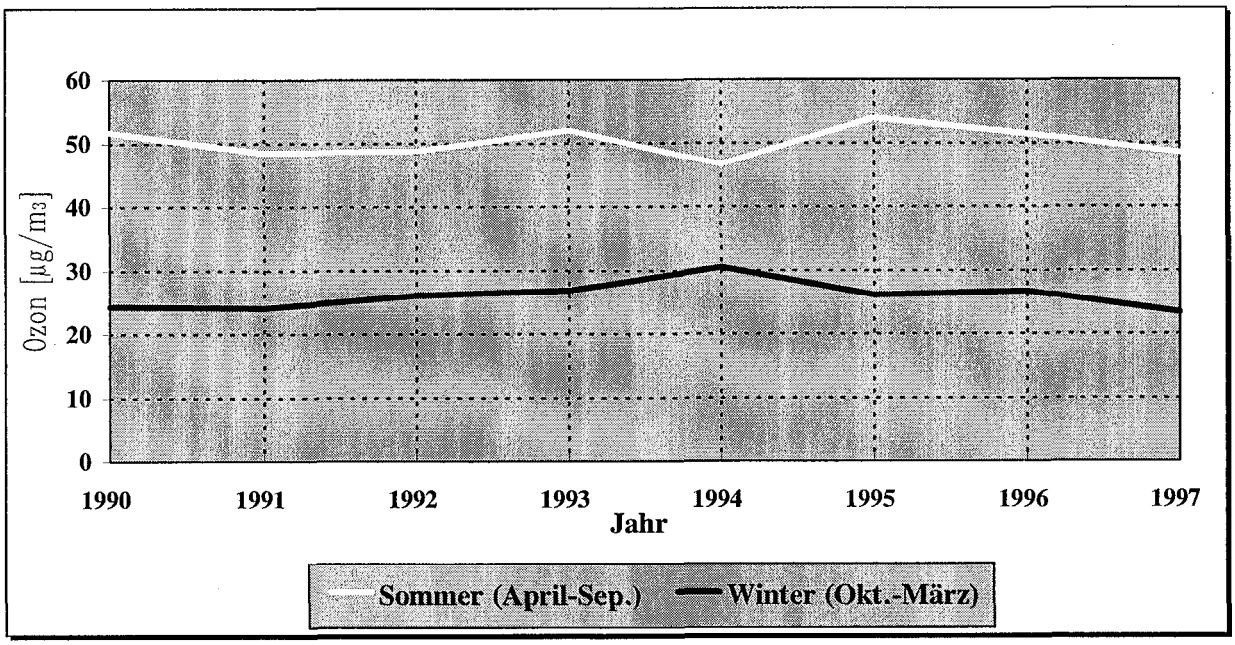


Abbildung 24: Verlauf der Halbjahres-Ozonmittelwerte zwischen 1990 und 1997 jeweils für die Monate April bis September (Sommer) bzw. Oktober bis März (Winter).

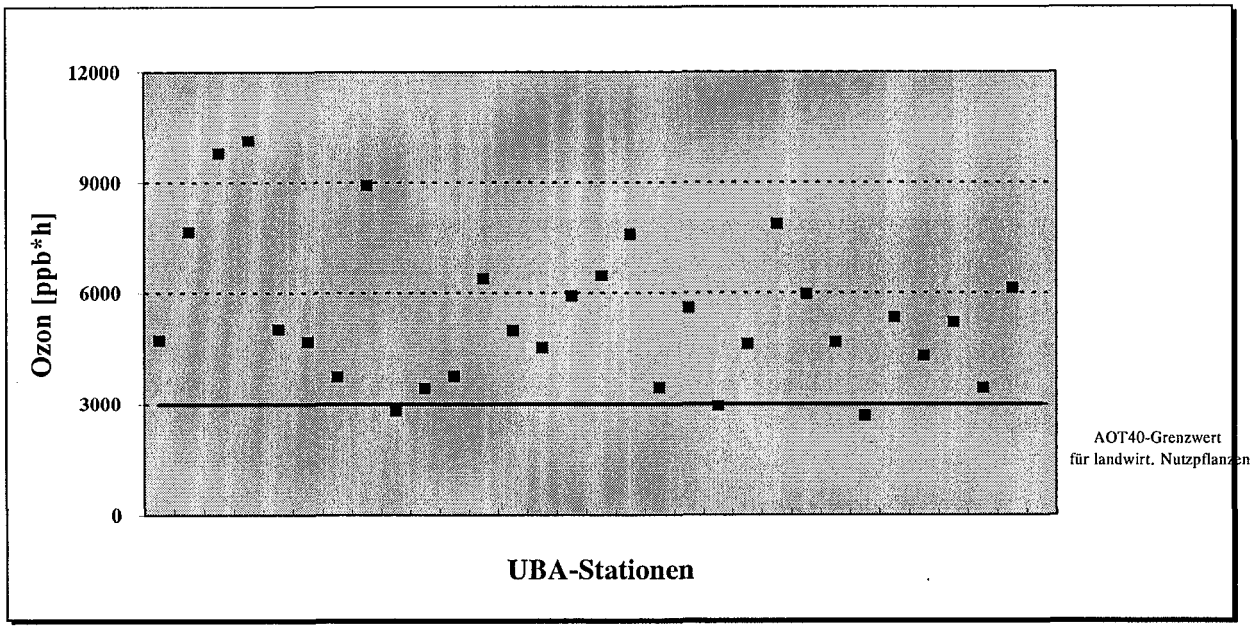


Abbildung 25: AOT40-Werte für landwirtschaftliche Nutzpflanzen an den Stationen des UBA-Messnetzes für 1997.

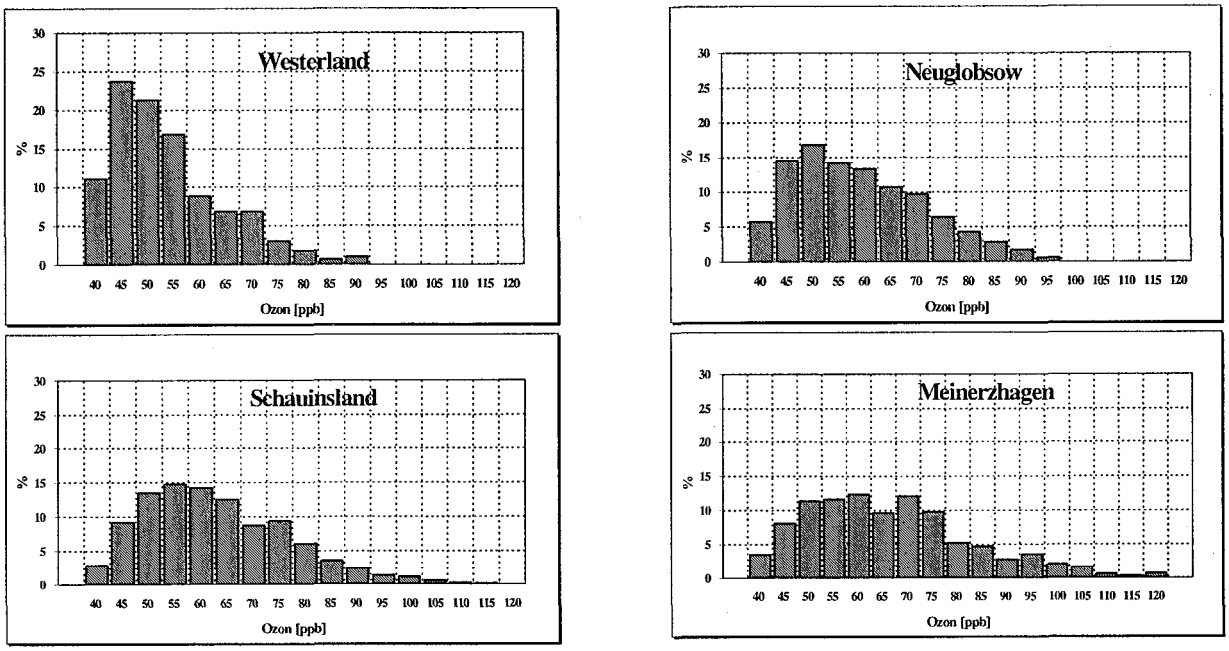


Abbildung 26a-d: Mittlere prozentuale Beiträge zum AOT40-Wert für landwirtschaftliche Nutzung von 1993 bis 1997 für die Hauptwachstumsperiode zwischen Mai und Juli, 6:00 bis 18:00 Uhr MEZ für die UBA-Messstellen Westerland (a), Neuglobsow (b), Schauinsland (c) und Meinerzhagen (d).

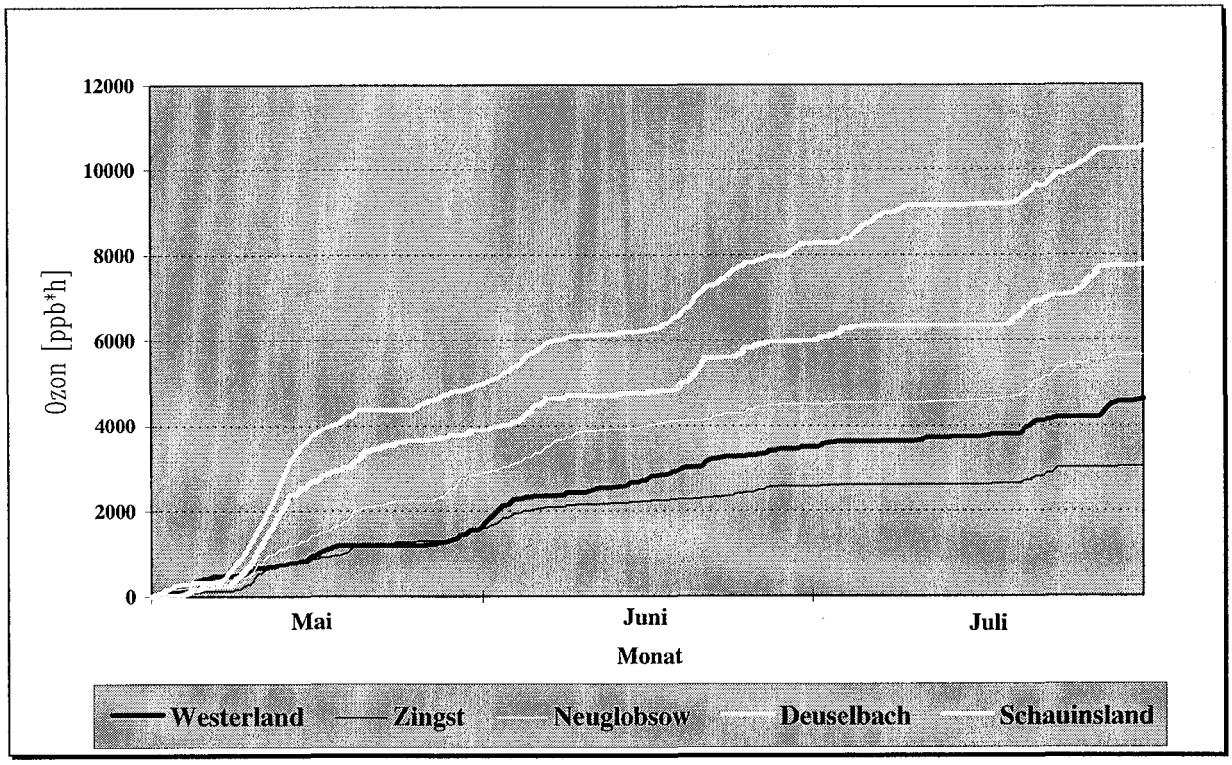


Abbildung 27: Kumulative Ozonexposition über 40 ppb (AOT40) für landwirtschaftliche Nutzung (Mai bis Juli, 6:00 bis 18:00 Uhr MEZ) für 1998 an den Messstellen des UBA

3.1.5 Ozon-Wochenendeffekt an den Messstellen des UBA

Die Beantwortung der Frage, welche Auswirkungen der Wochengang der Emissionen der Vorläufersubstanzen NO_x und VOC auf den Wochengang der Ozon-Konzentrationen hat, hängt von den spezifischen emissionsseitigen und meteorologischen Einflussgrößen ab. Ob an den Tagen des Wochenendes als Folge der in der Regel geringeren Vorläuferemissionen höhere oder niedrigere Ozonwerte als an den Wochentagen gemessen werden, hängt neben dem Einfluss des regionalen und überregionalen Transportes auch entscheidend davon ab, ob die Ozonbildung NO_x-limitiert ist oder nicht und wie hoch die photochemische Aktivität der Atmosphäre ist.

Aufgrund der Variabilität der meteorologischen Verhältnisse sowie der von Region zu Region unterschiedlichen Emissionsverhältnisse und Transportbedingungen ist es oft schwierig, aus Messungen eine eindeutige Beziehung zwischen dem Wochengang der Emissionen und den Ozon-Konzentrationen abzuleiten.

In einer neueren Veröffentlichung *(Ref. 47)* wurde der Versuch unternommen, auf der Basis eigener Messungen sowie einer umfangreichen Literaturauswertung verallgemeinernde Aussagen über den Wochengang von Emissionen der Vorläufer und der Ozon-Konzentrationen zu machen.

Danach ergeben sich für das ganze Jahr für die meisten Stationen an den Wochenenden im Jahresmittel höhere Ozon-Konzentrationen als an den Wochentagen. Die Ursache liegt in der geringeren NO-Emission an den Wochenenden, wodurch weniger NO zur Titration von O_3 zur Verfügung steht, sowie an dem häufigen Auftreten strahlungsarmer Tage, vor allem im Winter.

Betrachtet man nur die Sommermonate, so ändert sich dieses Bild für viele Stationen: Für Stationen in Städten und Ballungsgebieten (Ozonbildung ist meist VOC-limitiert) ergeben sich wie im Jahresmittel auch für die Sommermonate höhere Ozonwerte an den Wochenenden, in wenig belasteten Gebieten dagegen (Ozonbildung ist häufiger NO_x-limitiert als in Ballungsgebieten) sind die Ozon-Konzentrationen im Sommer an Wochenenden aber oft niedriger als während der Woche.

Eine Auswertung der im UBA-Messnetz gewonnenen Daten zum Ozon-Wochenendeffekt bestätigt zumindest qualitativ die Ergebnisse der Veröffentlichung von Brönnimann und Neu (1997) sowie auch die Ergebnisse des F+E-Vorhabens "Aktionsprogramm und Maßnahmeplan Ozon" (1997), nach denen in ländlichen Gebieten Deutschlands und der Schweiz bei hoher photochemischer Aktivität häufig die niedrigeren NO-Emissionen an den Wochenenden auch zu niedrigeren Ozonwerten an den Wochenendtagen führen.

Die Auswertungen wurden für 33 in ländlichen Gebieten gelegenen UBA-Stationen für den Zeitraum 1979-1997 vorgenommen, wobei als Bezugszeitraum jeweils ein Jahr bzw. nur die Sommermonate Mai bis August gewählt wurde (Tabelle 84). Zum Vergleich wurden die entsprechenden Auswertungen für zwei Stationen in Frankfurt/Main durchgeführt (Tabelle 85). Die Auswertungen wurden sowohl für die Tagesmittel als auch für die täglichen Ozon-Maxima durchgeführt. An den UBA-Stationen ist die Ozonbildung sehr wahrscheinlich sowohl NO_x-limitiert als auch VOC-limitiert, wobei je nach Waldbestand und Grad der

Beeinflussung aus Ballungsgebieten regionale Unterschiede auftreten sollten. Hinzu kommt, dass sich die Eigenschaft der NO_x- und VOC-Limitierung für eine feste Station oder Region zeitlich ändern kann, je nachdem welche chemische Vorgeschichte die Luftmassen aufweisen, die in die entsprechende Region transportiert worden sind *(Ref. 48)*. An der Station Frankfurt/Main ist die Ozonbildung dagegen VOC-limitiert.

Die Auswertung von 33 UBA-Stationen brachte im Einzelnen folgende Ergebnisse:

	Gesamtjahr	Mai - August
Anzahl der Stationen, an denen die Ozontages-mittelwerte an mindestens einem der beiden Wochenendtage höher waren als an mindestens einem der fünf Wochentage.	28 (85%)	14 (42%)
Anzahl der Stationen, an denen die täglichen Ozonmaxima (1-Stundenwert) an mindestens einem der beiden Wochenendtage höher waren als an mindestens einem der fünf Wochentage.	12 (36%)	4 (12%)

Tabelle 84: Mittlerer Wochengang von Ozon-Tagesmitteln und Ozon-Maxima an den UBA-Messstellen für das Gesamtjahr (mittlere Spalte) bzw. für Mai bis August (rechte Spalte) als Bezugszeitraum

Wochengang der Ozon-Maxima und Mittelwerte im Gesamtjahr in µg/m³ für UBA-Stationen, 1979 - 1997, Zeiträume unterschiedlich							
	Mo.	**Di.**	**Mi.**	**Do.**	**Fr.**	**Sa.**	**So.**
ländliche Stationen Mittel	52.0	51.3	51.7	52.3	52.3	53.2	54.2
ländliche Stationen Max.	76.3	76.1	77.5	77.9	77.8	78.1	77.5
Stadtstationen (FFM) Mittel	23.5	23.8	24.0	25.0	25.0	27.5	30.0
Stadtstationen (FFM) Max.	51.8	53.6	54.5	54.9	55.4	60.2	61.3
Wochengang der Ozon-Maxima und Mittelwerte im Sommer (Mai-August) in µg/m³ für UBA-Stationen, 1979 - 1997, Zeiträume unterschiedlich							
	Mo.	**Di.**	**Mi.**	**Do.**	**Fr.**	**Sa.**	**So.**
ländliche Stationen Mittel	69.8	70.2	71.7	71.5	71.7	71.9	71.2
ländliche Stationen Max.	102.3	102.4	106.2	105.0	106.1	105.2	101.1
Stadtstationen (FFM) Mittel	42.0	43.6	45.8	45.9	46.3	49.0	52.1
Stadtstationen (FFM) Max.	89.1	95.5	99.5	97.3	97.4	104.2	103.1

Tabelle 85: Mittlerer Wochengang der Ozonmittelwerte und Maxima für den Zeitraum 1979 bis 1997 an 33 ländlichen UBA-Stationen und zum Vergleich an 2 städtischen Stationen für das Gesamtjahr (oben) und für die Sommermonate (unten)

In Tabelle 85 sind die Ergebnisse der Auswertungen als Mittel über die 33 Messnetz-Stationen sowie die 2 Frankfurter Stationen für das Gesamtjahr (oben) bzw. für die Sommermonate (unten) zusammengefasst.

Die Auswertung für die Mittel der 33 Stationen ergibt ein ähnliches Bild wie für die Einzelstationen: Für das Gesamtjahr als Bezugszeitraum liegen sowohl die mittleren als auch die maximalen Ozonwerte an den Wochenenden geringfügig über denen an den Wochentagen (0.9% für Maximum und 3.3% für Mittelwerte). Dagegen sind die entsprechenden Unterschiede für die beiden Frankfurter Stationen mit 12.4% für die Ozon-Maxima und 19.1% für die Mittelwerte erwartungsgemäß wesentlich größer.

Für die Sommermonate Mai bis August liegen die über die 33 UBA-Stationen gemittelten Ozon-Maxima an den Wochenenden geringfügig unter denen an den Wochentagen (1.2% für Ozon-Maxima), während die Ozonmittelwerte an den Wochenenden mit 0.8% geringfügig über denen an den Wochentagen liegen. An den beiden Frankfurter Stationen sind dagegen auch im Sommer die Ozonwerte an den Wochenenden noch erheblich höher als an den Wochentagen (8.2% für die Ozon-Maxima und 13.0% für die Ozon-Mittelwerte).

3.1.6 Hohe Ozonbelastungen im August 1998 bei einer extremen Wetterlage

Im August 1998 trat eine sehr intensive Ozonepisode auf, die erstmals zu Fahrverboten auf der Grundlage des deutschen Ozongesetzes führte. Das Ozongesetz vom 19.7.1995 sieht Fahrverbote für hoch emittierende Kraftfahrzeuge vor, wenn an mindestens drei Messstationen im Bundesgebiet, die mehr als 50 km und weniger als 250 km voneinander entfernt sind, ein Stundenmittelwert von 240 $\mu g/m^3$ erreicht wird und dieser Wert auch am nächsten Tag im Bereich dieser Messstationen zu erwarten ist.

Die Bedingungen zur Auslösung von Verkehrsverboten waren am 11. August 1998 in den Ländern Baden-Württemberg, Hessen, Saarland und Rheinland-Pfalz erfüllt. In diesen Ländern wurden für den 12. August 1998 Fahrverbote verhängt.

Die Abbildung 28 und Abbildung 29 zeigen die Ozonmessstationen, an denen am 11. und 12. August Ozon-Stundenwerte von 240 $\mu g/m^3$ überschritten worden sind. Die Smogepisode begann sich am 6. August über Südwestdeutschland zu entwickeln und erreichte am 11./12. August 1998 ihren Höhepunkt. Ab dem 6. August verstärkte sich über Mitteleuropa eine Hochdruckbrücke, unter deren Einfluss die Sonne an den Folgetagen ungehindert einstrahlen konnte. Bedingt durch das Zusammenwirken von großräumigem Absinken und Warmluftadvektion aus Südwesteuropa kam es am 11./12. August zu einer extremen Aufheizung der bodennahen Luftschichten (bis etwa 3 km Höhe). An vielen Stationen des Deutschen Wetterdienstes wurden Höchsttemperaturen gemessen, die über den seit Beginn der Messungen in der jeweiligen Monatsdekade aufgetretenen Rekordwerten lagen *(Ref. 46)*.

Abbildung 30 zeigt die Gebiete mit Rekordtemperaturen, dargestellt durch Quadrate. Die Temperaturrekorde wurden zunächst am 9. und 10. August an Stationen in Süddeutschland gebrochen, am 11. und 12. August weitete sich dieses Gebiet nordostwärts bis zum Harz und Erzgebirge aus. Die Rekordwerte wurden nicht nur an einem Tag, sondern meistens an zwei, an einer Station sogar an 4 aufeinander folgenden Tagen gemessen.

Abbildung 31 zeigt die von Tag zu Tag fortschreitende Erwärmung der Grundschicht zwischen dem 6. und 12. August am Beispiel der vertikalen Temperaturverteilung von Stuttgart. Parallel dazu nahmen die Ozon-Konzentrationen von Tag zu Tag zu, bis sie am 11./12. August Maximalwerte bis 287 $\mu g/m^3$ erreichten. Der Wetterumschwung am 13. August setzte der Ozonepisode ein Ende.

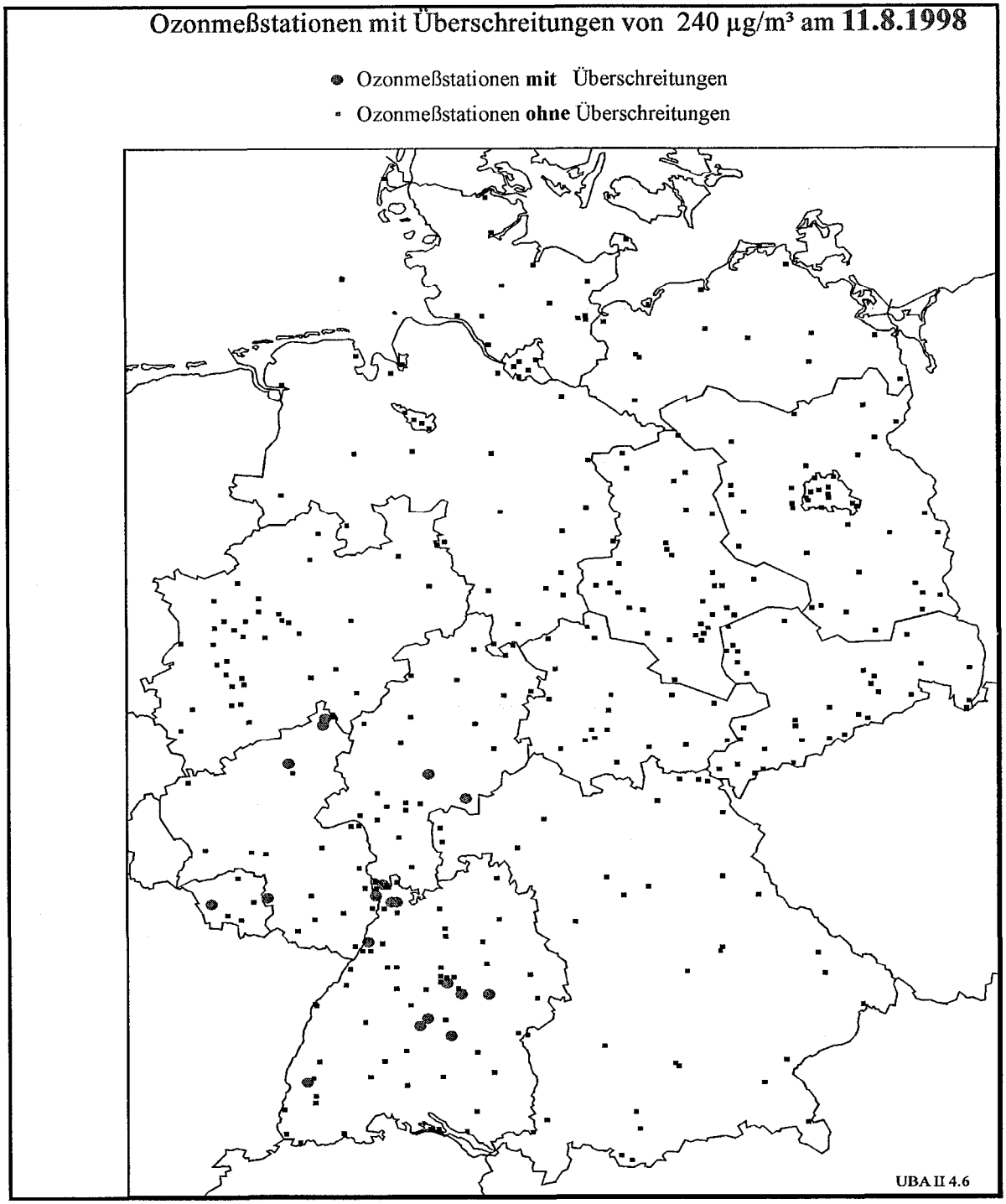


Abbildung 28: Ozon-Messstationen mit Überschreitungen von 240 µg/m³ Ozon (Stundenwerte) am 11. August 1998, Quelle: UBA (1998)

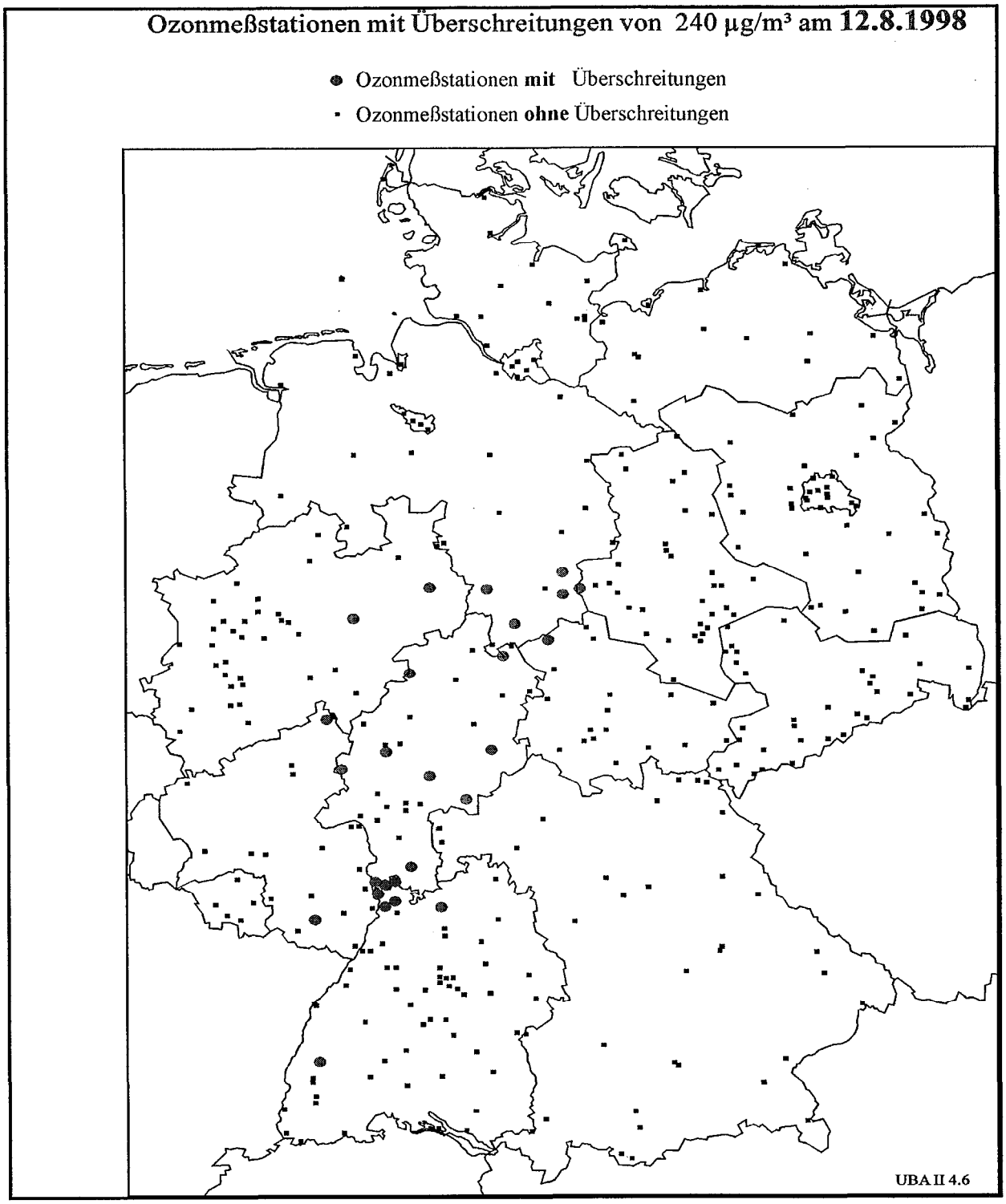


Abbildung 29: Ozon-Messstationen mit Überschreitungen von 240 µg/m³ Ozon (Stundenwerte) am 12. August 1998, Quelle: UBA (1998)

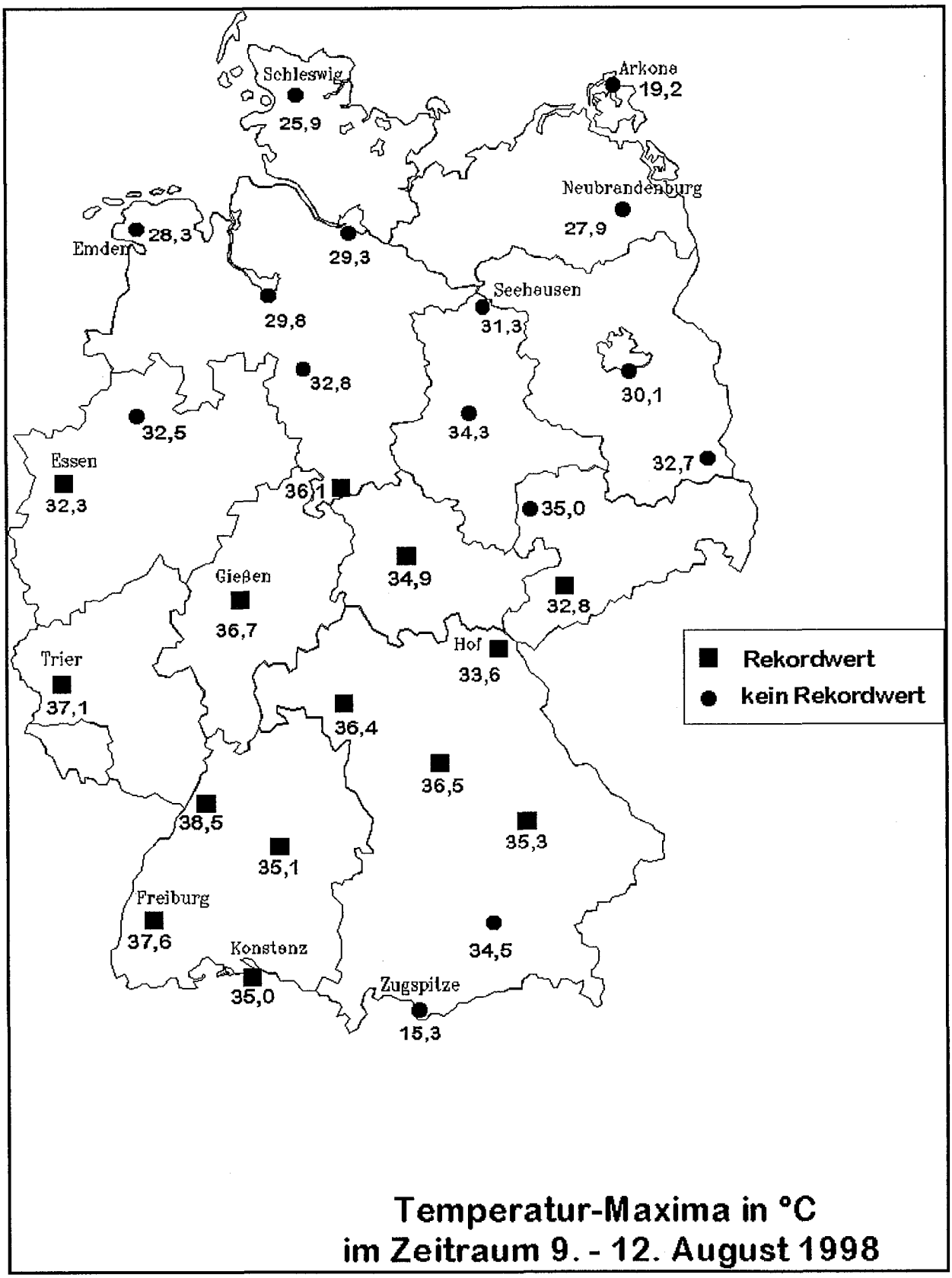


Abbildung 30: Temperatur-Maxima in °C im Zeitraum 9. bis 12. August 1998. Die Temperaturen beziehen sich auf die jeweilige Monatsdekade. Quelle: DWD (1998)

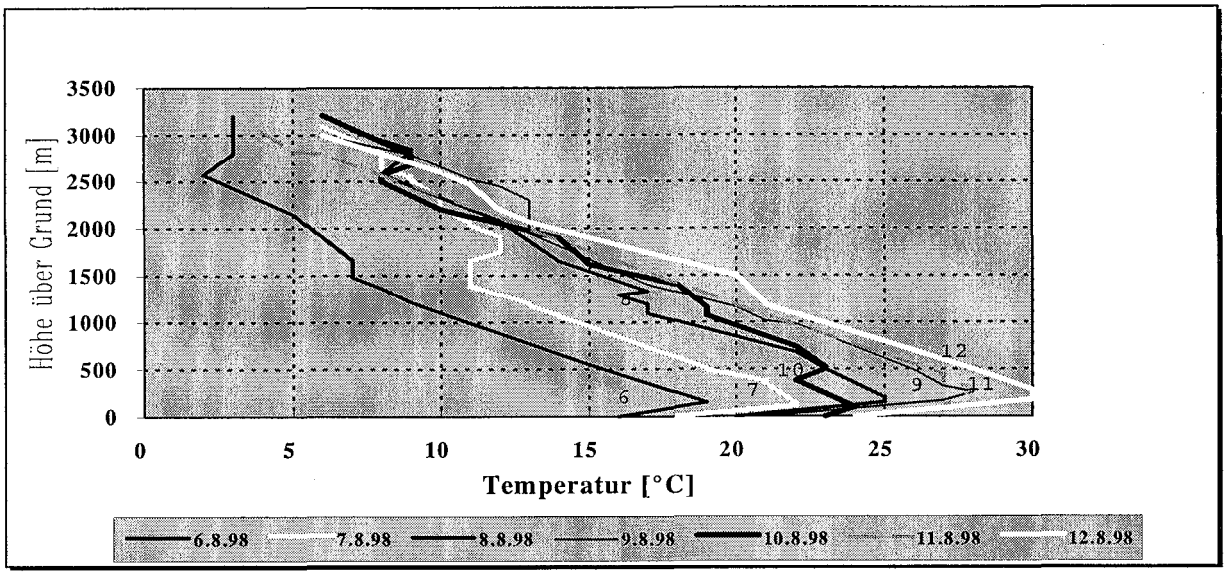


Abbildung 31: Erwärmung der atmosphärischen Grundschicht zwischen dem 6. und 12. August 1998 am Beispiel der Temperaturprofile über Stuttgart, 0 Uhr UTC.

3.1.7 Literatur

(1) *Fiedler,F. (1985)*
Erfassung der Ausbreitung und der Konzentration von Luftschadstoffen. In: Waldschäden-Theorie und Praxis auf der Suche nach Antworten (S.307-334); R.Oldenbourg Verlag, München Wien 1985. Herausgeber: G.v.Kortzfleisch.

(2) *Gravenhorst, G. (1985)*
Natural contribution to the NO emissions into the atmosphere over West Germany. In: Proceedings of CEC workshop on Pollutant Cycles, Transport, Modelling and Field Experiments COST 611, Bilthoven, NL, 23-25 Sept.1985, pp.6-19.

(3) *CEC Air Pollution Research Report 10 (1987)*
Evaluation of atmospheric processes leading to acid deposition in Europe. Authors: Hov, O.; Allegrini, J; Beilke,S.; Cox, R.A.; Eliassen,A.; Elshout,A.J.; Gravenhorst,G.; Penkett,S.A. and Stern,R.

(4) *NABEL-Bericht (1995)*
Bericht des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Schriftenreihe Umwelt Nr.244, Luft, NABEL, Luftbelastung 1994; Herausgeber: BUWAL, Bern, Schweiz.

(5) *Stohl, A.; Williams,E.; Wotawa,G. and Kromp-Kolb,H. (1996)*
A European inventory of soil nitric oxide emissions and the effect of these emissions on the photochemical formation of ozone. Atm.Environment 30, No.22, pp.3741-3755.

(6) *Proceedings: 5. US-German Workshop on Photochemical Ozone Problem and Its Control, Berlin, 24-27 Sept.1996. Editor: Becker,K.H.*

(7) *Friedrich, R. (1998)*
Anthropogene Emissionen, BMBF-Statusseminar des Förderschwerpunktes "Troposphärenforschung", 2.-4. Dezember 1998, Mainz.

(8) *Steinbrecher, R. (1998)*
Biogene Emissionen, BMBF-Statusseminar des Förderschwerpunktes "Troposphärenforschung", 2.-4. Dezember 1998, Mainz

(9) *UBA (1996)*
Ozonsituation 1994 in der Bundesrepublik Deutschland, 143 Seiten

(10) *UBA (1999)*
Gesamtemissionen NO_x und VOC in Deutschland zwischen 1990 und 1997. Die Emissionsdaten für 1994 bis 1997 sind vorläufig. Quelle: UBA, Februar 1999

(11) *UBA (1997)*
Ozonsituation 1995 in der Bundesrepublik Deutschland. Herausgeber: Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, 14191 Berlin

(12) *Umweltbundesamt Wien (1996)*
Bodennahes Ozon in Österreich (UBA-BE-063), Wien, Mai 1996, Autoren: R.Baumann; E.Grösslinger; K.Radunski; J.Schneider; und W.Spangl.

(13) *Lelieveld,J. and van Dorland,R. (1995)*
Ozone Chemistry Changes in the Troposphere and Consequent Radiative Forcing on Climate. NATO ASI Series, Vol.I 32, pp.227-258. Atmospheric Ozone as a Climate Gas. Edited by Wei-Chyung Wang and I.S.A. Isaksen, Springer Berlin - Heidelberg, 1995.

(14) *BUWAL (1995)*
Ozonsommer 1995: früher Start-abruptes Ende. Pressemitteilung vom 17.Oktober 1995, Bern, Schweiz.

(15) *Hov,O.; Flatoy,F. and Strand,A. (1996)*
Changes in tropospheric ozone over Europe and the role of surface sources and aircraft emissions. In: Proceedings of EMEP Workshop on the Control of Photochemical Oxidants over Europe, 24-27 Oct. 1995, St. Gall (Switzerland), Env. Doc. Nr. 47 Air, pp.97-106. Published by: Federal Office of Environment, Forests and Landscape, Berne, 1996. Ed.:R.Ballaman and P.Filliger.

(16) *Fricke,W. (1991)*
Weiträumige Ozon-Konzentrationsverteilung in Mitteleuropa. In: Proceedings Ozon-Symposium München, 2.-4. Juli 1991. Herausgeber: TÜV Akademie Bayern/Hessen GmbH, München.

(17) Smit,H.G.J.; Gilge,S. and Kley,D. (1989)
The meridional distribution of ozone and water vapor over the Atlantic Ocean between 30° S and 52°N in September/October 1988. In: Proceedings Symposium on Physico-Chem.Behaviour of Atm.Pollutants. Varese, Italy, 25.-28. Sept.1989, pp.630-637. CEC Air Pollution Research report 23.

(18) Marenco,A. and Said,F. (1989)
Meridional and vertical ozone distribution in the background troposphere (70°N-60°S; 0-12 km altitude) from scientific aircraft measurements during the STRATOZ III experiment (June 1984).Atm.Env., Vol.23, No.1, pp.201-214

(19) Marenco,A.(1988)
Large scale distribution of O_3, CO and CH_4 in the troposphere from scientific aircraft measurements. In: Tropospheric Ozone, pp.73-81, Reidel, Ed.: J.S.A.Isaksen

(20) Derwent,R.G. and Kay,P.J.A.(1987)
Factors influencing the ground level distribution of ozone in Europe. In: CEC Air Pollution Research Report 6, Pollution Climates in Europe and their perception by terrestrial ecosystems. EUR 11432 EN, pp.24-55.

(21) Crutzen,P. (1988)
Tropospheric Ozone: An Overview. In: Tropospheric Ozone, Editor: J.S.Isaksen, pp.3-35, 1988.

(22) Follows,M.J. and Austin,J.F. (1992)
A Zonal Average Model of the Stratospheric Contributions to the Tropospheric Ozone Budget. Journ.of Geoph.Res., Vol.97, No.D16, pp.18047-18060, Nov. 20, 1992.

(23) Stick,C.; Beilke,S.; Adolphsen, A.; Hundhausen,E.; Pielke,L. und K.Uhse (1998)
Die lufthygienische Charakterisierung des Seeklimas an der deutschen Nordseeküste. Physikalische Medizin Rehabilitationsmedizin-Kurortmedizin 8, (1998), 75-83, Georg Thieme Verlag Stuttgart-New York.

(24) Sandroni,S.; Anfossi,D. and Viarengo,S. (1992)
Surface ozone levels at the end of the nineteenth century in South America. Journal geoph. Res., Vol.97, No.D2, pp.2535-2539, Feb. 20, 1992.

(25) Beilke,S.; Fricke,W. and van Königslöw,M.O. (1991)
Aircraft measurements of large scale ozone concentrations over central Europe in summer 1990. In: Proceedings of COST 611/Eurotrac Workshop, Delft, NL, 28-30 Oct.1991. CEC Air Pollution Research Report 39, pp.63-76.

(26) Beilke,S. (1991)
Meteorologische Voraussetzungen für die Bildung von Ozon und Sommersmog.In: Proceedings Ozon-Symposium München, 2.-4. Juli 1991, Herausgeber: TÜV Akademie Bayern/Hessen GmbH München.

(27) Lelieveld, J. (1998) persönliche Mitteilung

(28) Winkler,P. (1988)
Surface Ozone over the Atlantic Ocean, Journal of Atm. Chemistry 7, pp.73-91.

(29) Derwent,R.G.; Simmonds,P.G. and Collins,W.J. (1994)
Ozone and carbon monoxide measured at a remote maritime location, Mace Head, Ireland, from 1990-1992. Atm.Environment, Vol.28, pp.2623-2637, 1994.

(30) Sandroni,S. and Anfossi,D. (1995)
Trend of ozone in the free troposphere above Europe. Il Nuovo Cimento, Vol.18c, No.5, Sept.-Oct.1995, pp. 497-503.

(31) Volz,A. and Kley,D. (1988)
Evaluation of the Montsouris series of ozone measurements made in the nineteenth century. Nature 332, pp.240-242.

(32) Bojkov, R.D. (1986)
Surface Ozone During the Second Half of the Nineteenth Century. Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol.25, pp.343-352.

(33) Logan,J. (1985)
Tropospheric Ozone: Seasonal Behaviour, Trends and Anthropogenic Influence. Journal of Geoph.Research, Vol.90; No.D6, pp.10463-10482.

(34) Penkett,S.A. (1988)
Indications and causes of ozone increase in the troposphere.In: The Changing Atmosphere, pp.91-103. John Wiley, New York. Editors: F.S.Rowland and J.S.A.Isaksen.

(35) Gerbig,C.; Kley,D.; Volz-Thomas,A.; Mc Kenna,D.S.; Hord,C.J.; Kent,J.; Dewey,K.; Penkett,S.A. and Bandy,B.J. (1997)
Analysis of airborne measurements made during the OCTA campaigns. In: Proceedings of 7th European symposium on physico-chemical behaviour of atmospheric pollutants, The oxidizing capacity of the troposphere, Venice, Italy, 2-4 October 1996, pp.237-249.

(36) Builtjes,P. (1997), persönliche Mitteilung

(37) Müller,W.J. und Hoff,A. (1991)
Fluggestützte Messungen zur Luftschadstofferfassung in Niedersachsen-FLUMEN. Abschlussbericht eines Vorhabens im Auftrag von Umweltministerium und Landesamt für Immissionsschutz, Hannover.

(38) BUWAL-Bericht (1994)
Bericht des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft: Sommersmog-Messflüge 1990 bis 1992, Umwelt-Materialien, Nr 24, Luft, Bern, Schweiz.

(39) Proceedings: Ozon-Symposium München (1991)
2.-4.Juli 1991, Herausgeber:TÜV Akademie Bayern/Hessen.

(40) Enke,W.(1999)
Analyse historischer Ozonzeitreihen und Entwicklung einer Methode zur quasi-wetterbereinigten Trendanalyse von bodennahem Ozon" UBA- Forschungsvorhaben Nr.104 02 131

(41) Beilke,S. (1999)
Entwicklung der Ozonbelastung in Deutschland in den letzten zehn Jahren-Zusammenhänge mit der Veränderung der Emissionssituation. Vortrag gehalten auf 6.Sitzung des DECHEMA/GDCh/DBG-Gemeinschaftsausschusses "Chemie der Atmosphäre", Frankfurt a.M., 5. Februar 1999.

(42) UBA (1997)
Aktionsprogramm und Maßnahmeplan Ozon (Sommersmog). Ermittlung und Bewertung der Effekte von lokalen, regionalen und überregionalen Emissionsminderungs - Strategien auf bodennahe Ozon-Konzentrationen in hochsommerlichen Episoden mit Hilfe modellgestützter emissions- und immissionsseitiger Wirkungsanalysen. UBA-Forschungsvorhaben Nr.104 02 812/01. G.Motz; A.Hartmann; E.Plinke (Prognos AG, Basel), R.Stern; B.Scherer; J.Fath; E.Reimer (FU Berlin), M.Memmesheimer; J.Tippke; A.Ebel (Uni Köln).

(43) UBA (1998)
Kurzbericht Ozonsituation 1998 in der Bundesrepublik Deutschland, Sept.1998.

(44) Oltmans, S.J. et al. (1998)
Trends of ozone in the troposphere, Geoph.Research Letters, Vol.25, No.2, pp.139-142, Jan. 15, 1998.

(45) Lelieveld, J. and Thompson,A.M. (1999)
Tropospheric Ozone and Related Processes, Chapter 8 Erscheint in: Scientific Assessment of Atmospheric Ozone, WMO, 1999.

(46) Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes, Nr 218 bis 225 (1198)

(47) *Brönnimann und Neu, (1997)*
Weekend-weekday differences of near-surface ozone concentrations in Switzerland for different meteorological conditions.Atm.Env.31, 8, pp.1127-1135

(48) Neftel, A. and Staffelbach,T. (1998)
The changeover from VOC to NO_x limited ozone production - can it really be defined? Proceedings of EUROTRAC Symposium 1998, Garmisch-Partenkirchen, 23rd-27th March 1998, Editors: Patricia M. Borell and Peter Borell, WIT Press, Poston

3.2 Saurer Regen in Deutschland zwischen 1982 und 1998

3.2.1 Einleitung

In Mitteleuropa trägt die nasse Deposition durch Regen und Nebelniederschlag in erheblichem Maße zur Beseitigung von Luftschadstoffen aus der Atmosphäre bei. Die chemische Zusammensetzung des in Zentraleuropa überwiegend sauren Niederschlags wird durch eine Vielzahl von gas-und partikelförmigen Substanzen bestimmt. In weiten Gebieten Mitteleuropas tragen vor allem SO_2, NO_x und NH_3 sowie deren Folgeprodukte zu den sauren Niederschlägen bei. Dagegen spielen VOC, HCl, CO, CH_4 sowie andere Stoffe eine geringere Rolle.

Seit Beginn der 80er Jahre sind die Emissionen von Schwefeldioxid in Deutschland drastisch reduziert worden, zuerst im Westen infolge der Verordnungen über Großfeuerungsanlagen von 1983, seit 1990 auch in den neuen Bundesländern. Entsprechende SO_2-Minderungen wie in den alten Bundesländern erfolgten auch in den meisten Ländern Westeuropas *(Ref. 1)*. Ähnlich wie beim SO_2 wurden im gleichen Zeitraum auch die Staubemissionen reduziert, seit 1990 auch in den neuen Bundesländern *(Ref. 2)*. Verglichen mit SO_2 und Staub wurden die Emissionen von NO_x und NH_3 in geringerem Maße vermindert (Abbildung 33).

So wurden beispielsweise in Deutschland (West und Ost) bis 1997 die Emissionen von Schwefeldioxid und Staub um ca. 80%, NO_x um ca. 40% und NH_3 um ca. 20% reduziert, jeweils bezogen auf die Emissionen im Jahre 1982 (Abbildung 33, *Ref. 2; 3)*.

Vor diesem Hintergrund interessiert vor allem die Frage, welche Auswirkungen die erheblichen Emissionsreduzierungen auf die Konzentrationen und Depositionen der entsprechenden Ionen im Regenwasser gehabt haben. Im vorliegenden Bericht werden die Änderungen der Konzentrationen und Depositionen beispielhaft für die 8 in ländlichen Gebieten gelegenen Messstationen des Umweltbundesamtes gezeigt. Für die 5 Stationen in den alten Bundesländern (Westerland/Sylt, Waldhof/Lüneburger Heide, Deuselbach/ Hunsrück, Schauinsland/ Schwarzwald und Brotjacklriegel/Bayerischer Wald) umfasst der Bericht den Zeitraum von 1982 bis 1998, für die 3 Stationen in den neuen Bundesländern (Zingst/Ostseeküste, Neuglobsow/Mecklenburger Seenplatte und Schmücke/Thüringer Wald) die Jahre 1992 bis 1998. Abbildung 32 zeigt die Lage der 8 Niederschlagsmessstationen des Umweltbundesamtes und Tabelle 87 die Entfernungen der Messstellen untereinander.

Im vorliegenden Bericht werden die Konzentrationen und Depositionen von Sulfat, Nitrat, Ammonium, Chlorid, Natrium, Kalium, Calcium und Magnesium sowie pH-Werte, Leitfähigkeit und Niederschlagsmengen und deren Trends dargestellt. Da belastbare Trendaussagen eine Konsistenz von Probenahme und Analytik erfordern, wurde hierauf besonderer Wert gelegt. Außerdem wurden die Daten einer eingehenden Qualitätskontrolle unterzogen. Eine ausführliche Beschreibung der Verfahren zur Probenahme und Analytik sowie der eingehenden Qualitätsprüfungen ist in einem früheren Bericht zu finden *(Ref. 4)*.

Messgröße	Kürzel	Einheit	Bedeutung und Ursprung
Niederschlagsmenge		mm	gemessener Niederschlag, entspricht Liter/m^2
Niederschlagsintensität		mm/Std.	Maß für Niederschlagsmenge pro Zeit; zur Berechnung siehe Abschnitt 2.2
pH-Wert	pH		negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration, gängiges Maß für den Säuregehalt des Niederschlags
Wasserstoffionenkonz.	H^+	µg/l	Maß für Säuregehalt des Niederschlags
Leitfähigkeit		µS/cm	Kontrollgröße für Qualitätsprüfung der Ionenanalysen, Maß für gesamten Ionengehalt einer Probe
Ammonium	NH_4^+	mg/l	wichtiges Kation im Niederschlag (außer an der Küste), trägt aber z.B. wegen Nitrifizierung zur Bodenversauerung bei, vor allem aus der Landwirtschaft
Natrium	Na^+	mg/l	aus Seesalz
Kalium	K^+	mg/l	aus Biosphäre, Seesalz
Calcium	Ca^{++}	mg/l	aus Boden, Industriestäuben und Seesalz
Magnesium	Mg^{++}	mg/l	aus Seesalz und Boden
Sulfat	$SO_4^=$	mg/l	aus Seesalz und Oxidationsprodukt von Schwefeldioxid
Sulfat seesalzkorrigiert	$SO_4^=$ seesalzkorr.	mg/l	geschätzter anthropogener Anteil am Sulfat nach Abzug des Seesalzanteils
Nitrat	NO_3^-	mg/l	Oxidationsprodukt von Stickoxiden aus Verbrennungsprozessen und Düngemitteln
Chlorid	Cl^-	mg/l	vor allem aus Seesalz, auch von Verbrennungsprozessen (HCl)

Tabelle 86: Erklärungen der Messgrößen der Niederschlagsmessungen

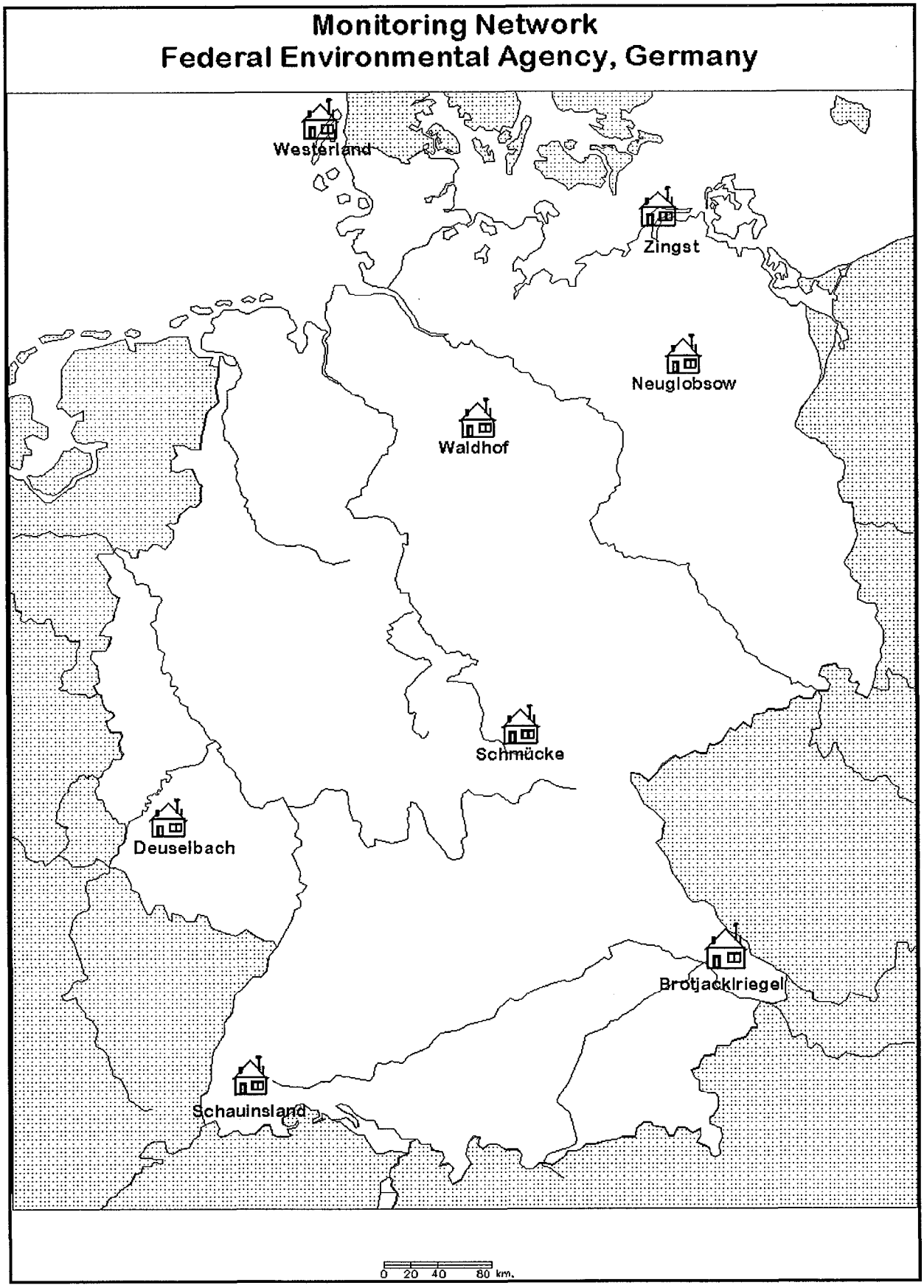


Abbildung 32: Lage der Niederschlags-Messstellen im Messnetz des UBA

	Brotjackl.	Deuselb.	Schauinsl.	Waldhof	Westerl.	Neuglobs.	Zingst	Schmücke
Brotjacklr.	-	-	-	-	-	-	-	-
Deuselbach	459	-	-	-	-	-	-	-
Schauinsland	404	215	-	-	-	-	-	-
Waldhof	475	425	579	-	-	-	-	-
Westerland	758	580	780	286	-	-	-	-
Neuglobsow	484	560	686	157	365	-	-	-
Zingst	647	665	818	241	285	164	-	-
Schmücke	269	282	367	239	504	320	462	-

Tabelle 87: Entfernungen der Messstellen zueinander in Kilometern

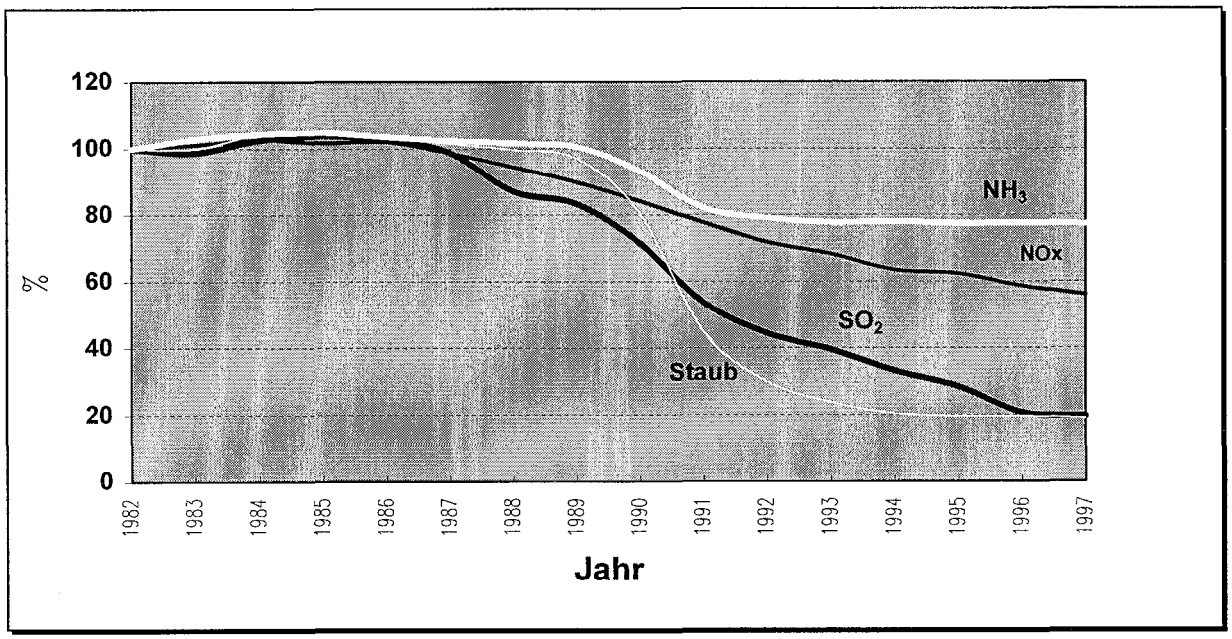


Abbildung 33: Entwicklung der Emissionen von Staub, SO_2, NO_x und NH_3 in Deutschland (West und Ost) zwischen 1982 und 1997. Die Emissionen betrugen 1982: 2518 kt Staub, 7440 kt SO_2, 3219 kt NO_x (als NO_2) und 817 kt NH_3. *Quelle: UBA (1998 und 1999, Ref. 2; 3),* vorläufige Werte für 1997.

3.2.2 Räumliche Verteilung der Konzentrationen und Depositionen der Ionen im Niederschlag

Die mittleren Konzentrationen und Depositionen der Niederschlagsinhaltsstoffe an den Messstellen des UBA zeigen deutliche regionale Unterschiede, die im Wesentlichen auf orographische sowie meteorologisch-klimatologische Faktoren (z.B. Einfluss des Meeres, hohe jährliche Regenmengen an Bergstationen etc.) zurückzuführen sind. Dies gilt gleichermaßen für die Stationen in den alten und neuen Bundesländern. Im Mittel fällt an den Stationen an etwa 35 bis 45% aller Tage Niederschlag.

Wegen des dominierenden maritimen Einflusses an der Nordseestation Westerland ist dort die Leitfähigkeit im Niederschlag um einen Faktor 2 bis 4 höher als an den kontinentalen Stationen Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjacklriegel. Die Konzentrationen und Depositionen der Seesalzbestandteile Natrium, Magnesium und Chlorid liegen um etwa eine Größenordnung über den entsprechenden Werten der anderen Stationen. Der maritime Einfluss an der Ostsee-Station Zingst ist dagegen deutlich geringer als in Westerland, die Station Zingst ist stark kontinental beeinflusst.

Bei den Ionen Kalium und Calcium, die neben maritimen auch erhebliche kontinentale Emissionsquellen aufweisen, liegen die Konzentrationen in Westerland um den Faktor 2 bis 3 höher als an den Inlandstationen Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjacklriegel.

Für die überwiegend aus kontinentalen Quellen stammenden Ionen Sulfat (ohne Seesalzanteil), Ammonium und Nitrat wurden etwa vergleichbare Konzentrationen an allen 8 Stationen gefunden.

Die höchsten nassen Depositionen von Sulfat (ohne Seesalzanteil), Nitrat und Ammonium werden wegen der vergleichsweise hohen jährlichen Regenmengen an den Bergstationen Schauinsland, Brotjacklriegel und Schmücke beobachtet.

In Tabelle 88 sind die Mittelwerte für Niederschlagshöhen, Konzentrationen und Depositionen von Niederschlagsinhaltstoffen an den 8 Messstellen des Umweltbundesamtes für 1998 zusammengestellt. Eine Erläuterung der Messgrößen ist in Tabelle 86 zu finden.

Station	
WE	ZG
WA	NG
DE	SM
SC	BR

pH	
4.81	4.96
5.08	4.73
4.75	4.62
4.88	4.83

Leitfähigkeit	
73	25
18	22
16	18
13	15

NH_4^+	Konz.
0.68	0.70
0.81	0.94
0.52	0.68
0.51	0.79

Na^+	Konz.
7.63	1.05
0.43	0.39
0.33	0.26
0.24	0.18

K^+	Konz.
0.31	0.14
0.12	0.11
0.07	0.07
0.08	0.13

Ca^{++}	Konz.
0.73	0.68
0.51	0.36
0.37	0.14
0.27	0.28

Mg^{++}	Konz.
0.93	0.22
0.13	0.07
0.08	0.04
0.05	0.04

Cl^-	Konz.
14.48	1.94
0.83	0.74
0.66	0.45
0.40	0.29

$SO_4^=$	Konz.
3.82	2.60
1.92	2.13
1.58	1.64
1.39	1.63

NO_3^-	Konz.
2.67	2.53
2.53	2.52
1.85	2.18
1.56	2.28

Niederschlagsmenge	
836	659
772	542
760	1503
1727	1036

H^+	Depo.
13	7
6	10
13	36
23	15

NH_4^+	Depo.
571	462
624	509
398	1023
879	823

Na^+	Depo.
6385	695
333	211
252	390
410	183

K^+	Depo.
261	90
90	62
50	110
140	137

Ca^{++}	Depo.
609	449
391	194
284	204
467	288

Mg^{++}	Depo.
775	147
102	38
62	61
91	37

Cl^-	Depo.
12109	1276
642	404
501	680
697	299

$SO_4^=$	Depo.
3195	1712
1483	1152
1204	2460
2397	1689

NO_3^-	Depo.
2233	1665
1955	1365
1410	3279
2686	2358

Tabelle 88: Mittelwerte für Niederschlagshöhen, Konzentrationen und Depositionen von Niederschlagsinhaltsstoffen für 1998 an den 8 personell besetzten Messstellen des Umweltbundesamtes. Einheiten: Leitfähigkeit in µS/cm, Konzentrationen in mg/Liter, Depositionen in mg/m², Niederschlagsmengen in mm (entspricht Liter/m²)

3.2.3 Trend der Konzentrationen und Deposition der Ionen im Niederschlag

3.2.3.1 Konzentrationen

Die in diesem Abschnitt diskutierten Trends der Jahreswerte von Konzentrationen und Depositionen sind auf der Basis von linearen Regressionen für jede Station und Komponente einzeln berechnet worden.

Die pH-Werte im Niederschlag zeigen an den 5 Stationen in den alten Bundesländern einen deutlichen Anstieg von pH 4.1-4.6 im Jahre 1982 auf pH 4.8-5.1 im Jahr 1998 (Abbildung 34). 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. Wie in Tabelle 2a zu sehen ist, erfolgte der stärkste Rückgang der Konzentrationen der Wasserstoffionen (H^+) in Deuselbach (um ca. 86%), gefolgt von Waldhof (um ca. 82%), Brotjacklriegel (um ca. 59%), Westerland (um ca. 58%) und Schauinsland (um ca. 44%). Obwohl die Zeitspanne von nur 6 Jahren für die 3 Stationen in den neuen Bundesländern erheblich kürzer ist als der Untersuchungszeitraum von 17 Jahren für die 5 Stationen in den alten Bundesländern, ist eine Zunahme der pH-Werte auch an den neuen Stationen nicht zu übersehen (Abbildung 34).

Parallel zum Anstieg der pH-Werte hat der Gesamtgehalt an Ionen und damit die spezifische Leitfähigkeit im Niederschlag zwischen 1982 und 1998 an den Stationen in den alten Bundesländern - mit Ausnahme von Westerland, wo nur ein schwacher Rückgang beobachtet wurde - deutlich abgenommen (Abbildung 35). In Westerland wird der Gesamtgehalt an Ionen im Niederschlag weitgehend vom Seesalz bestimmt, dessen Beitrag zwar aufgrund meteorologischer Einflüsse von Jahr zu Jahr starken Schwankungen unterworfen ist, der aber keinen Langzeittrend aufweist. Für die 3 Stationen in den neuen Bundesländern ist zwischen 1993 und 1998 eine Abnahme ebenfalls erkennbar. Der Rückgang der Leitfähigkeit und die Zunahme der pH-Werte zwischen 1982 und 1998 an den 5 Stationen in den alten Bundesländern wird von einer Abnahme einer Reihe anderer Ionen als H^+ begleitet. Der stärkste Rückgang wurde bei Sulfat beobachtet, während die Abnahme von Nitrat und Ammonium weniger ausgeprägt war.

Wie aus Tabelle 89 sowie Abbildung 36a-d ersichtlich ist, verminderte sich beispielsweise die Konzentration von Sulfat im Niederschlag im Zeitraum von 1982 bis 1998 um 40% (Schauinsland) bis 63% (Brotjacklriegel). Die entsprechende Abnahme der Nitrat-Konzentrationen lag zwischen 1% (Schauinsland) und 31% (Brotjacklriegel). Beim Ammonium nahm die Konzentration am Schauinsland um 1% zu, an den anderen 4 Stationen nahmen die Konzentrationen im Regen um 21% (Deuselbach) bis 32% (Westerland) ab. Bezüglich der Langzeittrends von Kalium, Calcium, Magnesium, Natrium und Chlorid wurden nur geringe und nicht einheitliche Änderungen der Konzentrationen beobachtet. Generell sind die Variationen der jährlichen Konzentrationen dieser Ionen größer und ihre räumliche Verteilung weniger homogen als bei Sulfat, Nitrat und Ammonium. Ein wesentlicher Grund für diese Unterschiede liegt darin, dass die Ionen Sulfat, Nitrat und Ammonium im Gegensatz zu Kalium, Calcium, Magnesium, Natrium und Chlorid weitgehend kontinentalen Ursprungs sind.

Die Abnahme des Gesamtgehaltes an Ionen im Regen während der letzten zwei Jahrzehnte ist verbunden mit einer Änderung der relativen Ionenverteilung. Ein Vergleich der prozentualen Ionenverteilung im Jahre 1998 mit der im Jahre 1984 zeigt für die kontinentalen Stationen Deuselbach, Waldhof, Schauinsland und Brotjacklriegel neben geringeren Gesamtionenkonzentrationen im Jahre 1998 auch eine Verschiebung der prozentualen Anteile fast aller Ionen. In Abbildung 37 sind die prozentualen Anteile der Ionenäquivalente für die Jahre 1984 und 1998 als gewichtete Mittel über die 4 kontinentalen Stationen Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjacklriegel dargestellt.

Im Jahre 1998 waren die prozentualen Anteile von H^+ und $SO_4^=$ geringer, die relativen Äquivalentkonzentrationen von NO_3^- und NH_4^+ dagegen höher als 1984 obwohl deren Absolutkonzentrationen ebenfalls abgenommen haben. Die niedrigeren Gesamt-Ionenkonzentrationen und die Verschiebung der relativen Ionenverteilung sind im Wesentlichen auf die stärkere Reduktion der Emissionen von SO_2 gegenüber NO_x und NH_3 zurückzuführen. In Westerland wurde eine entsprechende Abnahme der Gesamt-Ionenkonzentration sowie eine Verschiebung der relativen Ionen-Äquivalente wegen der Dominanz von Seesalzkomponenten nicht beobachtet.

An den meisten Stationen zeigen die aus kontinentalen Quellen stammenden Ionen Sulfat, Nitrat und Ammonium einen ausgeprägten Jahresgang mit maximalen Konzentrationen im Frühjahr. Das Frühjahrsmaximum wird sehr wahrscheinlich durch das Zusammenwirken verschiedener Effekte wie geringe Regenmengen (wirkt konzentrationserhöhend für $SO_4^=$, NO_3^- und NH_4^+), bereits hohe photochemische Aktivität der Atmosphäre (betrifft $SO_4^=$ und NO_3^-) sowie verstärkte Düngung (NH_4^+) in dieser Jahreszeit hervorgerufen *(Ref. 5; 6)*. Die typischen Seesalz-Komponenten Natrium, Magnesium und teilweise Chlorid weisen maximale Konzentrationen im Winter und minimale Konzentrationen im Sommer auf. Die winterlichen Maxima werden durch die größere Häufigkeit von Wetterlagen mit hohen Windgeschwindigkeiten in dieser Jahreszeit und den damit verbundenen höheren Emissionen von Seesalz verursacht.

	Westerland	Waldhof	Deuselbach	Brotjacklr.	Schauinsl.	Mittelwert
H^+	-58%	-82%	-86%	-59%	-44%	-66%
Sufat korr.	-43%	-56%	-59%	-63%	-40%	-52%
Ammonium	-32%	-26%	-21%	-26%	1%	-21%
Nitrat	-17%	-23%	-28%	-31%	-1%	-20%

Tabelle 89: Änderung der Konzentrationen im Niederschlag zwischen 1982 und 1998 für die 5 Messstellen in den alten Bundesländern

	Westerland	Waldhof	Deuselbach	Brotjacklr.	Schauinsl.	Mittelwert
H^+	-57%	-82%	-85%	-55%	-62%	-68%
Sufat korr.	-43%	-56%	-60%	-61%	-45%	-53%
Ammonium	-31%	-24%	-26%	-31%	6%	-21%
Nitrat	-15%	-19%	-34%	-28%	-14%	-22%

Tabelle 90: Änderung der Depositionen im Niederschlag zwischen 1982 und 1998 für die 5 Messstellen in den alten Bundesländern

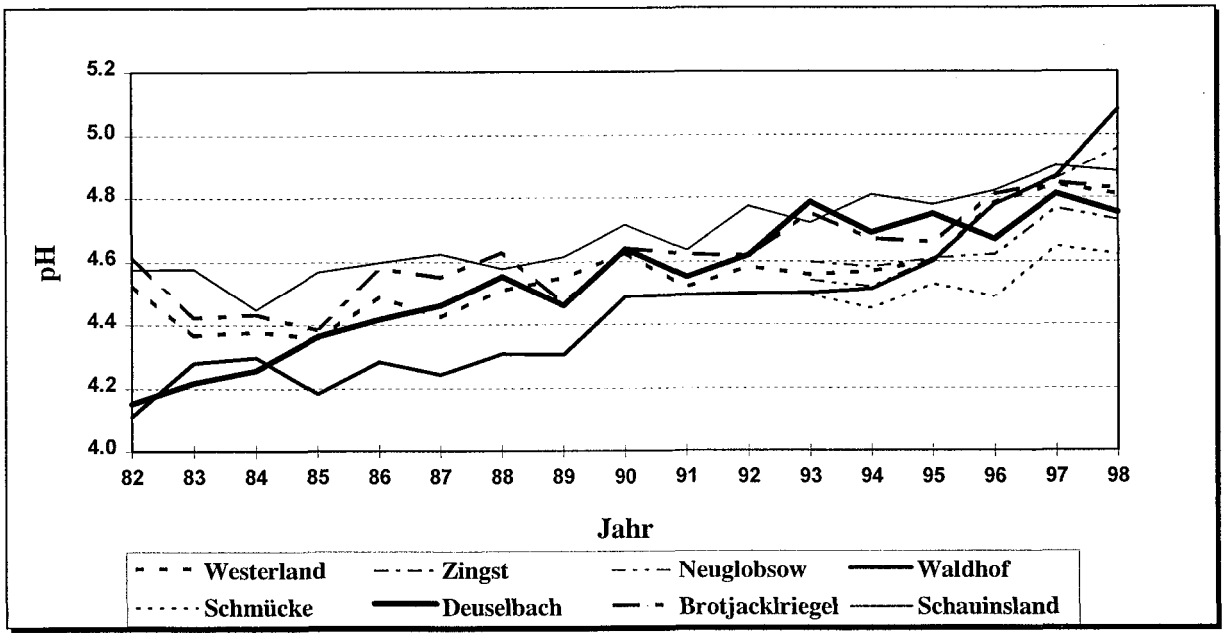


Abbildung 34: Änderung der Jahresmittel des pH-Wertes im Niederschlag zwischen 1982 und 1998 (5 Stationen, alte Bundesländer) bzw. zwischen 1993 und 1998 (3 Stationen, neue Bundesländer).

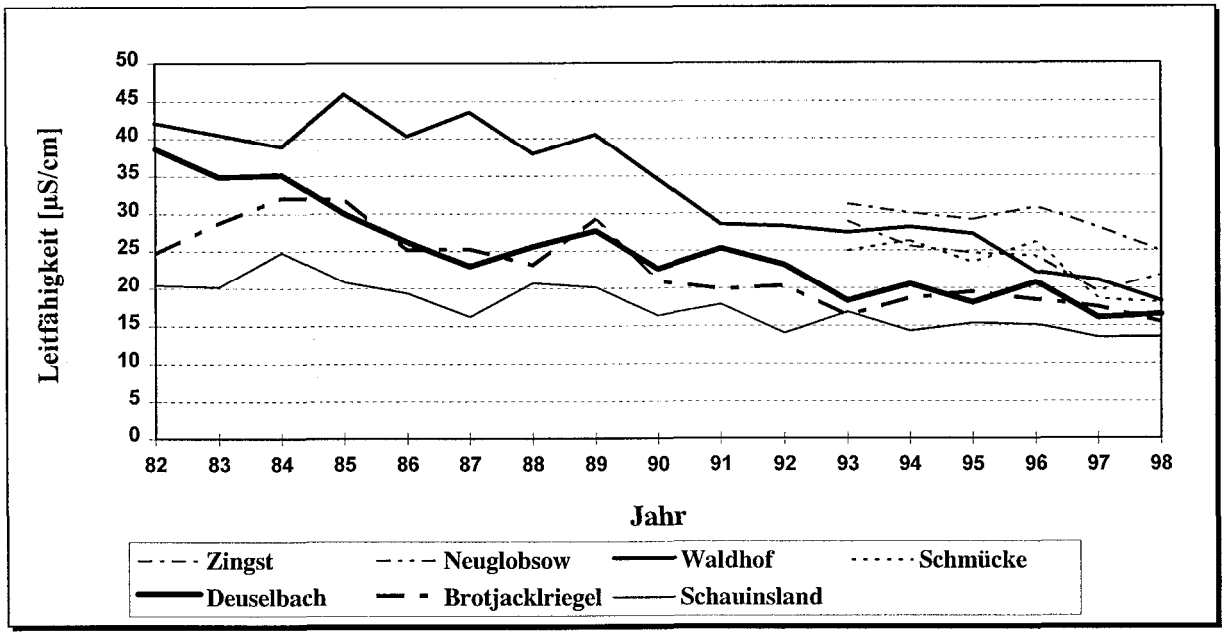


Abbildung 35: Änderung der Jahresmittel der Leitfähigkeit im Niederschlag zwischen 1982 und 1998 (4 Stationen, alte Bundesländer) bzw. zwischen 1993 und 1998 (3 Stationen, neue Bundesländer).

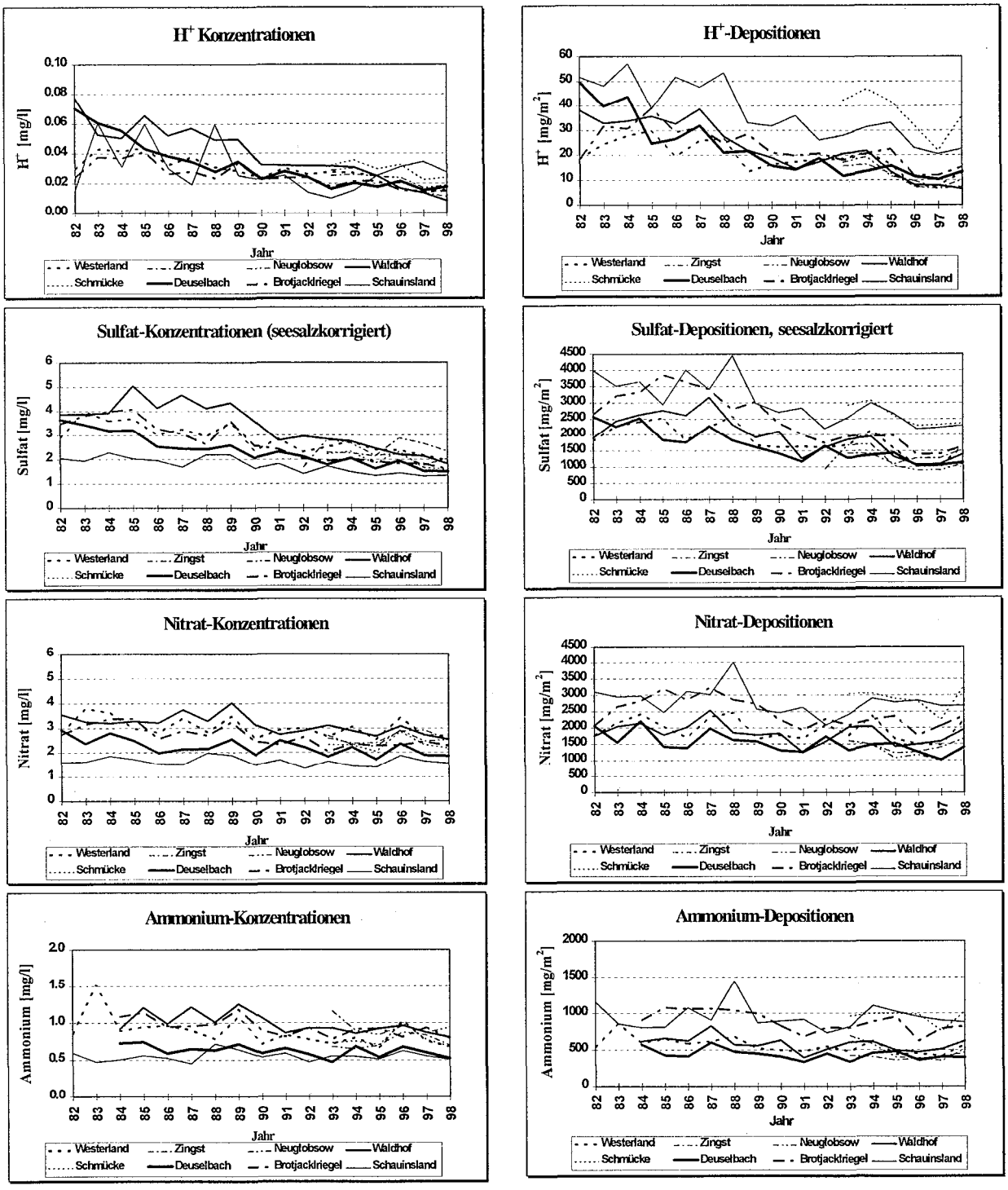


Abbildung 36: Jahresmittel der Konzentrationen (links) und Depositionen (rechts) der Ionen H^+, $SO_4^=$, NO_3^- und NH_4^+ an den Messstellen des UBA-Messnetzes zwischen 1982 und 1998

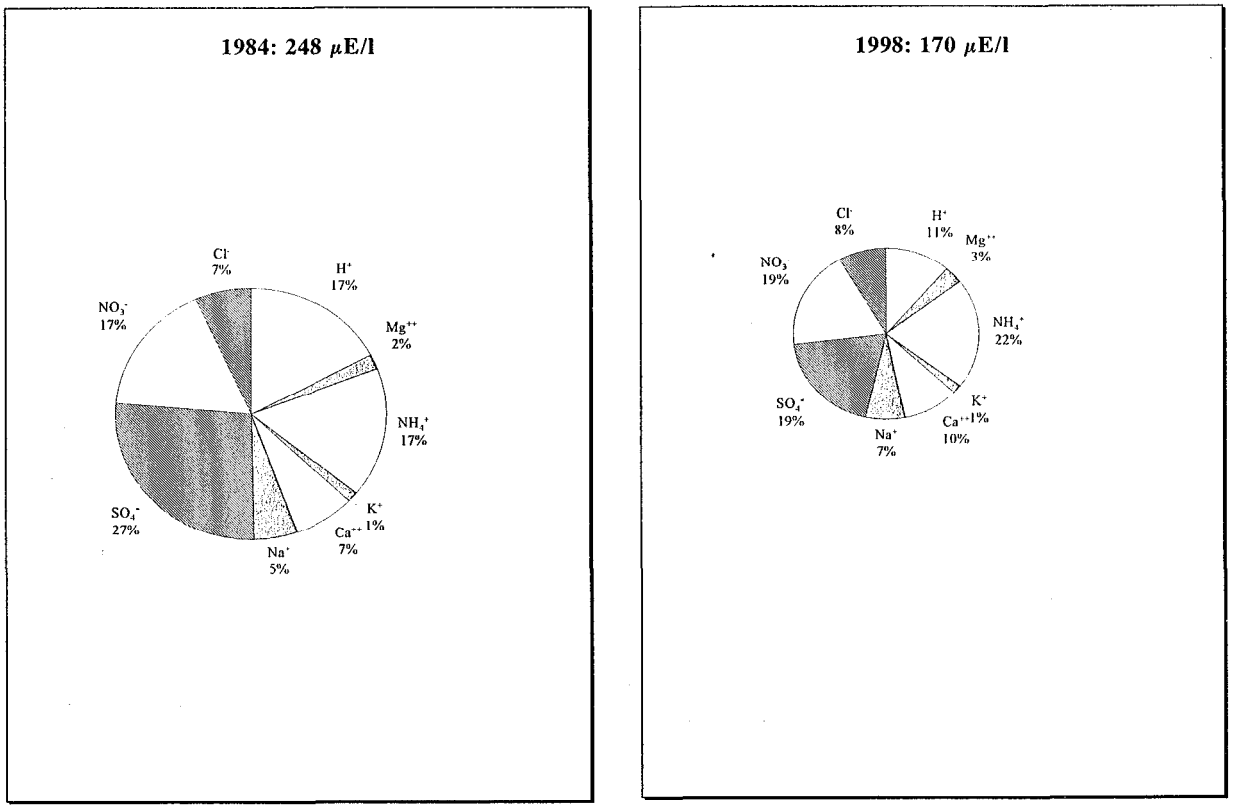


Abbildung 37a-b: Mittlere Summe der Ionenäquivalente im Niederschlag sowie deren relative Verteilung in den Jahren 1984 (links) und 1998 (rechts) als Mittel über die 4 kontinentalen Stationen Waldhof, Deuselbach, Brotjacklriegel und Schauinsland

3.2.3.2 Depositionen

Ähnlich wie bei den Konzentrationen basieren auch die Trends der Jahreswerte bei den Depositionen auf linearen Regressionen. Die nasse Deposition wird in Mitteleuropa in erheblichem Maße von der Regenmenge bestimmt, die je nach geographischen Gegebenheiten von Station zu Station sehr unterschiedlich ist. Hohe Regenmengen und damit auch hohe Depositionen treten vor allem an den Bergstationen Schauinsland, Brotjacklriegel und Schmücke auf. Zwischen 1982 und 1998 traten von Jahr zu Jahr z.T. erhebliche Schwankungen der jährlichen Regenmenge auf, ein systematischer Langzeittrend ist jedoch nicht zu erkennen *(Ref. 4)*.

Das bedeutet, dass die Trends für die Konzentrationen und Depositionen der im Regen enthaltenen Ionen sehr ähnlich aussehen. Wie aus Tabelle 90 sowie aus Abbildung 36 zu entnehmen ist, verminderte sich beispielsweise die nasse Deposition von H^+-Ionen von 1982 bis 1998 um 55% (Brotjacklriegel) bis 85% (Deuselbach).

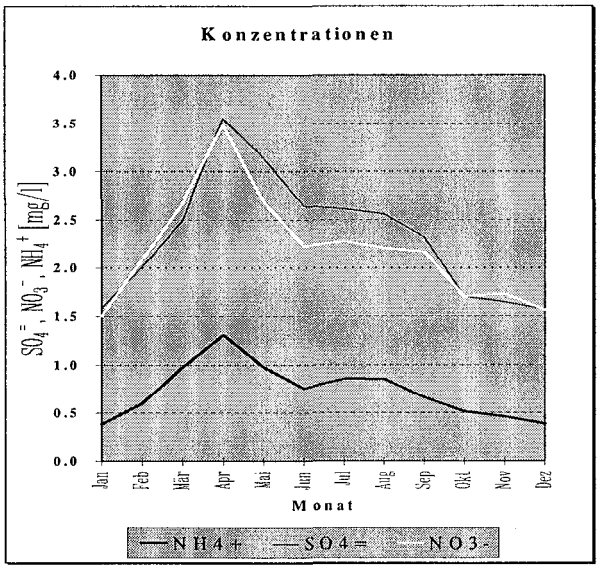
Die entsprechende Abnahme der seesalzkorrigierten Sulfat-Deposition lag zwischen 43% (Westerland) und 61% (Brotjacklriegel), für Nitrat betrug die Abnahme zwischen 14% (Schauinsland) und 34% (Deuselbach). Ähnlich wie bei den Konzentrationen von Ammonium nahm auch die Deposition von NH_4^+ am Schauinsland um 6% zu, an den anderen 4 Stationen dagegen zwischen 24% (Waldhof) und 31% (Westerland und Brotjacklriegel) ab.

Ähnlich wie bei den Konzentrationen zeigten Langzeittrends der Depositionen von Kalium, Calcium, Magnesium, Natrium und Chlorid nur geringe und recht uneinheitliche Änderungen zwischen 1982 und 1998. Die Variationen der jährlichen Depositionen dieser Ionen sind größer und die räumlichen Depositionsmuster inhomogener als die entsprechenden räumlichen und zeitlichen Muster für die Deposition von Sulfat, Nitrat und Ammonium. Der Jahresgang der nassen Depositionen unterscheidet sich oft erheblich vom Jahresgang der Konzentrationen. Während an den meisten Stationen die höchsten Konzentrationen der Hauptionen H^+, $SO_4^=$, NO_3^- und NH_4^+ im Frühjahr gemessen werden, werden die höchsten Depositionen im späten Frühjahr und im Sommer beobachtet, da die höchsten Regenmengen gewöhnlich in dieser Jahreszeit auftreten. Ausnahmen sind die Stationen Westerland und Zingst, wo die höchsten Regenmengen und Depositionen dieser Ionen im September gefunden werden.

Im Gegensatz zu Sulfat, Nitrat und Ammonium weisen die Jahresgänge der überwiegenden Seesalzkomponenten Natrium, Magnesium und Chlorid sowohl für die Konzentrationen als auch für die Depositionen ein Minimum im Frühjahr und Sommer und ein Maximum im Winter auf trotz der höheren Regenmengen im Sommer. Für diese Ionen können die wesentlich geringeren Konzentrationen im Sommer nicht durch die höheren Regenmengen in dieser Jahreszeit kompensiert werden.

Kalium und Calcium, die sowohl maritime als auch erhebliche kontinentale Quellen besitzen, zeigen andere jahreszeitliche Verläufe als die beiden anderen Ionengruppen. Wegen des dominierenden maritimen Einflusses in Westerland sind die Jahresgänge der Konzentration und Deposition von Kalium an dieser Station den Verläufen der Seesalzkomponenten mit einem Minimum im Sommer sehr ähnlich. Für Calcium ist dagegen kein klarer Jahresgang erkennbar. An den 4 kontinentalen Stationen treten maximale Calciumwerte der Konzentration bzw. Deposition dagegen im Frühjahr bzw. im Sommer auf.

In den Abbildung 38a-b und Abbildung 39a-b sind die generalisierten Jahresverläufe für die Konzentrationen und Depositionen für 2 Ionengruppen zusammengefasst: Ionen überwiegend kontinentalen Ursprungs ($SO_4^=$, NO_3^- und NH_4^+, Abbildung 38a-b) sowie Ionen von überwiegend maritimen Ursprung (Na^+, Mg^{++}, Cl^-, Abbildung 39a-b). Die Kurven in den Abbildungen 8a-b und 9a-b sind gewichtete Durchnittswerte für die 4 kontinentalen Stationen Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjacklriegel für den Zeitraum zwischen 1984 und 1998. Die sehr unterschiedlichen Beiträge der verschiedenen Ionengruppen zur spezifischen Leitfähigkeit im Regen spiegelt sich auch in den Jahresgängen der Leitfähigkeit wider. Wegen des dominierenden Beitrags der Ionen H^+, $SO_4^=$, NO_3^- und NH_4^+ wird die maximale Leitfähigkeit an den kontinentalen Stationen Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjacklriegel im April und Mai beobachtet. Da die Seesalzkomponenten Na^+, Mg^{++} und Cl^- in Westerland zu mehr als 2/3 zur Leitfähigkeit beitragen, wird die maximale Leitfähigkeit an dieser Station in den Wintermonaten beobachtet.



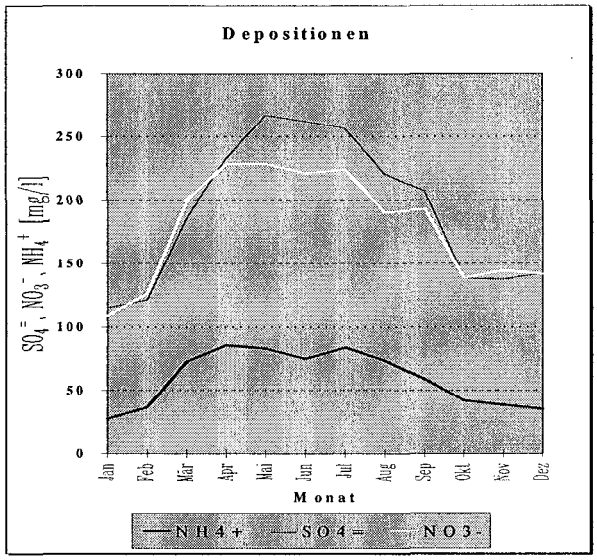
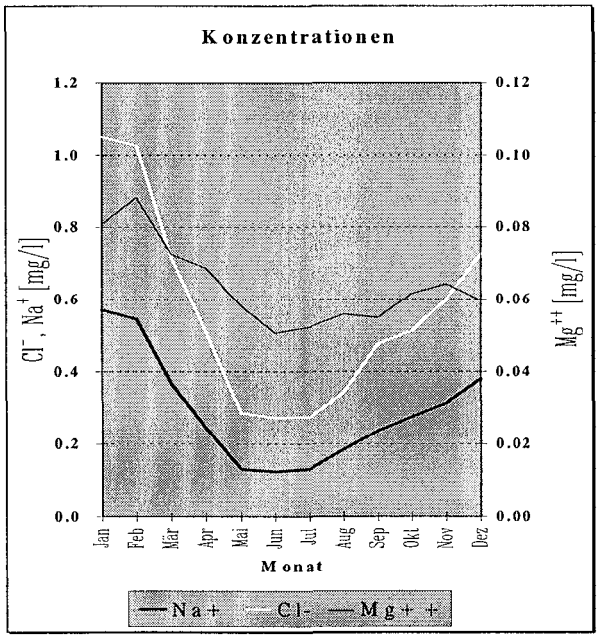


Abbildung 38a-b: Jahresgänge der Konzentrationen (a) und Depositionen (b) der überwiegend aus kontinentalen Quellen stammenden Ionen Sulfat, Nitrat und Ammonium. Die Kurven sind gewichtete Mittelwerte für die 4 kontinentalen Stationen Waldhof, Deuselbach, Brotjacklriegel und Schauinsland für den Zeitraum 1984 bis 1998.



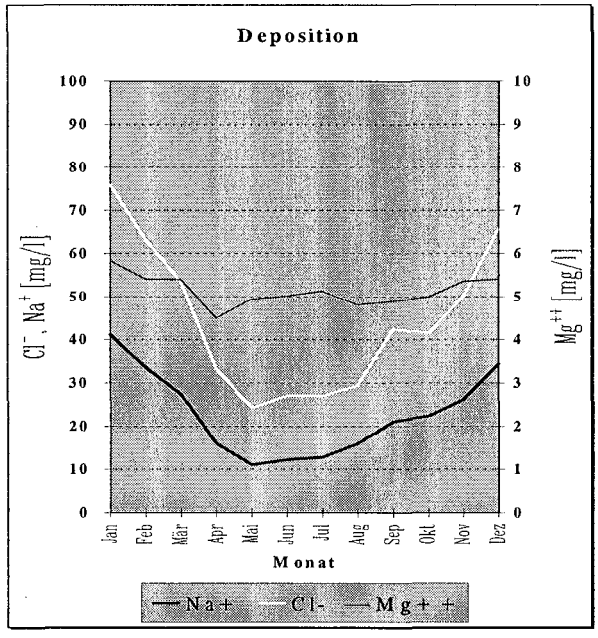


Abbildung 39a-b: Jahresgänge der Konzentrationen (a) und Depositionen (b) der überwiegend aus maritimen Quellen stammenden Ionen Natrium, Magnesium und Chlorid. Die Kurven sind gewichtete Mittelwerte für die 4 kontinentalen Stationen Waldhof, Deuselbach, Brotjacklriegel und Schauinsland für den Zeitraum 1984 bis 1998.

3.2.4 Zusammenfassung und Diskussion

Langzeitmessungen im Messnetz des Umweltbundesamtes haben gezeigt, dass sich die Konzentrationen und Depositionen einer Reihe von Ionen im Regen in Mitteleuropa zwischen 1982 und 1998 deutlich vermindert haben.

In ländlichen Regionen der alten Bundesländer ist der pH-Wert des Regens in diesem Zeitraum von etwa 4.3 - 4.4 auf 4.8 - 5.0 gestiegen, das heißt, der Regen ist heute deutlich weniger sauer als zu Beginn der 80er Jahre. Die entsprechende Abnahme der H^+-Deposition betrug etwa 70%.

Diese pH-Werte liegen im Bereich der natürlichen, d.h. der ohne anthropogene Beeinflussung in Mitteleuropa zu erwartenden Werte, die zwischen 4.6 und 5.6 liegen sollten *(Ref. 7; 8; 9; 10; 11)*. Obwohl die gegenwärtigen pH-Werte von 4.8 bis 5.0 in den Bereich der natürlichen pH-Werte fallen, liegen die Konzentrationen der Regen-Inhaltsstoffe in weiten Regionen Mitteleuropas noch erheblich über denen eines natürlichen Regens *(Ref. 7; 10)*. Bezüglich der Bedeutung des sauren Regens für die Schädigung der Flora (z.B. Waldsterben) sollte der pH-Wert nicht überbewertet werden, wie dies früher häufig der Fall war, da dieser Wert allein nur wenig über die Eigenschaften eines sauren Regens und damit die Schädigung der Biosphäre aussagt *(Ref. 12)*.

Neben H^+ haben vor allem die Konzentrationen bzw. Depositionen von Sulfat (um ca. 52 bzw. 53%) im Untersuchungszeitraum zwischen 1982 und 1998 abgenommen (mit Regenmenge gewichtete Mittel aus den 5 Stationen Westerland, Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjacklriegel).

Ein stark abnehmender Langzeittrend für die Konzentrationen und Depositionen von H^+ und $SO_4^{=}$ im Regen wurde auch für andere Gebiete Mitteleuropas berichtet *(Ref. 13; 14; 15)*.

Der entsprechende Rückgang der Konzentrationen bzw. Depositionen betrug beim Nitrat ca. 20% bzw. 22%, beim Ammonium ca. 21%. Die z.T. deutliche Abnahme dieser Ionen ist in Abbildung 40 und Abbildung 41 sowie in Tabelle 3 zu sehen. In diesen Abbildungen sind die auf das Jahr 1982 normierten Konzentrationen (Abbildung 40) und Depositionen (Abbildung 41) der Ionen H^+, $SO_4^{=}$, NO_3^- und NH_4^+ als mit der Regenmenge gewichtete Mittel über die 5 Stationen Westerland, Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjacklriegel zwischen 1982 und 1998 dargestellt. Die generelle Trendentwicklung in Abbildung 40 und Abbildung 41 ist im Wesentlichen auf die unterschiedliche Emissionsreduzierung von SO_2, NO_x und NH_3 zurückzuführen und nicht auf meteorologische Einflüsse.

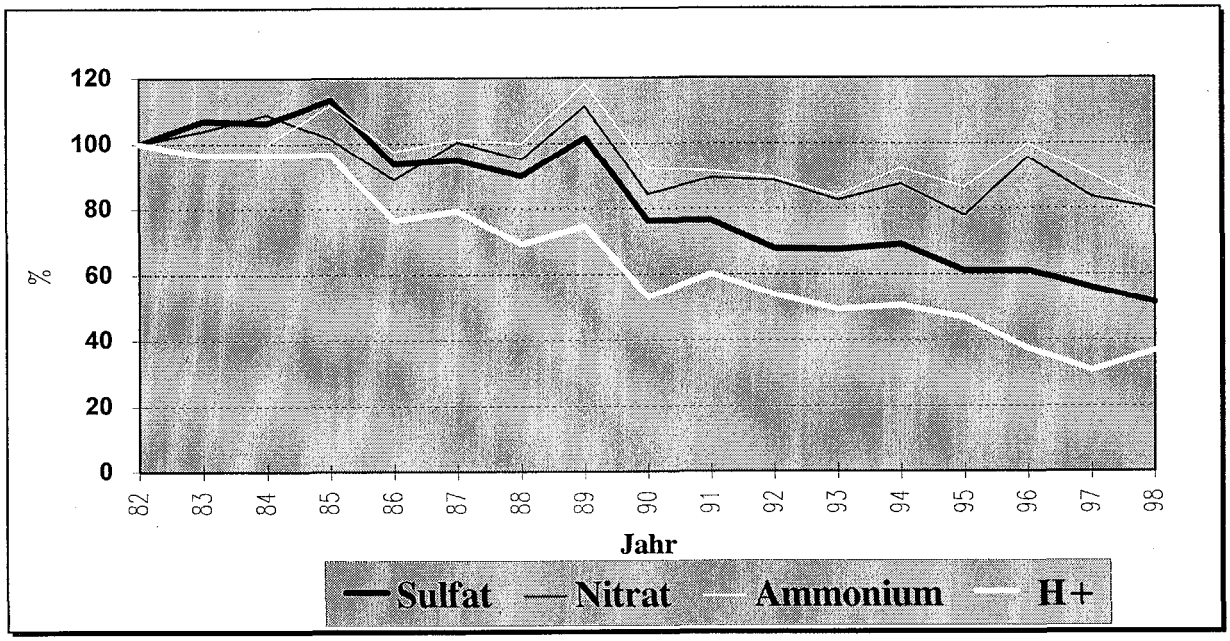


Abbildung 40: Verlauf der Jahresmittel für die Ionenkonzentrationen von H^+, $SO_4^=$, NO_3^- und NH_4^+. Die Werte sind mit der Niederschlagsmenge gewichtete Mittel der 5 Stationen Westerland, Waldhof, Deuselbach, Brotjacklriegel und Schauinsland. Die Kurven sind auf das Jahr 1982 normiert.

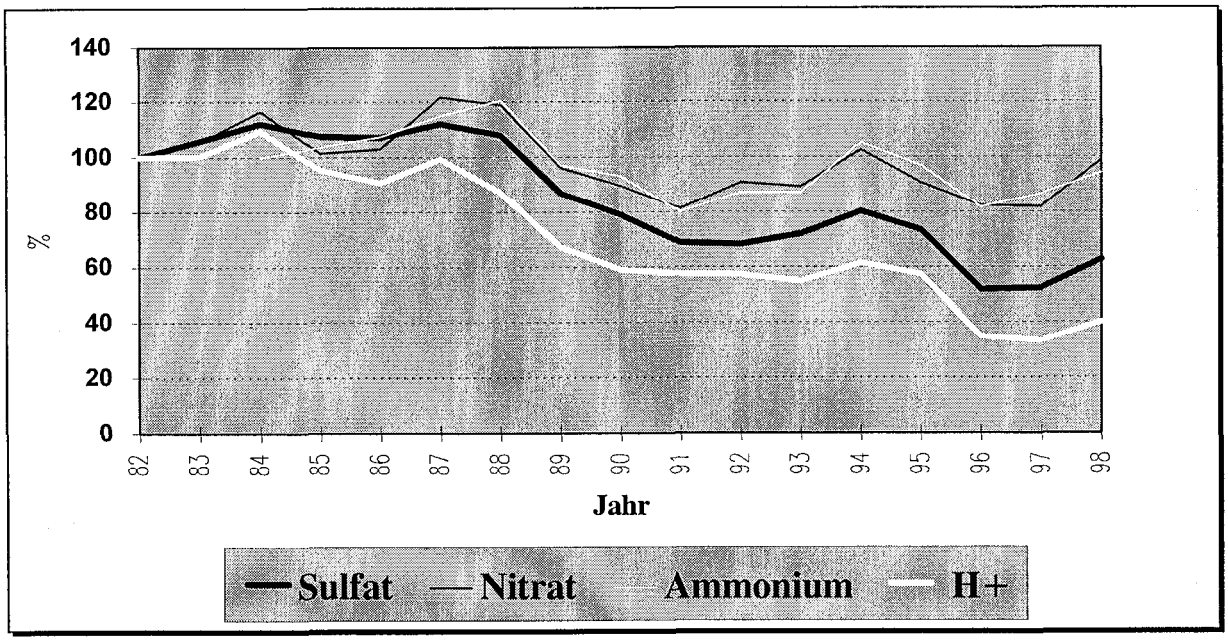


Abbildung 41: Verlauf der Jahresmittel für die Deposition der Ionen von H^+, $SO_4^=$, NO_3^- und NH_4^+. Die Werte sind mit der Niederschlagsmenge gewichtete Mittel der 5 Stationen Westerland, Waldhof, Deuselbach, Brotjacklriegel und Schauinsland. Die Kurven sind auf das Jahr 1982 normiert.

	Konzentration	Deposition
Sulfat	-52%	-53%
Nitrat	-20%	-22%
Ammonium	-21%	-21%
H^+	-66%	-68%

Tabelle 91: Prozentuale Abnahme der Konzentrationen und Depositionen von H^+, $SO_4^=$, NO_3^- und NH_4^+ zwischen 1982 und 1998 im Niederschlag, gemittelt über die 5 UBA-Stationen Westerland, Waldhof, Deuselbach, Brotjacklriegel und Schauinsland. Die Werte wurden mittels linearer Regression berechnet.

3.2.5 Literatur

(1) *Fricke,W. und S.Beilke (1993)*
Changing concentrations and deposition of sulfur and nitrogen compounds in central Europe between 1980 and 1992. In: Air Pollution Research Report 47, eds J.Slanina, Angeletti and S.Beilke, pp.9-30. Joint Workshop CEC/BIATEX of EUROTRAC, May, 4-7, 1993, Aveiro, Portugal.

(2) *Umweltbundesamt (1998)*
Emissionen nach Emittentengruppen in der ehemaligen DDR (1970-1995), im bisherigen Bundesgebiet (1970-1995) sowie in Deutschland (1990-1996). Quelle: UBA, Postfach 330022, 14191 Berlin, Februar 1998.

(3) *Umweltbundesamt (1999)*
Emissionen nach Emittentengruppen in Deutschland (1990-1997). Quelle: UBA, Postfach 330022, 14191 Berlin, März 1999.

(4) *Fricke,W.; Beilke,S.; Bieber,E.;Uhse,K.and Wallasch,M.(1997)*
Ergebnisse täglicher Niederschlagsanalysen in Deutschland von 1982 bis 1995. UBA, Texte 10/97, 452 Seiten.

(5) *Beilke,S.and Georgii,H.W.(1968)*
Investigation on the incorporation of sulfur dioxide into fog- and rain droplets, Tellus XX, 3, pp.435-441.

(6) *Summers,P. and Barrie,L.(1986)*
The spatial and temporal variation of the sulphate to nitrate ratio in precipitation in eastern North America. Water,Air and Soil Pollution 30, pp.275-283.

(7) *Smith, R.A. (1872)*
Air and rain: the beginning of a chemical climatology. Longmans, Green and Co., London.

(8) *Barrie,L.; Beilke,S. and Georgii,H.W. (1974)*
SO_2-removal by cloud-and raindrops as affected by ammonia and heavy metals.Proceedings:Precipitation Scavenging Symposium, Champaign, Illinois, USA, October 14-18, 1974. Available as CONF-741003 from National Department of Commerce, Springfield, Virginia 22161.Editors: Semonin,R.G. and Beadle,R.W.

(9) *CEC (1982)*
Acid Deposition: Proceedings of the CEC Workshop, Berlin, 9.September 1982, 235 pages. Reidel, Dordrecht/Boston/Lancaster. Editors: S.Beilke and A.J.Elshout.

(10) *Schwela,D. (1983)*
Wet deposition of air pollutants in about 1870 compared with today's impact.Staub-Reinhaltung der Luft 43, Nr.4, April 1983.

(11) *CEC (1983)*
Proceedings of CEC Symposium on Acid Deposition - A Challenge for Europe, pp.303-320 and 338-345, Karlsruhe, Germany, 19-21 Sept.1983, Editors: Ott,H.and Stangl,H.

(12) *Brosset,C. (1983)*
Characterization of acidity in natural waters. In: Proceedings of CEC Workshop on Acid Deposition, pp.44-55, Berlin, 9 Sept. 1982, Reidel. Editors: Beilke,S. and Elshout,A.J.

(13) *Ruijgrok,W. and Römer,F.G. (1993)*
Aspects of wet, acidifying deposition in Arnhem: source regions, correlations and trends (1984-1991), Atm.Env.Vol.27A, No.5, pp.637-653.

(14) *Hovmand,M.F.and Kemp,K. (1996)*
Downward trends of sulfur deposition to Danish spruce forest. Atm.Env.Vol.30, No.17, pp.2989-2999.

(15) *Puxbaum,H.; Simeonov,V.and Kalina,M.F. (1998)*
Ten years trends (1984-1993) in the precipitation chemistry in central Austria, Atm.Env. Vol.32, No.2, pp.193-202.

3.3 Trend der Konzentrationen und Depositionen von Schwefel- und Stickstoffverbindungen in Deutschland zwischen 1982 und 1998

3.3.1 Einleitung

Atmosphärische Spurengase und Aerosolpartikel werden durch nasse und trockene Deposition aus der Atmosphäre entfernt. Dieser für die Luftqualität positive Vorgang der Selbstreinigung der Atmosphäre bleibt nicht ohne Wirkung auf andere Bereiche der Umwelt. Der Eintrag von Spurenstoffen aus der Atmosphäre in Böden kann nützlich sein, wenn es sich um notwendige Nährstoffe für Pflanzen handelt. Er kann aber auch eine Belastung für Wasser, Boden und Vegetation bedeuten, wenn der Eintrag zu groß ist (Eutrophierung) oder wenn es sich bei den deponierten Stoffen um Substanzen handelt, von denen schädigende Wirkungen ausgehen.

Im vorangehenden Kapitel 3.2. war die Auswirkung der Emissionsminderungen von SO_2, Staub, NO_x und NH_3 auf die Konzentrationen und nasse Deposition der entsprechenden Ionen im Regenwasser an den 8 in ländlichen Gebieten gelegenen Messstationen des Umweltbundesamtes zwischen 1982 und 1998 untersucht worden. In diesem Beitrag werden die Auswirkungen der Emissionsminderungen von SO_2 und NO_x auf die Konzentrationen und die trockene Deposition dieser Spurengase ausgedehnt. Schließlich wird die Gesamtdeposition von Schwefel durch trockene und nasse Ablagerung für ländliche, größtenteils landwirtschaftlich genutzte Gebiete in Deutschland und deren Langzeittrend bestimmt.

3.3.2 Ergebnisse und Diskussion

Wie in Kapitel 2.1.1 dargestellt ist, lagen die Jahreskonzentrationen des SO_2 an den 8 Stationen im Jahre 1998 deutlich niedriger als im Jahre 1982. Dagegen ist die Trendentwicklung beim NO_2 uneinheitlich (Abbildung 43). An einigen Stationen sind die Konzentrationen zurückgegangen, an anderen dagegen leicht angestiegen.

Die Abnahme der SO_2-Konzentrationen wurde weitgehend durch die erheblichen Reduzierungen der Emissionen verursacht und nur in sehr geringem Maße durch einige milde Winter und den damit verbundenen Transporten von relativ schadstoffarmen Luftmassen vom Atlantik nach Mitteleuropa *(Ref. 1; 2)*. Wegen des Inkrafttretens der zweiten Stufe der Verordnung über Großfeuerungsanlagen in den alten Bundesländern haben die SO_2-Konzentrationen zwischen 1987 und 1988 besonders stark abgenommen (Abbildung 42). Wegen dieser sprunghaften Verminderung der SO_2-Jahreswerte um etwa 50% zwischen 1987 und 1988 ist ein Vergleich der mittels linearer Regression gewonnen Konzentrationen für die Jahre 1982 und 1998 problematisch. Aus diesem Grund wurden für die Abschätzung aller folgenden Trends von Konzentrationen und Depositionen jeweils die mittleren Werte aus den Jahren 1996-1998 mit denen aus den Jahren 1982-1984 verglichen.

Die gegenüber SO_2 geringen Änderungen der NO_2-Konzentrationen (Abbildung 43) während der letzten zwei Jahrzehnte können mit der vergleichsweise geringen Reduktion und der

homogeneren Verteilung der NO_x-Emissionen erklärt werden, wodurch Änderungen der Transportrichtungen von Luftmassen für die NO_2-Konzentrationen weniger bedeutend sind als für SO_2.

Eine vor dem Hintergrund der möglichen globalen Klimaänderung wichtige Frage ist, ob es neben dem Trend für SO_2 auch einen entsprechenden Trend beim Sulfataerosol während der letzten Jahrzehnte gibt. Eine entsprechende Trendaussage ist schwierig, da in Deutschland nur wenige Langzeitmessungen existieren.

In Abbildung 44 und Abbildung 45 sind die jährlichen mittleren Konzentrationen von Schwefel in Schwebstaub sowie von Gesamtstaub zwischen 1982 und 1998 dargestellt. Schwefel liegt im Schwebstaub fast ausschließlich als Sulfat vor. Sowohl der Schwebstaub als auch der Schwefel im Schwebstaub haben seit 1982 erheblich abgenommen. Verglichen mit den Jahren 1982 bis 1984 waren die Schwefelkonzentrationen im Staub an den 5 Stationen des UBA-Messnetzes in den alten Bundesländern in den Jahren 1996 bis 1998 um mehr als 50% geringer. Einen ähnlichen Rückgang wiesen auch die Staubkonzentrationen auf (Tabelle 92). Wie in einer früheren Arbeit gezeigt wurde *(Ref. 3)*, war der Sulfat-Massenanteil im Aerosol zwischen 1982 und 1992 relativ konstant trotz der in dieser Zeit erfolgten drastischen Reduzierung der SO_2-Emissionen und dem damit verbundenen erheblichen Rückgang der Konzentrationen.

Station	Schwefel im Staub	Gesamtstaub
Westerland	-39%	-48%
Zingst	-	-
Neuglobsow	-	-40%
Waldhof	-66%	-58%
Schmücke	-	-44%
Deuselbach	-60%	-47%
Brotjacklriegel	-52%	-55%
Schauinsland	-50%	-44%

Tabelle 92: Änderung der Konzentrationen von Schwefel im Schwebstaub sowie Gesamtstaub in den Jahren 1996 bis 1998 gegenüber 1982 bis 1984

Da die Oxidation von SO_2 zu Sulfat langsam erfolgt, reagiert der Sulfatgehalt im Aerosol im Nahbereich der SO_2-Emissionen nur in geringem Maße auf Änderungen der atmosphärischen SO_2-Konzentrationen. Ein erheblicher Teil des in Deutschland emittierten SO_2 wird wahrscheinlich außerhalb des Landes zu Sulfat oxidiert und trägt so im regionalen bis globalen Scale zum Sulfatgehalt des Aerosols bei.

Der Schwefeleintrag aus der Luft in Böden erfolgt im Wesentlichen durch zwei Prozesse: die trockene Deposition in Form von SO_2 sowie die nasse Deposition in Form von Sulfat. Der Eintrag von Schwefel durch die trockene Deposition von sulfathaltigen Aerosolpartikeln ist dagegen vergleichsweise gering *(Ref. 4)*. Um die Gesamtdeposition von Schwefel durch trockene und nasse Deposition in ländlichen Gebieten Deutschlands sowie deren Trend

abzuschätzen, müssen bestimmte, stark vereinfachende Annahmen bezüglich der Depositionsflüsse gemacht werden.

Wenn man annimmt, dass die trockenen SO_2-Depositionsflüsse den SO_2-Konzentrationen in Bodennähe proportional sind, sollte die trockene Deposition von SO_2 in ländlichen Gebieten Deutschlands zwischen 1982 und 1998 im gleichen Maße abgenommen haben wie die SO_2-Konzentrationen in Abbildung 3. Als Proportionalitätsfaktor wird oft eine mittlere Depositionsgeschwindigkeit von 0.8 cm/s angenommen *(Ref. 4)*. Es muss jedoch betont werden, dass die trockenen Depositionsflüsse mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind, wenn man die in der Literatur angegebene Bandbreite der Depositionsgeschwindigkeiten (0.1-2 cm/s) für den SO_2-Transfer auf natürliche Oberflächen betrachtet *(Ref. 4)*. Die relativen prozentualen Änderungen der trockenen Deposition sind wahrscheinlich wesentlich genauer als die absoluten Werte. In Tabelle 93 sind mittlere Depositionsgeschwindigkeiten sowie ihre Bandbreiten für Substanzen zusammengestellt, die für das Problem der sauren Depositionen von Interesse sind *(Ref. 4)*.

Stoff	Bereich der Depositionsgeschwindigkeit	Mittlere Depositions-geschwindigkeit	Bemerkungen
SO_2	0.1-2 cm/s	0.8 cm/s	Abhängig von Art des Bodens und Tageszeit
NO_2	0.01-1 cm/s	0.4 cm/s	Maximale Werte über Vegetation, Mittag, Stomata geöffnet
NO	+- 0.1 cm/s	0.01 cm/s	Böden können Quellen und Senken sein
NH_3	+- 2 cm/s	1.0 cm/s	Böden und Ozeane können als Quellen und Senken wirken
HNO_3	1 - 20 cm/s	< 5 cm/s	vernachlässigbarer Widerstand der Oberfläche
HCl	1 - 20 cm/s	< 5 cm/s	Sehr hohe Werte bei erhöhter Turbulenz und großer absorbierender Oberfläche
HF	1 - 20 cm/s	< 5 cm/s	
Saure Aerosole	0.01-1 cm/s	0.1 cm/s	im Radius-Bereich 0.1-1 μm. Werte nehmen mit zunehmender Rauhigkeit der Oberfläche zu
Alkalische Aerosole	0.1-5 cm/s	> 0.1 cm/s	Alkal. Teilchen größtenteils über 1 μm Radius. Z.Teil erhebliche Sedimentations-geschw. (einige cm/s).

Tabelle 93: Trockene Depositionsgeschwindigkeiten für Stoffe, die für die sauren Depositionen von Bedeutung sind *(Ref. 4)*.

Die nasse Schwefel-Deposition wird auf der Basis der gemessenen Regenmengen und der Sulfat-Konzentrationen im Regenwasser abgeschätzt und dürfte deshalb relativ genau bestimmbar sein.

In Tabelle 94 sind die gesamten Schwefeldepositionen durch trockene und nasse Ablagerung und in Tabelle 95 deren Trends für 5 Stationen aus dem UBA-Messnetz enthalten. Wie aus Tabelle 95 ersichtlich ist, haben die jährlichen trockenen Depositionsflüsse zwischen 1982-1984 und 1996-1998 zwischen 71% in Westerland und 90% am Schauinsland abgenommen. Die entsprechende Abnahme der nassen Deposition war dagegen mit 18% bis 49% geringer. Die Gesamtabnahme der Schwefeldeposition durch trockene und nasse Ablagerung lag zwischen 49% (Westerland) und 73% (Waldhof). Als Ergebnis der unterschiedlichen Trends der trockenen gegenüber der nassen Schwefeldeposition hat sich der Beitrag der nassen Deposition zur Gesamtdeposition von 18-73% in 1982-1984 auf 41-94% in den Jahren 1996-1998 erhöht. Wegen der hohen jährlichen Regenmengen ist der Beitrag der nassen Deposition am Schauinsland am höchsten.

Ebenso wie die trockene Deposition von schwefelhaltigen Aerosolpartikeln wurde auch der Schwefeleintrag durch die Interzeption von Nebeltröpfchen bei der Abschätzung der Schwefeldeposition nicht mit berücksichtigt, obwohl die Interzeption ein wichtiger Depositionsprozess in den Mittel- und Hochgebirgsregionen Zentraleuropas ist *(Ref. 5; 6)*.

Im Vergleich zu Schwefel sollte man eine geringere Abnahme der Deposition von Stickstoffverbindungen erwarten, hauptsächlich wegen der geringeren Reduzierung der Emissionen von NO_x und NH_3 in Deutschland und den Nachbarländern während der vergangenen zwei Jahrzehnte. Verglichen mit den Jahren 1982-1984 haben die jährlichen Konzentrationen von NO_2 in den Jahren 1996-1998 in Waldhof und Deuselbach um etwa 30% abgenommen, während in Westerland eine schwache Zunahme (4%) und an den Bergstationen Schauinsland und Brotjacklriegel eine stärkere Zunahme (ca. 18%) zu erkennen ist.

Eine Abschätzung der Depositionen von Stickstoffverbindungen und deren Trendentwicklung wurde nicht vorgenommem, da zwei erheblich zur Gesamtdeposition beitragende Spurengase, nämlich HNO_3 und NH_3, im Messnetz des UBA bisher nicht routinemäßig gemessen werden.

Station	Trockene Schwefeldeposition		Nasse Schwefeldeposition (seesalzkorrigiert)			Jährliche Gesamtdeposition	
	gemessene mittlere SO_2 Konz. [$\mu g\ SO_2/m^3$]	geschätzte mittlere jährliche trockene Depo. [g S/m^2]	mittlere Schwefel-Konz. im Regen [mg S/l]	mittlere jährl. Regen-menge [mm]	mittlere jährl. nasse Depo. [g S/m^2]	nasse und trockene Depo. [g S/m^2]	Anteil der nassen Depo. [%]
Jahresmittel 1982-1984							
Westerland	7.7	0.97	1.16	628	0.7	1.7	43
Waldhof	22.8	2.88	1.29	494	0.6	3.5	18
Deuselbach	15.8	1.99	1.14	705	0.8	2.8	29
Brotjacklr.	9.4	1.19	1.26	758	1.0	2.1	45
Schauinsl.	4.0	0.50	0.69	1943	1.3	1.9	73
Jahresmittel 1996-1998							
Westerland	2.2	0.28	0.71	836	0.6	0.9	68
Zingst	2.8	0.35	0.82	659	0.5	0.9	60
Neuglobsow	3.7	0.47	0.59	542	0.3	0.8	41
Waldhof	3.3	0.42	0.67	772	0.5	0.9	56
Schmücke	3.9	0.49	0.54	1503	0.8	1.3	62
Deuselbach	3.1	0.39	0.54	760	0.4	0.8	51
Brotjacklr.	2.6	0.33	0.58	1036	0.6	0.9	65
Schauinsl.	0.4	0.05	0.45	1727	0.8	0.8	94

Tabelle 94: Trockene und nasse Deposition von Schwefel an den personell besetzten Messstellen des UBA-Messnetzes in den Jahren 1982 bis 1984 gegenüber 1996 bis 1998

Station	Änderung der Deposition		
	Trocken	Nass	Gesamt
Westerland	-71%	-19%	-49%
Waldhof	-86%	-18%	-73%
Deuselbach	-80%	-49%	-71%
Brotjacklriegel	-72%	-37%	-57%
Schauinsland	-90%	-42%	-55%

Tabelle 95: Änderung der trockenen und nassen Schwefeldeposition an den personell besetzten Messstellen des UBA-Messnetzes in den Jahren 1982 bis 1984 gegenüber 1996 bis 1998

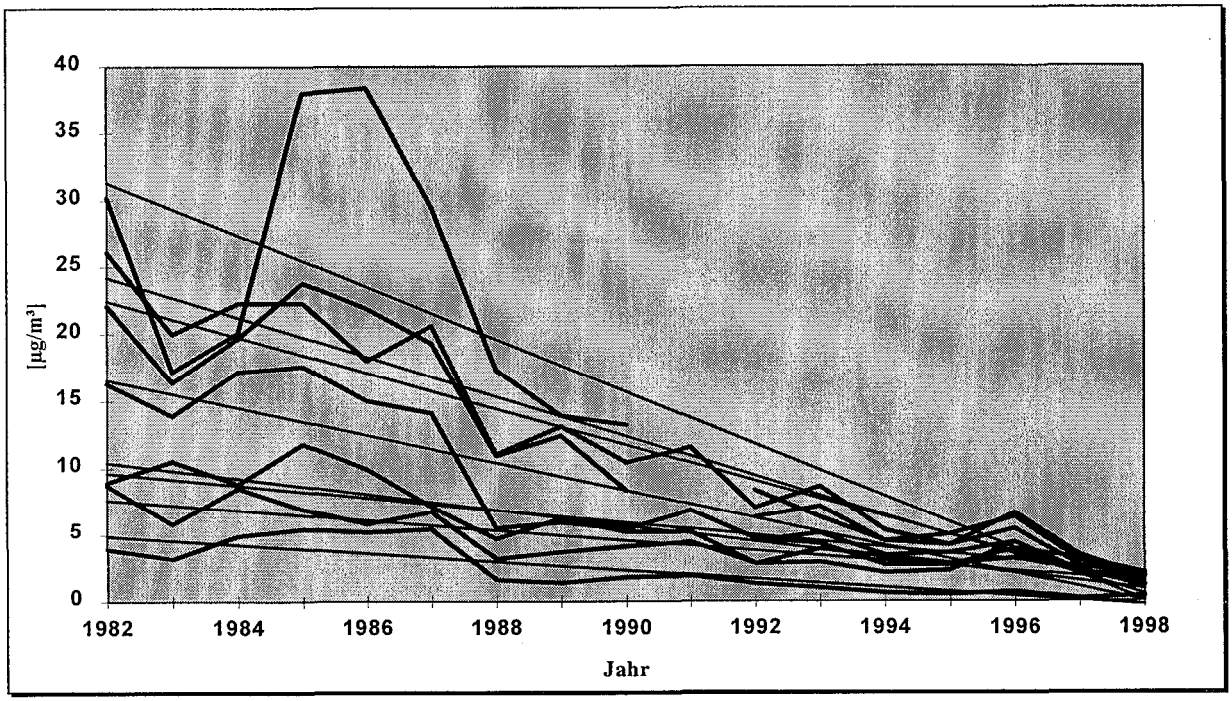


Abbildung 42: Jahresmittelkonzentrationen für Schwefeldioxid an den personell besetzten Messstellen des UBA (nasschemische Messmethode) zwischen 1982 und 1998 mit linearen Regressionsgeraden

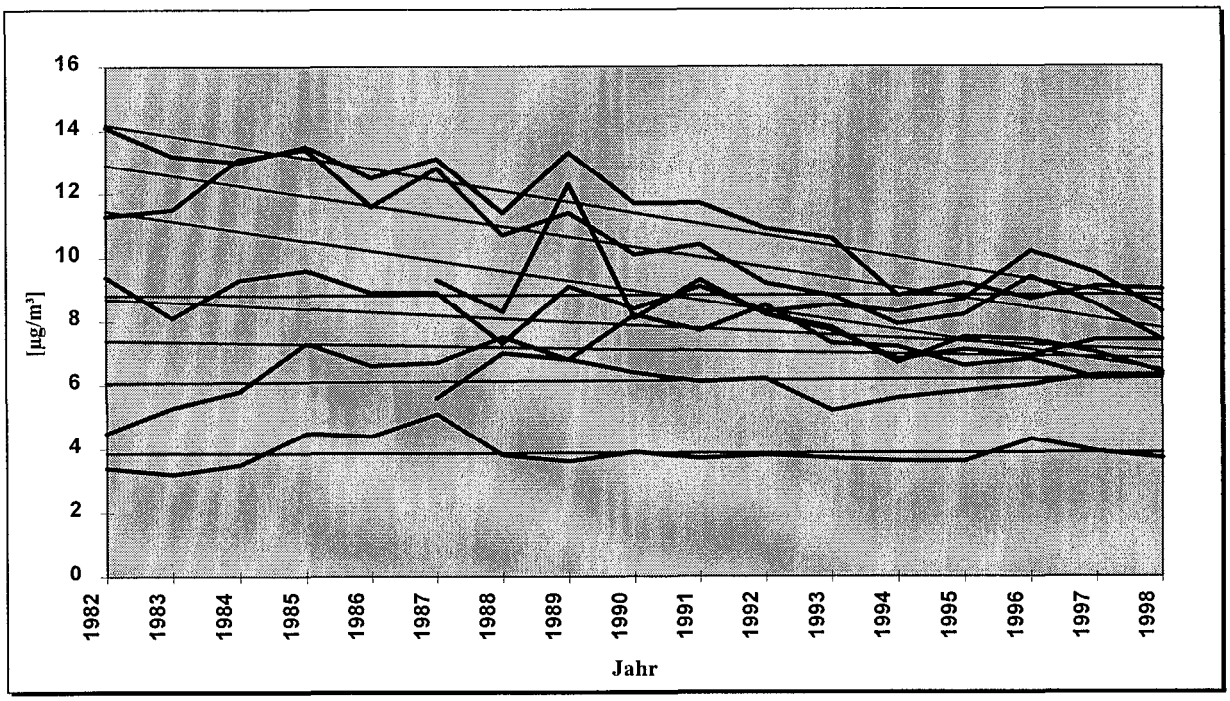


Abbildung 43: Jahresmittelkonzentrationen für Stickstoffdioxid an den personell besetzten Messstellen des UBA (nasschemische Messmethode) zwischen 1982 und 1998 mit linearen Regressionsgeraden

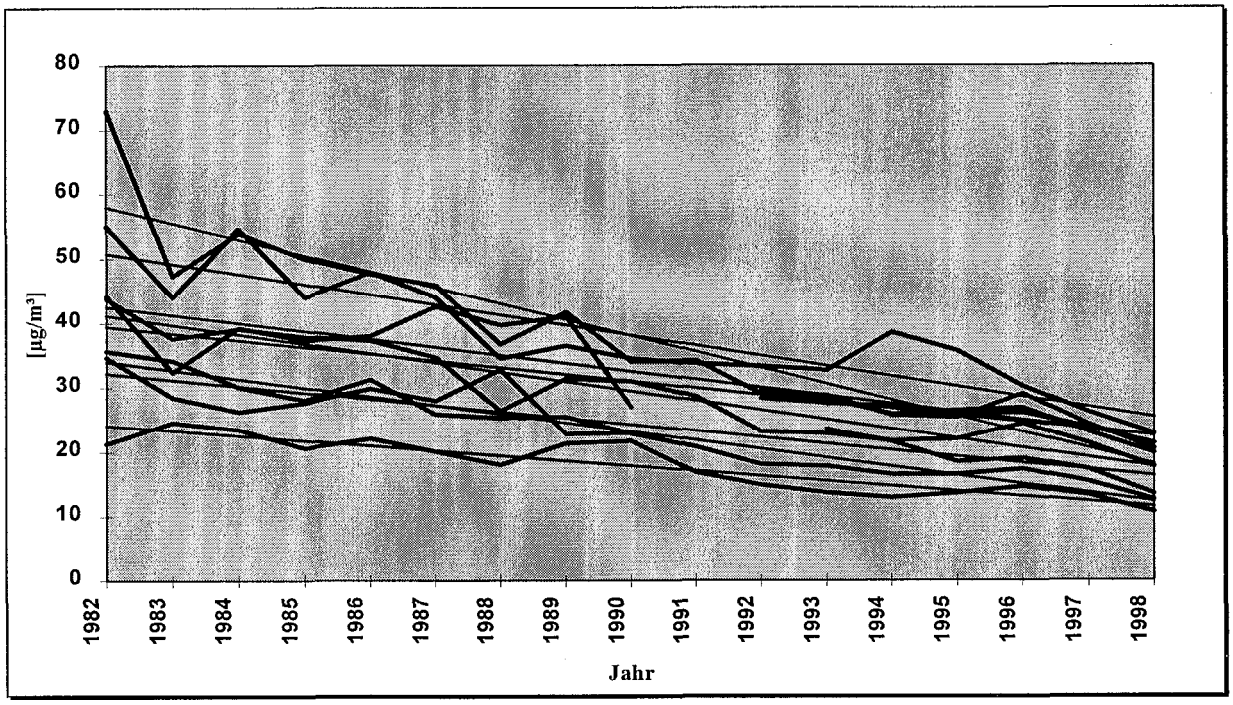


Abbildung 44: Jahresmittelkonzentrationen für Schwebstaub an den personell besetzten Messstellen des UBA (Tagesproben) zwischen 1982 und 1998 mit linearen Regressionsgeraden

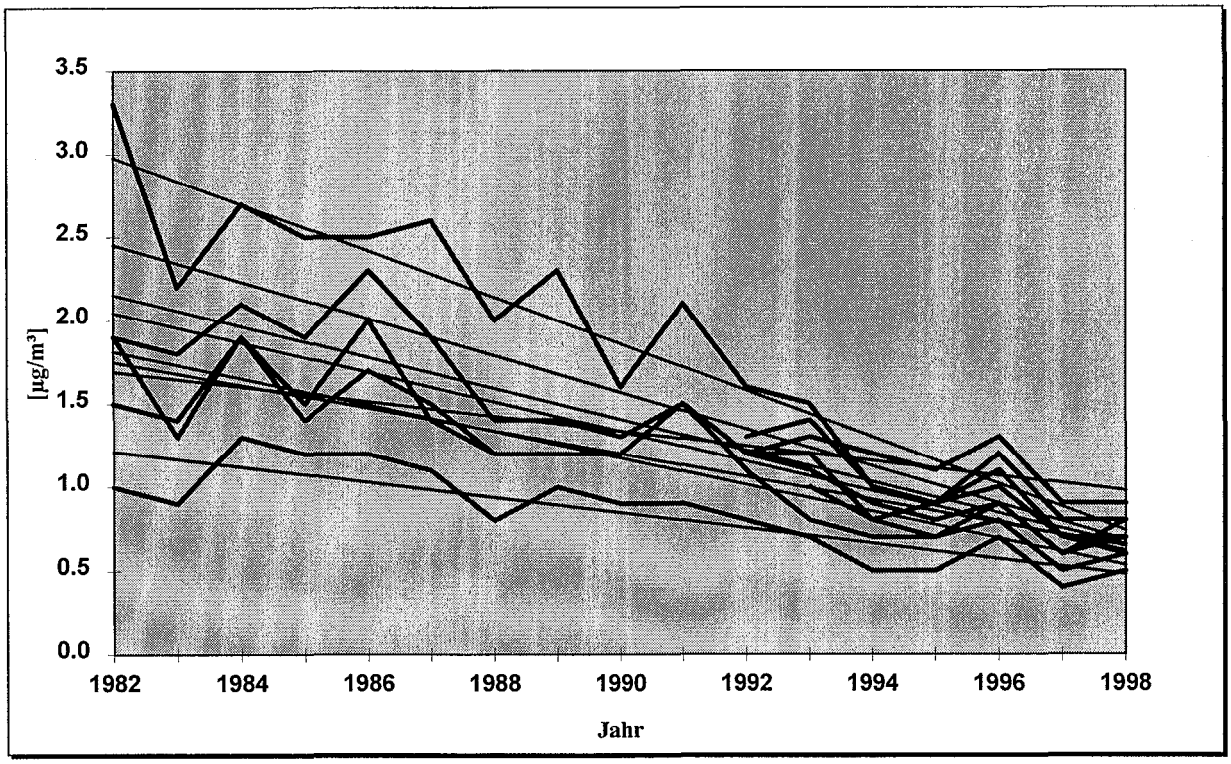


Abbildung 45: Jahresmittelkonzentrationen für Schwefel im Schwebstaub an den personell besetzten Messstellen des UBA zwischen 1982 und 1998 mit linearen Regressionsgeraden

3.3.3 Literatur

(1) Fricke,W. und Uhse,K.(1994)
Anteile von Witterung und Emissionsminderung am SO_2-Rückgang in Deutschland. Staub-Reinhaltung der Luft 54, 1994, S.289-296.

(2) Stick,C.; Beilke,S.; Adolphsen,A.; Hundhausen,E.; Pielke,L. und Uhse,K. (1998)
Die lufthygienische Charakterisierung des Seeklimas an der Deutschen Nordseeküste im Vergleich zum Binnenland. Phys.Rehab.Kur Med 8, 1998, S.75-83, Georg Thieme Verlag Stuttgart,New York

(3) Fricke,W. and Beilke,S. (1993)
Changing concentrations and deposition of sulfur and nitrogen compounds in Central Europe between 1980 and 1992. In: Air Pollution Research Report 47, CEC, Proceedings of Joint Workshop CEC/BIATEX of Eurotrac , 4-7 May 1993, Aveiro, Portugal, pp.9-30 Editors: Slanina,J.; Angeletti,G. and Beilke,S.

(4) Hov,O.; Allegrini,J.; Beilke,S.; Cox,R.A.; Eliassen,A.; Elshout,A.; Gravenhorst,G.; Penkett,S.A. and Stern,R. (1987)
Evaluation of atmospheric processes leading to acid deposition in Europe. CEC Air Pollution Research Report 10, 185 pages.

(5) Georgii,H.W.; Rohbock,E. and Perseke,C.(1983)
Investigation of the wet and dry deposition of acidic and heavy metal components.In: Proceedings of CEC Symposium on Acid Deposition-A Challenge for Europe. Karlsruhe, Germany, 19-21 Sept. 1983; Editors: Ott,H. and Stangl,H., pp.82-105.

(6) Fowler,D. (1986)
The transfer of air pollutants to the ground by wet and dry deposition. In Lectures on regional and long-range transport of air pollution, Ispra, Italy, 15-19 September 1986, Edited by S.Sandroni, Elsevier Publ., Amsterdam, pp.95-126.

4.1 ZUSAMMENFASSUNG

1. Die Ergebnisse aus dem Luftmessnetz des Umweltbundesamtes werden erstmals in Form eines Jahresberichts für das Jahr 1998 vorgelegt. Das Messnetz besteht heute aus insgesamt 23 in ländlichen Gebieten gelegenen Stationen, wovon 9 Messstellen personell besetzt und 14 automatisch arbeitetende Containerstationen sind. Im vorliegenden Jahresbericht werden die Ergebnisse aus dem Jahre 1998 zusammenfassend dargestellt, bewertet und mit Messungen aus früheren Jahren verglichen. Daneben enthält der Bericht längere Übersichtsartikel zu speziellen Umweltproblemen von aktuellem Interesse wie beispielsweise zum Ozonsmog und zum sauren Regen, die in einem größeren räumlichen und zeitlichen Kontext unter besonderer Berücksichtigung der Beiträge aus dem Messnetz dargestellt werden.

2. Die Datensätze sind in sich homogen, d.h., es wurden im Verlauf der Jahre keine Veränderungen an den Messbedingungen vorgenommen, weder bei der Probenahme noch bei der Analytik. Außerdem wurden die Daten einer eingehenden Qualitätsprüfung unterzogen, sowohl intern als auch bei internationalen Vergleichen der Analysenverfahren.

3. Der betrachtete Zeitraum von 1982 bis 1998 ist für die Untersuchung der Trends von Konzentrationen sowie trockener und nasser Depositionen deshalb besonders interessant, weil während dieser Zeit die Emissionen einiger Luftschadstoffe z.T. drastisch reduziert worden sind (besonders die SO_2- und Staubemissionen), in geringerem Maße ab Ende der 80er Jahre auch die Emissionen von NH_3, NO_x und VOC. Die Auswirkungen dieser Maßnahmen auf die Konzentrationen und Depositionen dieser Luftverunreinigungen und ihrer Folgeprodukte werden in den vorliegenden Datensätzen sichtbar (siehe Kapitel 2 und 3).

Gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen

4. Für eine Reihe von Luftschadstoffen hat sich der abfallende bzw. steigende Trend auch im Jahre 1998 fortgesetzt. An den meisten Stationen in den alten und neuen Bundesländern wurden im Jahre 1998 die niedrigsten SO_2-Jahreswerte seit Beginn der Messungen beobachtet. Trotzdem lagen die SO_2-Konzentrationen an den UBA-Stationen im Süden der ehemaligen DDR in der Regel noch deutlich über denen in den alten Bundesländern. Im Gegensatz zum SO_2 waren die Unterschiede der NO_x-Konzentrationen an den UBA-Stationen in den alten und neuen Bundesländern nur noch gering. Während die SO_2-Konzentrationen während der letzten 20 Jahre an fast allen UBA-Stationen drastisch gesunken sind, waren die Änderungen beim NO_x geringer und nicht einheitlich.

5. Im Gegensatz zu den reaktiven Gasen SO_2 und NO_x sind die Konzentrationen der Treibhausgase Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4) weiter gestiegen mit einer Rate von ca.1.5 ppm/Jahr (0.4%/Jahr) für CO_2 und ca. 5 ppb/Jahr (0.3%/Jahr) für Methan, obwohl die Emissionen dieser Treibhausgase in Deutschland zwischen 1990 und 1997 um etwa 10% (CO_2) bzw. 35% (CH_4) reduziert worden sind. Wegen der im Vergleich zu typischen troposphärischen Mischungszeiten langen atmosphärischen

Verweilzeiten und des dominanten Einflusses des Ferntransports werden die Konzentrationen dieser Treibhausgase in Deutschland fast ausschließlich durch die zunehmenden Emissionen außerhalb Deutschlands bestimmt.

6. Bei den erstmals seit 1998 routinemäßig durchgeführten Messungen von 27 Kohlenwasserstoffen in Waldhof (Lüneburger Heide) und auf der Schmücke (Thüringer Wald) zeigten sich gegenläufige Jahresgänge für das überwiegend aus natürlichen Quellen emittierte Isopren mit einem Maximum im Sommer und den überwiegend aus anthropogenen Quellen stammenden gesamten VOC mit einem Minimum im Sommerhalbjahr und einem Maximum im Winter. Die Abnahme der Gesamt-VOC mit steigender Temperatur in den Sommermonaten ist auf die höhere vertikale Erstreckung der Mischungsschicht und die dadurch bewirkte größere Verdünnung in Verbindung mit einem intensiveren chemischen Abbau zurückzuführen. Diese Effekte werden beim Isopren durch die mit steigender Temperatur exponentiell steigenden Konzentrationen überkompensiert, so dass für Isopren im Sommer ein Konzentrationsmaximum beobachtet wird. Die Konzentrationsmuster der 27 VOCs sind an beiden Stationen sehr ähnlich.

7. Die höchsten Ozon-Jahresmittel treten generell an den Bergstationen auf. Im Jahre 1998 wurden am Schauinsland (1205 m ü.NN) 87 $\mu g/m^3$, auf dem Brotjacklriegel (1016 m ü.NN) 80 $\mu g/m^3$ und auf der Schmücke (937 m ü.NN) 72 $\mu g/m^3$ gemessen. Die höchsten Monatsmittel traten an den gleichen Stationen jeweils im Mai auf: Schauinsland (119 $\mu g/m^3$), Brotjacklriegel (107 $\mu g/m^3$) und Schmücke (105 $\mu g/m^3$). Der Grund für die höheren mittleren Ozon-Konzentrationen und den relativ schwach ausgeprägten Jahresgang der Monatswerte an den Mittelgebirgsstationen im Vergleich zu den Stationen im Flachland liegt neben den vergleichsweise geringen Ozon zerstörenden NO-Emissionen im näheren Einzugsbereich der Bergstationen vor allem daran, dass die Bergstationen häufig oberhalb der in der Regel ozonärmeren bodennahen Mischungsschicht in der freien Troposphäre liegen, vor allem im Winter.

8. Zwischen dem 6. und 12. August 1998 trat eine Ozonepisode mit sehr hohen Ozonwerten am 11. und 12. August auf, die am 12. August erstmals zu Fahrverboten auf der Grundlage des deutschen Ozongesetzes in den Bundesländern Baden-Württemberg, Hessen, Saarland und Rheinland-Pfalz führte. Die höchsten Stundenwerte an den Stationen im UBA-Messnetz wurden an diesen beiden Tagen mit 270 $\mu g/m^3$ in Leinefelde beobachtet, gefolgt von Rottenburg (258 $\mu g/m^3$) und Schmücke (238 $\mu g/m^3$). Zum Vergleich: Der höchste Ozon-Stundenwert in Deutschland wurde am 11. August mit 287 $\mu g/m^3$ in Neuwied beobachtet. Die hohen Ozonwerte waren auf die extreme meteorologische Situation zurückzuführen, die in weiten Teilen Süd - und Mitteldeutschlands zu Rekordtemperaturen führte (siehe Kapitel 3.1.5).

9. PAN (Peroxyacetylnitrat) wird seit 1995 an 3 UBA-Stationen gemessen: Zingst, Waldhof und Schauinsland. Noch ausgeprägter als beim Ozon traten 1998 die höchsten Jahres - und Monatswerte an der Bergstation Schauinsland auf: 679 ppt im Jahresmittel sowie 1183 ppt als maximales Monatsmittel im Mai. Dagegen waren die PAN-Konzentrationen an den Stationen Zingst und Waldhof wesentlich geringer. Hierfür sind neben dem vergleichsweise höheren Beitrag aus der freien Troposphäre

(siehe Punkt 8) wahrscheinlich auch die niedrigeren Temperaturen auf dem Schauinsland verantwortlich, da PAN bei niedrigeren Temperaturen stabiler ist.

10. Die Belastung der bodennahen Atmosphäre mit Schwebstaub hat sich in den ländlichen Regionen Deutschlands während der letzten 20 bis 30 Jahre in etwa halbiert. Der stärkste Rückgang der Staubkonzentrationen an den UBA-Stationen wurde zwischen 1990 und 1998 beobachtet. Der Rückgang ist im Wesentlichen auf die erhebliche Reduzierung der Staubemissionen während der letzten Jahrzehnte zurückzuführen, zuerst in den alten Bundesländern, ab 1990 vor allem in den neuen Bundesländern. Der Rückgang der Emissionen in Deutschland betrug zwischen 1970 und 1997 mehr als 80% *(UBA, 1999)*.

    Ähnlich wie beim Gesamtstaub haben auch die Schwefelgehalte während der letzten Jahrzehnte abgenommen. Der Rückgang des Schwefels im Schwebstaub ist auf die generelle Verminderung der Staubemissionen zurückzuführen und nicht auf die drastische Reduzierung der SO_2-Emissionen in Deutschland während der letzten 20 Jahre.

Ionen im Niederschlag

11. Auch im Jahre 1998 hat sich der Rückgang der Ionenkonzentrationen einiger Ionen wie beispielsweise H^+ und $SO_4^{=}$ fortgesetzt. Generell unterscheiden sich die Konzentrationen der Regeninhaltsstoffe Sulfat, Nitrat und Ammonium an den 8 personell besetzten Stationen Westerland, Zingst, Waldhof, Neuglobsow, Deuselbach, Schmücke, Schauinsland und Brotjacklriegel nur wenig, d.h., die Konzentrationsverteilung dieser Ionen in Deutschland ist recht homogen.

12. Die höchsten monatlichen Konzentrationen der überwiegenden Seesalz-Komponenten Natrium, Magnesium und Chlorid wurden naturgemäß an der Nordseestation Westerland beobachtet. Dagegen waren die Konzentrationen dieser Ionen an der Ostseestation Zingst wesentlich geringer.

13. Da die räumliche Verteilung der Ionen-Konzentrationen von Sulfat, Nitrat und Ammonium in Deutschland recht homogen ist, wird die nasse Deposition dieser Ionen weitgehend von der Regenmenge bestimmt, die in weiten Bereichen schwanken kann. Die räumliche Verteilung der nassen Ionen-Deposition ist deshalb wesentlich inhomogener als die entsprechende Verteilung der Konzentrationen. Hohe Depositionen treten vor allem an den Bergstationen auf.

Spezielle Umweltprobleme (Kapitel 3):

Entwicklung der Ozonbelastung in Deutschland zwischen 1990 und 1998 - Zusammenhänge mit der Emissionssituation (Kapitel 3.1):

14. Die Ozonbelastung in Deutschland wird heute flächendeckend in den Messnetzen des Umweltbundesamtes und der Bundesländer gemessen. Zwischen 1990 und 1998 hat sich die Zahl der Ozon-Messstellen von 220 auf insgesamt 377 (davon 23 UBA-Stationen) erhöht.

15. Nach diesen Messungen sind die Ozon-Spitzenwerte in Deutschland zwischen 1990 und 1998 deutlich zurückgegangen. So hat sich beispielsweise die Zahl der Tage, an denen an mindestens einer deutschen Ozon-Messstation die Stundenwerte von 180 $\mu g/m^3$ bzw. 240 $\mu g/m^3$ überschritten worden sind, im Untersuchungszeitraum um mehr als 50% bzw.70% vermindert.

    Die Absenkung der Ozon-Spitzenwerte ist im Wesentlichen auf die Reduzierung der Ozonvorläufer zurückzuführen. Zwischen 1990 und 1997 (vorläufig) haben die Emissionen in Deutschland um etwa 30% (NO_x) bzw. 40% (VOC) abgenommen.

16. Eine leichte Abnahme der Überschreitungshäufigkeiten wurde auch bei den niedrigen Ozon-Konzentrationen (etwa unterhalb von 60 $\mu g/m^3$) beobachtet. Dagegen haben die Ozon-Konzentrationen im mittleren Konzentrationsbereich etwa zwischen 60 und 120 $\mu g/m^3$ an vielen Stationen leicht zugenommen, d.h. die Häufigkeits-Verteilung der Ozon-Konzentrationswerte war 1997 insgesamt etwas enger als im Jahre 1990.

17. Im Gegensatz zu den Änderungen der Häufigkeits-Verteilung der Konzentrationen zeigen die Untersuchungen keine Abnahme der Jahresmittelwerte in Deutschland zwischen 1990 und 1997 (ca. 21 Millionen Messwerte) trotz des erheblichen Rückgangs der Vorläuferemissionen. Dieses scheinbar paradoxe Ergebnis ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die gleichen Ursachen zurückzuführen, nämlich den erheblichen Rückgang der Vorläuferemissionen im Bezugszeitraum. Die relativ niedrigen Ozonwerte, die bevorzugt an den stärker verkehrsbeeinflussten Stationen auftreten, steigen wegen der Verminderung des Titrationseffektes (Ozonabbau durch frisch emittiertes NO) leicht an, d.h. sehr niedrige Ozonwerte treten demzufolge seltener, mittlere Werte dagegen häufiger auf als im Jahre 1990. Bei den Jahresmittelwerten kommt noch hinzu, dass die Beiträge des Ozon-Ferntransports zu den Mittelwerten im Vergleich zu den Ozon-Spitzenwerten relativ groß sind.

18. Im Gegensatz zu den Ozon-Spitzenwerten können die mittleren Ozon-Konzentrationen durch ozonmindernde Maßnahmen in Deutschland allein nicht wirksam bekämpft werden. Wegen der weiträumig hohen Belastung und des vergleichsweise hohen Anteils des Ferntransports sind auch Maßnahmen in anderen europäischen Ländern und sogar in außereuropäischen Ländern der Nordhalbkugel notwendig. Vor diesem Hintergrund ist die Einhaltung bestimmter Grenzwerte für den Gesundheitsschutz, vor allem aber der niedrigen Grenzwerte für den Pflanzenschutz, nicht ganz unproblematisch (z.B. AOT40-Werte).

19. Eine Auswertung der im UBA-Messnetz gewonnenen Daten zum Ozon-Wochenendeffekt bestätigt die Ergebnisse der Arbeit von Brönnimann und Neu (1997) sowie auch die Ergebnisse des F+E-Vorhabens "Aktionsprogramm und Maßnahmeplan Ozon" (1997), wonach in ländlichen Gebieten Deutschlands und der Schweiz, in denen die Ozonbildung sowohl NO_x- als auch VOC-limitiert ist, bei hoher photochemischer Aktivität die niedrigeren NO-Emissionen an den Wochenenden häufig auch zu niedrigeren Ozonwerten an diesen Tagen führen.

Saurer Regen in Deutschland zwischen 1982 und 1998 (Kapitel 3.2):

20. Die pH-Werte im Niederschlag zeigen an den 5 Stationen in den alten Bundesländern einen deutlichen Anstieg von ca. pH 4.3-4.4 im Jahre 1982 auf pH 4.8-5.0 im Jahre 1998. 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 1980er Jahre. Die heutigen pH-Werte liegen im Bereich der natürlichen, d.h. der ohne anthropogene Beeinflussung in Mitteleuropa zu erwartenden Werte, die zwischen 4.6 und 5.6 liegen sollten. Gleichwohl liegen die Konzentrationen der meisten Regen-Inhaltsstoffe in weiten Regionen Mitteleuropas noch erheblich über denen eines natürlichen Regens. Bezüglich der Bedeutung des sauren Regens für die Schädigung der Flora (z.B.Waldsterben) sollte der pH-Wert nicht überbewertet werden, wie dies früher oft der Fall war, da der pH-Wert allein nur wenig über die Eigenschaften des sauren Regens und damit die Schädigung der Biosphäre aussagt.

Obwohl die Zeitspanne von nur 6 Jahren für die 3 Stationen in den neuen Bundesländern erheblich kürzer ist als der Untersuchungszeitraum von 17 Jahren für die 5 Stationen in den alten Bundesländern, ist eine Zunahme der pH-Werte auch an den neuen Stationen nicht zu übersehen. Der Rückgang der Konzentrationen der Wasserstoffionen von 1982 bis 1998 lag zwischen 86% in Deuselbach und 44% am Schauinsland.

21. Parallel zum Anstieg der pH-Werte hat der Gesamtgehalt an Ionen und damit die spezifische Leitfähigkeit im Niederschlag zwischen 1982 und 1998 an den Stationen in den alten Bundesländern - mit Ausnahme von Westerland, wo nur ein schwacher Rückgang beobachtet wurde - deutlich abgenommen. Für die 3 Stationen in den neuen Bundesländern ist zwischen 1993 und 1998 eine Abnahme ebenfalls erkennbar.

22. Die Abnahme des Gesamtgehaltes an Ionen im Regen während der letzten 2 Jahrzehnte ist verbunden mit einer Änderung der relativen Ionenverteilung. An den 4 kontinentalen Stationen Deuselbach, Waldhof, Schauinsland und Brotjacklriegel waren die prozentualen Anteile von H^+ und $SO_4^=$ im Jahre 1998 geringer, die relativen Äquivalentkonzentrationen von NO_3^- und NH_4^+ dagegen höher als 1984, wobei deren Absolutkonzentrationen ebenfalls abgenommen haben.

23. Der Rückgang der Leitfähigkeit und die Zunahme der pH-Werte zwischen 1982 und 1998 wurde von einer Abnahme einer Reihe von anderen Ionen als H^+ begleitet. Der stärkste Rückgang wurde beim Sulfat beobachtet, während die Abnahme von Nitrat und Ammonium weniger ausgeprägt war. Die Konzentrationen von Sulfat

verminderten sich im Zeitraum von 1982 bis 1998 um 40% (Schauinsland) bis 63% (Brotjacklriegel). Die entsprechende Abnahme der Nitrat-Konzentrationen lag zwischen 1% (Schauinsland) und 31% (Brotjacklriegel). Beim Ammonium nahm die Konzentration am Schauinsland um 1% zu, an den anderen 4 Stationen nahmen die Konzentrationen um 21% (Deuselbach) bis 32% (Westerland) ab.

24. Bezüglich der Langzeittrends von Kalium, Calcium, Magnesium, Natrium und Chlorid wurden nur geringe und nicht einheitliche Änderungen der Konzentrationen im Regen beobachtet. Generell sind die Variationen der Konzentrationen dieser Ionen größer und ihre räumliche Verteilung weniger homogen als bei Sulfat, Nitrat und Ammonium.

25. Die nasse Deposition wird in erheblichem Maße von der Regenmenge bestimmt. Hohe Regenmengen und damit hohe nasse Depositionen treten vor allem an den Bergstationen Schauinsland, Brotjacklriegel und Schmücke auf. Da die jährlichen Regenmengen keinen Langzeittrend zwischen 1982 und 1998 aufweisen, sind die Trends für die Konzentrationen und Depositionen sehr ähnlich.

Trend der Konzentrationen und Depositionen von Schwefel- und Stickstoffverbindungen in Deutschland zwischen 1982 und 1998 (Kapitel 3.3)

26. Der Schwefeleintrag aus der Luft in den Boden erfolgt im Wesentlichen durch trockene Deposition von SO_2 sowie durch nasse Deposition von Sulfat. An den 5 Stationen in den alten Bundesländern (Westerland, Waldhof, Deuselbach, Brotjacklriegel und Schauinsland) haben sich die SO_2-Konzentrationen und die trockene Schwefeldepositionen im Zeitraum von 1996-1998 gegenüber dem Zeitraum 1982-1984 um 71% (Westerland) bis 90% (Schauinsland) vermindert. Die entsprechende Verminderung der nassen Schwefeldeposition lag zwischen 18% (Waldhof) und 49% (Deuselbach). Der gesamte Schwefeleintrag aus nasser und trockener Deposition ging um 49% (Westerland) bis 73% (Waldhof) zurück.

27. Im Vergleich zum Schwefel sollte man wegen der geringeren Reduzierung der Emissionen von NO_x und NH_3 eine geringere Abnahme der Deposition von Stickstoffverbindungen erwarten. Verglichen mit den Jahren 1982-1984 haben die jährlichen Konzentrationen und die trockene Deposition von NO_2 in den Jahren 1996-1998 in Waldhof und Deuselbach um etwa 30% abgenommen, während in Westerland eine schwache Zunahme (4%), an den Bergstationen Schauinsland und Brotjacklriegel eine stärkere Zunahme (ca.18%) zu erkennen ist.

Eine Abschätzung der Depositionen von Stickstoff und deren Trendentwicklung wurde nicht vorgenommen, da zwei erheblich zur Gesamtdeposition beitragende Spurengase, nämlich HNO_3 und NH_3, im Messnetz des UBA bisher nicht routinemäßig gemessen werden.

4.2 EXECUTIVE SUMMARY

1. For the first time the results of the air pollution network of the German Federal Environmental Agency (FEA) are presented as an annual report for 1998. The network consists of 23 stations (9 stations with personal and 14 automatically working container stations) which are situated in rural areas. In this report the results for 1998 are summarized, discussed and compared with results of previous measurements. Furthermore, the report contains review articles on specific environmental topics of common interest (for example ozone smog and acid rain) which are presented in a wider spatial and temporal context under particular consideration of the contributions of the German FEA air pollution network.

2. Special care was taken to produce an internally consistent and homogeneous data set. Measurement apparatus and conditions of measurements were not changed over the years. All data were subjected to a comprehensive internal quality control and the analytical techniques were validated by external international intercomparisions.

3. The considered time frame from 1982 to 1998 is especially interesting for investigating concentration and deposition trends because emissions of some pollutants were drastically reduced (e.g. SO_2 and particulate matter). During the same period emissions of NO_x, VOCs and NH_3 were reduced to a lesser extent. The data set presented clearly demonstrates the effects of these reductions on concentrations and depositions of these pollutants including their reaction products (see chapters 2 and 3).

Gaseous pollutants and particulate matter

4. Since the beginning of SO_2 measurements annual concentrations were lowest in 1998 at most stations in western and eastern Germany. However, SO_2 concentrations in the southern part of the former German Democratic Republic were still considerably higher than in the western part of Germany. In contrast to SO_2 differences of NO_x concentrations between FEA-stations in eastern and western Germany were small. Over the last two decades SO_2 concentrations have drastically declined at most stations of the FEA-network. The decrease of SO_2 concentrations was caused by the drastic reduction of SO_2 emissions, first in western Germany and most western European countries, and since 1990 also in eastern Germany and neighbouring states. In Germany (east and west) SO_2 emissions decreased by ca. 80% between 1982 and 1997. On the other hand changes of NO_x concentrations were small and not uniform.

5. Concentrations of the two greenhouse gases carbon dioxide (CO_2) and methane (CH_4) have continued to increase with a rate of ca. 1.5 ppm/year (0.4%/year) for CO_2 and ca. 5 ppb/year (0.3%/year) for CH_4 in spite of a reduction of emissions of these gases in Germany between 1990 and 1997 by ca. 10% (CO_2) and 35% (CH_4), respectively. The further increase is due to the fact that atmospheric residence times of CO_2 and CH_4 are long as compared with typical times for mixing within the troposphere. As a result the increasing concentrations of CO_2 and CH_4 measured at the 5 FEA-Stations Westerland, Waldhof, Deuselbach, Schauinsland and Brotjacklriegel are caused by the increasing emissions in other countries.

6. Since 1998 twenty-seven hydrocarbons have been measured on a routine basis at Waldhof (Lüneburg Heath) and Schmücke (Thuringian Forest) twice a week. For naturally emitted hydrocarbons like isoprene concentrations are highest in summer whereas hydrocarbons of anthropogenic origin show maximum concentrations in winter. Concentration pattern of the 27 hydrocarbons are similar at both sites.

7. Highest annual mean concentrations for ozone are generally observed at mountain stations. In 1998 annual mean concentrations were 87 $\mu g/m^3$ at Schauinsland (1205 m. a.s.l), followed by 80 $\mu g/m^3$ at Brotjacklriegel (1016 m) and 72 $\mu g/m^3$ at Schmücke (937 m). Highest monthly mean concentrations were observed at the same sites: Schauinsland (119 $\mu g/m^3$), Brotjacklriegel (107 $\mu g/m^3$) and Schmücke (105 $\mu g/m^3$).

8. Between 6-12 August 1998 an ozone smog episode occurred leading to high ozone peak concentrations on 11/12 August in large regions of Germany due to an extreme meteorological situation. For the first time a traffic ban for polluting cars was put into force in some federal states according to the German Ozone Law of 1995. During both days highest hourly mean concentrations at the FEA-stations were observed at Leinefelde (270 $\mu g/m^3$) followed by Rottenburg (258 $\mu g/m^3$) and Schmücke (238 $\mu g/m^3$). The highest ozone concentration in Germany in 1998 was measured at Neuwied on 11 August (287 $\mu g/m^3$).

9. PAN (Peroxyacetyl nitrate) has been measured since 1995 at 3 FEA-stations: Zingst, Waldhof and Schauinsland. Highest concentrations were observed at Schauinsland: 679 ppt as an annual mean and 1183 ppt as a maximum monthly mean. PAN concentrations at Zingst and Waldhof were considerably lower.

10. Concentrations of total particulate matter at the FEA-stations have decreased by ca. 50% over the last 20 to 30 years. The largest decrease was observed between 1990 and 1998. The decline of total particulate matter concentrations was essentially caused by emission reductions during the last decades, first in western Germany, and since 1990 above all in eastern Germany. Between 1970 and 1997 emissions of total particulate matter in Germany (east and west) was reduced by more than 80%.

    Similar to total particulate matter sulfur aerosol concentrations have decreased to a similar degree. The decrease of sulfur mass in aerosol was caused by the general emission reduction of total particulate matter and not by the drastic reductions of SO_2 emissions in Germany.

Ions in precipitation

11. The general decrease of ion concentrations of some precipitation constituents like H^+ and $SO_4^=$ has continued in 1998. In general concentrations of sulfate, nitrate and ammonium in rainwater at the 8 FEA-stations Westerland, Zingst, Waldhof, Neuglobsow, Deuselbach, Schauinsland, Schmücke and Brotjacklriegel are similar in magnitude i.e. the concentration pattern for these ions in Germany is rather homogeneous.

12. Highest monthly average concentrations of compounds originating mainly from sea-salt (sodium, magnesium, chloride) were found at Westerland (North Sea coast). As compared to Westerland ion concentrations of sea-salt compounds were considerably lower at Zingst (Baltic Sea coast).

13. Due to the homogeneous distribution of some ion concentrations (sulfate, nitrate, ammonium) in Germany wet deposition of these ions is largely determined by the amount of rainfall which can vary widely as a function of orographic and climatological conditions. Accordingly, the wet deposition pattern is much more inhomogeneous than the corresponding concentration pattern.

Specific environmental topics

Ozone burden in Germany between 1990 and 1998 (Chapter 3.1)

14. Ozone concentrations in Germany are measured by the air pollution monitoring networks of the federal states and the network of the Federal Environmental Agency (FEA). Between 1990 and 1998 the number of ozone stations increased from 220 to 377 (of them 23 FEA-stations).

15. According to these measurements ozone peak values in Germany have clearly decreased between 1990 and 1998. For example, the number of days per year showing for at least on station an exceedance of an hourly mean concentration of 180 $\mu g/m^3$ has decreased by more than 50%. The corresponding decrease of exceedances of 240 $\mu g/m^3$ was higher than 70%. The decline of ozone peak concentrations is the result of the ozone precursor emission reductions. Between 1990 and 1997 precursor emissions in Germany decreased by ca. 30% (NO_x) and 40% (VOC), respectively.

16. A slight decrease was also observed for the frequency of exceedances at low ozone concentrations (below ca. 60 $\mu g/m^3$). On the other hand ozone concentrations in the medium range (between ca. 60 and 120 $\mu g/m^3$) of the ozone concentration spectra have slightly increased at many stations i.e. the frequency distribution of ozone concentrations was more narrow in 1997 as compared to 1990.

17. As opposed to the change of the spectral distribution of ozone concentrations the evaluations showed no decrease of annual average ozone values between 1990 and 1997 in spite of the remarkable reduction of ozone precursor emission during this period. This apparent paradox is most likely the result of the emission reductions of NO_x and VOC in Germany which can lead to both an increase and decrease of ozone. Relatively low ozone concentrations occurring in areas with heavy traffic are increasing as a result of the titration effect (O_3 reaction with NO emitted by cars) i.e. very low ozone values occurred less frequently whereas concentrations in the medium range of the ozone spectra were observed more frequently in 1997 as compared to 1990. As far as annual mean concentrations are concerned it must also be taken into account that the contributions from long-range transport of ozone are relatively large as compared to the peak concentrations.

18. In contrast to ozone peak values the abatement of mean concentrations in Germany implies that long-term emission reductions are necessary on a large scale in order to solve the ozone problem. Against this background it is problematic to meet some of the stringent air quality standards for ozone in Germany (for example AOT40 values in CEC Daughter Directive Ozone 1999) because reduction measures have to be applied on a national, European and even on a global northern hemispheric scale.

19. An investigation of the ozone "weekend effect" on the basis of measurements in the FEA-network has confirmed the results of Brönnimann and Neu (1997) and the results of a FEA research project (1997) according to which in rural areas of Germany and Switzerland during periods of high photochemical activity lower ozone concentrations are frequently observed and predicted at the weekends as a result of the lower NO emissions over the weekend.

Acid rain in Germany between 1982 and 1998 (Chapter 3.2)

20. Today precipitation is considerably less acidic than at the beginning of the 1980s. Precipitation pH for the 5 stations in western Germany (Westerland, Waldhof, Deuselbach, Schauinsland, Brotjacklriegel) increased from 4.3-4.4 in 1982 to values between 4.8-5.0 in 1998. Although today›s pH values are in the range of a natural rain in central Europe (pH 4.6 to 5.6) which is not influenced by anthropogenic emissions, rain in central Europe is still far from being a natural one as concentrations of most ions in rainwater are still considerably higher than those occurring in natural rain. Concerning the damage to the biosphere (forests, crops) by acid rain the pH should not be overemphasized in its importance as has been the case in the past because the pH alone provides a rather poor characterisation of the acid properties of rainwater.

    An increase of precipitation pH is also evident for the 3 stations in eastern Germany (Zingst, Neuglobsow, Schmücke) although the 6 years time period is much shorter than the period of 17 years for the 5 western stations. The decrease of hydrogen ions from 1982 to 1998 was between 86% at Deuselbach and 44% at Schauinsland.

21. Parallel to the increase of pH total electrolytical conductivity in precipitation has decreased at the same stations except for Westerland, where a corresponding declining trend is masked by the overwhelming dominance of sea-salt contribution to conductivity. An decreasing trend is also obvious for the shorter time period at the 3 eastern stations.

22. Decrease of the total ion content in precipitation over the last two decades was accompanied by a change of the relative ion distribution. The percent fractions of H^+ and $SO_4^=$ were lower in 1998 as compared to 1984 for the 4 continental stations Deuselbach, Waldhof, Schauinsland and Brotjacklriegel. On the other hand the relative equivalent concentrations of NO_3^- and NH_4^+ were higher in 1998 although their absolute concentrations have decreased, too.

23. The decline of electrolytical conductivity and the pH increase between 1982 and 1998 was paralleled by a decrease of other ions than H^+ The strongest decrease was observed for sulfate. On the other hand decrease of nitrate and ammonium was less pronounced. Between 1982 and 1998 sulfate concentrations at the 5 western stations decreased between 40% (Schauinsland) and 63% (Brotjacklriegel). The corresponding decline of nitrate was between 1% (Schauinsland) and 31% (Brotjacklriegel). For ammonium concentrations increased by 1% at Schauinsland and decreased between 21% (Deuselbach) and 32% (Westerland).

24. As far as long-term concentration trends of potassium, calcium, magnesium, sodium and chloride are concerned only small changes were observed which were not uniform. Variations of their concentrations are generally larger and their spatial distribution is less homogeneous than for sulfate, nitrate and ammonium.

25. Wet ion deposition is largely determined by the amount of rainfall. Precipitation amounts and wet deposition are highest at the mountain stations Schauinsland, Brotjacklriegel and Schmücke. As the annual amounts of precipitation did not show a long-term trend between 1982 and 1998 the trends for ion concentrations and wet deposition are very similiar.

Concentration and deposition trends for sulfur and nitrogen compounds in Germany between 1982 and 1998

26. Deposition of sulfur from the air into the soil mainly proceeds by two processes: dry deposition of SO_2 and wet deposition of sulfate. At the 5 western stations (Westerland, Waldhof, Deuselbach, Schauinsland, Brotjacklriegel) concentrations and dry deposition of SO_2 decreased between 1982-1984 and 1996-1998 by 71% (Westerland), 72% (Brotjacklriegel), 80% (Deuselbach), 86% (Waldhof) and by 90% (Schauinsland). The corresponding decline of wet sulfur deposition was: 18% (Waldhof), 19% (Westerland), 37% (Brotjacklriegel), 42% (Schauinsland) and 49% (Deuselbach). The decrease of total (wet and dry) sulfur deposition was: 49% (Westerland), 55% (Schauinsland), 57% (Brotjacklriegel), 71% (Deuselbach) and 73% (Waldhof).

27. When comparing deposition of nitrogen compounds with sulfur deposition one should expect a much smaller decrease of nitrogen compounds due to the lower emission reduction of NO_x and NH_3 between 1982 and 1998. At Waldhof and Deuselbach the annual concentrations and dry deposition of NO_2 have decreased by ca. 30% between 1982-1984 and 1996-1998. The other stations showed a slight to moderate increase of NO_2 concentrations: ca. 4% for Westerland and ca. 18% for Schauinsland and Brotjacklriegel. An assessment of deposition of nitrogen compounds was not attempted because two important gases (HNO_3 and NH_3) contributing significantly to total nitrogen deposition were not measured on a routine basis.