



Jahresbericht 2000 des Messnetzes

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

Redaktion: Fachgebiet II 6.5
Siegfried Beilke
Karin Uhse

Berlin, November 2001

UBA-MESSNETZ - JAHRESBERICHT 2000

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	5
KURZFASSUNG.....	7
ABSTRACT	9
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 zu Kapitel 1	19
2. ERGEBNISSE DER IMMISSIONS-MESSUNGEN 2000 UND VERGLEICH MIT FRÜHEREN WERTEN.....	20
2.1 Gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen	20
2.1.1 Schwefeldioxid (SO₂).....	20
2.1.2 Stickoxide (NO_x)	32
2.1.3 Ozon (O₃)	49
2.1.4 Flüchtige Organische Substanzen (VOC)	62
2.1.5 Kohlendioxid (CO₂)	73
2.1.6 Methan (CH₄).....	78
2.1.7 Partikelförmige Luftverunreinigungen.....	81
2.2 Ionen im Niederschlag	91
2.2.1 Konzentrationen der Ionen im Niederschlag.....	91
2.2.2 Depositionen von Ionen mit dem Niederschlag	98
2.2.3 Weekly wet-only Messungen	103
2.3 Literatur zu Kapitel 2	110

3. SPEZIELLE UMWELTPROBLEME	111
3.1 Bodennahes Ozon auf Sylt.....	111
3.1.1 Einleitung	111
3.1.2 Die Ozonbelastung auf Sylt	112
3.1.3 Überschreitung von Ozon-Schwellenwerten auf Sylt.....	117
3.1.4 Zukünftige Entwicklung der Ozonbelastung auf Sylt.....	119
3.1.5 Literatur zu Kapitel 3.1.....	121
3.2 Die Ozon-Episode vom 18. bis 22. Juni 2000 in Deutschland	122
3.2.1 Einleitung	122
3.2.2 Analyse der Ozonepisode vom 18. bis 22. Juni 2000.....	124
3.2.3 Zukünftige Entwicklung der Ozonspitzenwerte	136
3.2.4 Literatur zu Kapitel 3.2.....	136
3.3 CO₂-Messkampagne auf dem Feldberg/Schwarzwald.....	138
3.3.1 Einleitung	138
3.3.2 Ergebnisse.....	138
3.3.3 Fazit	142
3.4 Optimierung des „wet-only“-Niederschlags-Messnetzes im Hinblick auf eine resourcenschonende Aufgabenerfüllung	145
3.4.1 Zusammenfassung.....	145
3.4.2 Einleitung	145
3.4.3 Methode.....	147
3.4.4 Ergebnisse.....	149
3.4.5 Die optimierte Messnetzstruktur.....	157
3.4.6 Flächeninterpolation	159
4.1 Zusammenfassung	161
4.1.1 Gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen	161
4.1.2 Ionen im Niederschlag.....	163
4.1.3 Spezielle Umweltprobleme (Kapitel 3).....	164
4.2 Executive Summary	168
4.2.1 Gaseous pollutants and particulate matter	169
4.2.2 Ions in precipitation	170
4.2.3 Specific environmental topics (Chapter 3).....	171

VORWORT

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

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

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

Dies ermöglicht den Interessenten einen schnelleren Zugriff auf die Messnetzdaten. Der Druck und damit der Versand der Monatsberichte wurde eingestellt. Gleichzeitig wurde erstmals für das Jahr 1998 ein Jahresbericht des Messnetzes herausgegeben. Die Berichterstattung wird nach zwischenzeitlicher Veröffentlichung des Berichtes zu den Messwerten des Jahres 1999 mit dem hier vorgelegten Bericht zum Jahr 2000 fortgeführt. **Die deutsche und die englische Zusammenfassung (Kapitel 4.1 und 4.2) sowie die Berichte aus Kapitel 3 sind unter o.g. Internet-Adresse verfügbar. Dies gilt auch für die Berichte der Jahre 1998 und 1999 sowie die deutsche und englische Fassung der Messnetzbroschüre „Luft kennt keine Grenzen“.**

Zusätzlich werden ab dem Sommer 2001 die SO₂-, NO₂-, Ozon- und PM₁₀-Werte der Messnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes zusammen aktuell im Internet als Karten und Tabellen zur schnellen Information der Bevölkerung dargestellt. Die Internet-Adresse dieser Online-Darstellung, die alle 3 Stunden aktualisiert wird, lautet:

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

Dieser 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" (*Ref. 2*) übernommen. Dieser Teil ist - jeweils auf den neuesten Stand gebracht - in allen folgenden Jahresberichten enthalten, um dem Leser das mühsame Suchen der zum Verständnis der folgenden Kapitel notwendigen Informationen in früheren Berichten zu ersparen.
- Im zweiten Kapitel werden die Ergebnisse der Messungen aus dem Jahre 2000 zusammenfassend dargestellt, bewertet und mit den Messungen aus früheren Jahren verglichen. Die Messergebnisse aus dem Jahre 2000 werden größtenteils in Form von

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

Adresse:
Umweltbundesamt
FG II 6.5 – Messnetzdatenzentrale
Karin Uhse
Paul-Ehrlich-Straße 29
D-63225 Langen
Tel.: + + 49/6103/704-104

- Das dritte Kapitel enthält Übersichtsartikel zu speziellen Umweltproblemen, die in einem größeren zeitlichen und räumlichen Kontext unter besonderer Berücksichtigung der Beiträge aus dem Messnetz dargestellt werden. Der vorliegende Bericht greift das Thema Ozon unter verschiedenen Gesichtspunkten auf. Die in diesen Artikeln veröffentlichten Zusammenhänge stellen die Meinung der Autoren und nicht notwendigerweise die offizielle Meinung des Umweltbundesamtes dar.

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

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

KURZFASSUNG

Das Umweltbundesamt betreibt ein bundesweites Messnetz, das heute aus insgesamt 23 in ländlichen Regionen gelegenen Stationen besteht. Im vorliegenden Jahresbericht 2000 werden die Ergebnisse aus dem UBA-Messnetz für das Jahr 2000 vorgestellt, interpretiert und mit den Ergebnissen aus früheren Jahren verglichen. Die Messdaten sind in sich homogen und wurden einer eingehenden Qualitätsprüfung unterzogen.

Zusammenfassend zeigen die Messungen, dass sich die großräumige Luftqualität in Deutschland während der letzten Jahrzehnte, insbesondere nach 1990, erheblich verbessert hat. So wurden beispielsweise im Jahre 2000 die niedrigsten SO₂-und Schwebstaubkonzentrationen im UBA-Messnetz seit Beginn der Messungen Ende der 60er und Anfang der 70er Jahre gemessen. Erfreulich ist auch die deutliche Abnahme des Säuregehaltes im Regen in den vergangenen 2 Jahrzehnten sowie der Rückgang der Ozonspitzenkonzentrationen während der letzten 10 Jahre. Dagegen haben die mittleren Ozonkonzentrationen im gleichen Zeitraum zugenommen.

Generell lässt sich feststellen, dass sich die Luftqualität an den Stationen in den neuen und alten Bundesländern seit der Wiedervereinigung im Jahre 1990 einander soweit angeglichen hat, dass heute kaum noch Unterschiede festzustellen sind.

Die Abnahme der Konzentrationen von SO₂, Staub und der Ozon-Spitzen ist im Wesentlichen auf die erhebliche Verringerung der Emissionen von SO₂, Staub, VOC und NO_x in Deutschland und teilweise auch in den deutschen Nachbarstaaten zurückzuführen. Die scheinbar paradoxe Zunahme der mittleren Ozon-Konzentrationen in Deutschland ist neben dem zunehmenden Beitrag aus dem nordhemisphärischen Hintergrund-Ozon zu einem nicht unerheblichen Teil auf die Reduzierung der Stickoxide zurückzuführen.

Auf der anderen Seite haben die Konzentrationen einer Reihe von Luftschadstoffen trotz erheblicher Emissionsminderungen in Deutschland weiter zugenommen (z.B. CO₂, CH₄, N₂O), oder sie haben nicht in dem Maße abgenommen, wie dies aufgrund des Emissionsrückgangs in Deutschland zu erwarten gewesen wäre (z.B. Staub, NO_x). Der Grund liegt wahrscheinlich in den sehr unterschiedlichen Beiträgen, die der Ferntransport aus den europäischen und außereuropäischen Ländern zu den Schadstoffkonzentrationen in Deutschland liefert. Während der Ferntransport von SO₂ heute wegen der drastischen Emissionsminderungen auch in unseren westlichen und östlichen Nachbarstaaten eine wesentlich geringere Rolle spielt als noch vor zehn Jahren, dürften die Beiträge des regionalen bis globalen Ferntransports für viele andere Luftverunreinigungen von zunehmender Bedeutung zu sein. Der Ferntransport muss bereits heute bei der nationalen und internationalen Umweltgesetzgebung berücksichtigt werden, da einige der sehr niedrigen Zielwerte zum Schutz von menschlicher Gesundheit und Vegetation ohne eine Verminderung der Beiträge des Ferntransports nicht eingehalten werden können. So ist beispielsweise der in der EU-Tochterrichtlinie für Ozon definierte Langzeitzielwert für den Schutz der Vegetation von 3000 ppb h ohne eine Verringerung der Beiträge des Ferntransports, auch des interkontinentalen Ozontransports aus Asien und Nordamerika, in Deutschland nur schwer einzuhalten.

Vor diesem Hintergrund bleibt die Überwachung der großräumigen Verteilung einer Reihe von Luftschadstoffen eine bedeutende Aufgabe für das UBA-Messnetz, da hierdurch

Rückschlüsse auf die Beiträge des Ferntransportes gezogen werden können. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Bestimmung des nordhemisphärischen Hintergrundes und dessen langzeitiger Änderung für eine Vielzahl von Luftverunreinigungen, da die Kenntnis dieses Hintergrundes für die Beurteilung der Wirksamkeit von deutschen Minderungsmaßnahmen wichtig ist. Dieses Hintergrundniveau markiert eine Grenze, die durch emissionsmindernde Maßnahmen in Deutschland kaum unterschritten werden kann.

Die Veränderung der Emissions- und Immissionssituation in Deutschland erfordert sowohl ein Anpassung der Aufgaben als auch der Struktur des UBA-Messnetzes. So wird beispielsweise im vorliegenden Jahresbericht gezeigt, dass die Zahl der Niederschlagsmessstellen (wet-only) von derzeit 30 auf etwa 20 reduziert werden kann, ohne dass wesentliche Einbußen im Informationsgehalt eintreten.

ABSTRACT

In this report the results of the air pollution monitoring network of the Federal Environmental Agency (FEA) are presented for the year 2000. The results are interpreted and compared with measurements carried out in previous years. The network consists of 23 stations situated in rural areas. As the data set was thoroughly quality controlled reliable statements on long-term trends of air pollutants can be made.

In general air quality in Germany has considerably improved over the last decades especially in the years after 1990. As an example, lowest concentrations of SO₂ and total particulate matter were observed in 2000 since the beginning of measurements in the late 1960s and early 1970s. Other examples for an improvement of air quality are the increase of rainwater pH from 4.2 – 4.3 to 4.8 – 5.0 between 1982 and 2000 and a decline of ozone peak concentrations over the last decade. In contrast to ozone peak values mean concentrations have slightly increased during this period.

Decreasing concentrations of SO₂, particulate matter and ozone peak values were essentially caused by considerable emission reductions of SO₂, particulate matter, NO_x and VOC in Germany and to some extent also in the neighbouring countries. The apparent paradox of a decrease of ozone peak values and an increase of ozone mean values was mainly caused by NO_x emission reductions.

On the other hand concentrations of a series of air pollutants have continued to rise in spite of considerable emission reductions in Germany (CO₂, CH₄, N₂O). For other air pollutants concentrations have not decreased to the extent they should have on the basis of emission reductions in Germany (for example NO_x, particulate matter). The main reason is the different extent to which regional to global long-range transport from other European countries and other continents contribute to the pollutant concentrations measured at the FEA monitoring sites. Taking into account the considerable emission reductions in Germany in the past and the predicted reductions in the future the contribution of long-range transport to the pollutant levels in this country becomes more and more important including the intercontinental transport of air pollutants (for example ozone). There is well documented evidence that intercontinental transport of pollutants is important with respect to accumulated pollutant exposure (for example AOT40: 3000 ppb h ozone for the protection of vegetation). As objectives and air quality standards in Germany and in the European Union are made more stringent, the contribution of intercontinental transport to exceedances of those objectives will increase.

Against this background measurements of pollutants in the large-scale remain an important task for the FEA monitoring network. Of special importance is the measurement of the northern hemispheric background pollutant concentrations and their long-term changes.

The changing situation regarding emissions and concentrations in Germany requires an adaptation of the tasks of the FEA monitoring network and an adjustment of its structure in order to meet the new situation. As an example, the number of wet-only precipitation sites will be reduced from 30 to ca. 20 without loosing any content of information.

1. DATEN ZUM MESSNETZ DES UMWELTBUNDESAMTES

1.1 Lage der Messstellen

Das Luftpollutantennennetz des Umweltbundesamtes besteht seit über 30 Jahren. Es wurde Mitte der 60er Jahre von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gegründet und 1974 vom Umweltbundesamt übernommen. Nähere Informationen über die Entwicklung des Messnetzes sind in den Referenzen 1 und 2 enthalten. Das Ziel für die Errichtung des Messnetzes war, die Zusammensetzung von "Normalluft" kennen zu lernen, die als Bezug für biologische und medizinische Wirkungsuntersuchungen in Gebieten mit erhöhten Verunreinigungen der Luft dienen sollte. Unter "Normalluft" wollte man dabei die über einen größeren Raum und 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 Luftpollutantennennetz 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 2000 betriebenen personell besetzten Messstellen und der Containerstationen ist in [Abbildung 1](#) dargestellt. [Tabelle 1](#) enthält die geographischen Koordinaten der 35 UBA-Messstationen, deren Höhen über NN sowie Beginn und Ende der Messtätigkeit. Diese große Anzahl der Stationen ergibt sich daraus, dass 1998/1999 einige Container versetzt und an einigen Standorten die Messungen komplett eingestellt wurden. Dies ist auch bei allen nachfolgenden Tabellen zu beachten.

Immissionsmessnetz des Umweltbundesamtes Stand 2000

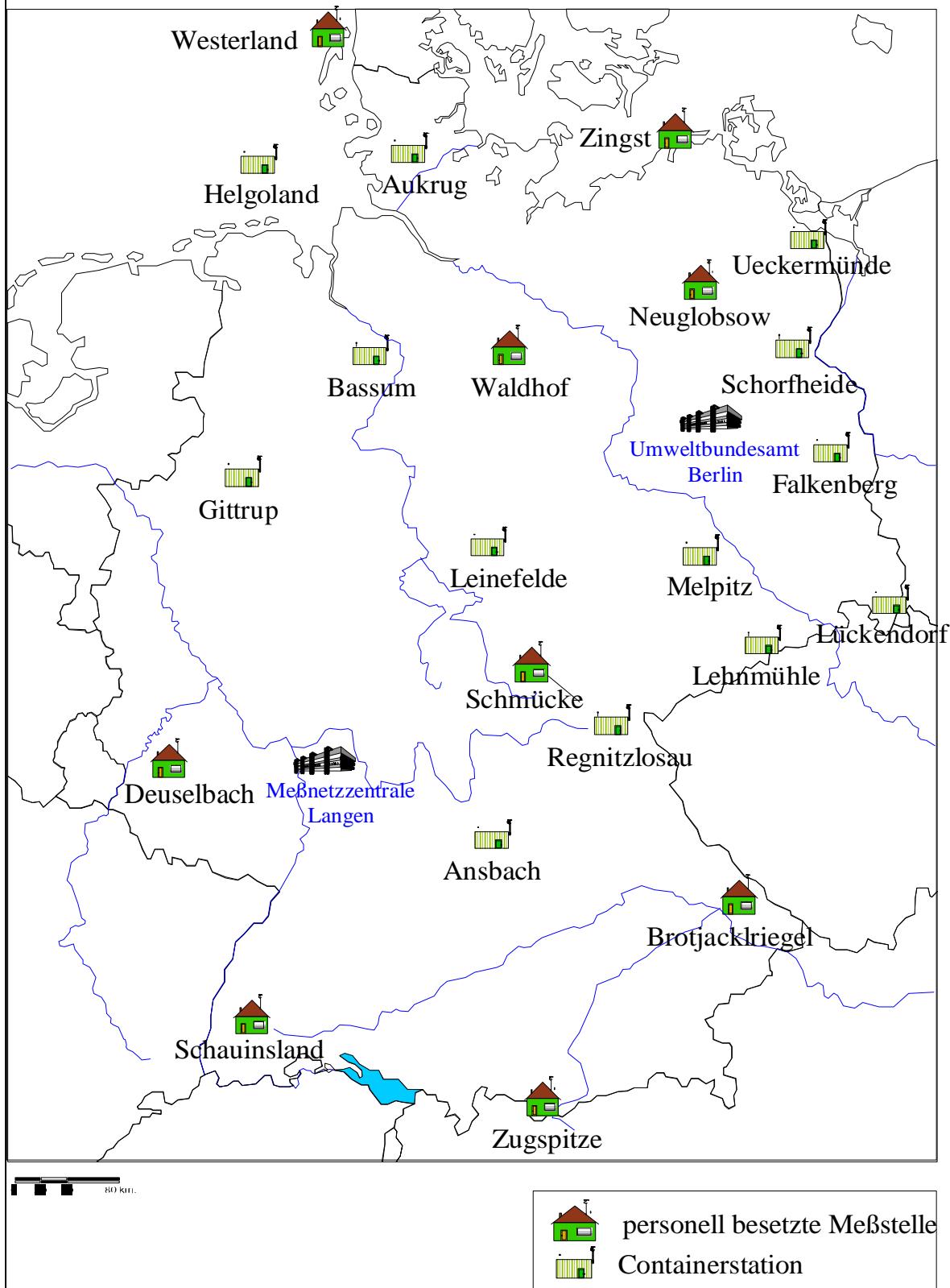


Abbildung 1: Das Messnetz des Umweltbundesamtes

Tabelle 1: Geographische Lage der Messstellen

Stationsname	Stations-Kennung	geographische Koordinaten		Höhe ü NN in m	Messbeginn	Messende
		Nord	Ost			
Angermünde	AN	53°01'54"	13°59'37"	56	Jul 91	Apr 99
Ansbach	AS	49°14'54"	10°35'07"	481	1976	
Aukrug	AU	54°04'29"	09°47'34"	15	Jul 98	
Bassum	BA	52°51'08"	08°42'05"	52	1976	
Brotjacklriegel	BR	48°49'05"	13°13'11"	1016	1968	
Deuselbach	DE	49°45'47"	07°03'18"	480	1967	
Doberlug-Kirchhain	DL	51°38'49"	13°34'31"	97	Mär 91	Okt 98
Falkenberg	FA	52°10'01"	14°07'27"	73	Okt 98	
Forellenbach *	FB	48°56'55"	13°25'20"	858	Jan 00	
Gittrup	GI	52°02'38"	07°40'23"	43	Sep 87	
Herleshausen	HE	51°02'19"	10°09'13"	380	Jun 89	Jan 99
Helgoland	HG	54°11'18"	07°52'38"	50	Aug 93	
Hohenwestedt	HW	54°06'58"	09°42'44"	75	1976	Jun 98
Kyritz	KY	52°56'19"	12°24'41"	40	Mär 91	Jul 98
Leinefelde	LF	51°23'39"	10°18'49"	356	Dez 91	
Lindenberg	LI	52°12'44"	14°07'15"	98	Mär 91	Okt 98
Lehnsmühle	LM	50°49'55"	13°35'18"	527	Nov 93	
Lückendorf	LU	50°49'44"	14°47'17"	490	Nov 91	
Meinerzhagen	ME	51°05'56"	07°40'04"	510	1976	Aug 98
Melpitz	MP	51°31'32"	12°55'39"	86	Nov 93	
Murnauer Moos	MU	47°39'05"	11°12'12"	622	Feb 95	Mai 99
Neuglobsow	NG	53°08'34"	13°02'00"	65	Nov 91	
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	

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

1.2 Messprogramm

Das derzeitige Messprogramm ist in der Tabelle 2 übersichtlich zusammengestellt (Stand: Januar 2000). In den Tabellen sind nur die Messverfahren mit der höchsten zeitlichen Auflösung angegeben. Die Messverfahren sind der Tabelle 3 zu entnehmen. Alle in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ angegebenen Messwerte sind auf 20°C und 1013 hPa bezogen. Die im Messnetz des UBA gewonnenen Datensätze sind in Bezug auf Probenahme und Analyse konsistent und homogen. Sie werden eingehenden Qualitätskontrollen unterzogen, so dass belastbare Trendaussagen möglich sind.

Die Betriebszentrale für das Messnetz des Umweltbundesamtes zog im Juli 1998 von Offenbach nach Langen, das sich ca. 30 km südlich von Frankfurt/Main befindet. Hier sind zusammen mit anderen Fachgebieten u.a. die Zentrallabors, die Betriebszentrale und die Messnetzdatenzentrale untergebracht. Die Messnetzleitung befindet sich im Umweltbundesamt in Berlin.

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

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

In der Messnetzdatenzentrale laufen alle Werte aus dem Messnetz zusammen. Stündlich werden die Messwerte der kontinuierlich registrierenden Analysatoren von 8 der 9 Messstellen (außer GAW) und 14 Containern via ISDN abgerufen und z.B. die Ozon- und Meteorologie-Werte in das Sommer-Smog-Informations-System zur UMEG 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 besteht eine enge Zusammenarbeit mit der Pilotstation des UBA in Langen.

Tabelle 2: Messprogramm des Messnetzes des Umweltbundesamtes

Messstelle	Bestimmungen von Gasen									Bestimmungen im Schwebstaub				Meteoroologie	Niederschlag	Strahlung
	SO ₂	NOx	O ₃	CO ₂	CH ₄	PAN	Hg	KW	TSP	SO ₄	ΣN	SM				
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					3T	R	T	M	M	R	W	
Deuselbach	R	R	R	R	R					R	T	M	M	R	T/W	
Falkenberg	R	R	R							R				R	W	
Forellenbach	R	R	R											R	W	
Gittrup	R	R	R							R				R		
Helgoland	R	R	R							T				R	W	
Langen															R	R
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	
Neuglobsow	R	R	R	R	R					R	T	M	M	R	W	
Regnitzlosau	R	R	R							R				R	W	
Schauinsland	R	R	R	R	R	R				R	T	M	M	R	W	R R
Schmücke	R	R	R	R	R				3T	R	T	M	M	R	W	
Schorfheide	R	R	R							R				R	W	
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	W	
Zingst	R	R	R	R	R	R	R	3T		R	T	M	M	R	W	R R
Zugspitze	R	R	R	R	R				3T	R				R		

Gase:	SO ₂	Schwefeldioxid	Strahlung:	UV	UV-Strahlung
	NO _x	Stickoxide: NO, NO ₂ , NO _x		G	Globalstrahlung
	O ₃	Ozon	Niederschlag:		nasse Deposition
	CO ₂	Kohlendioxid			pH-Wert, Leitfähigkeit
	CH ₄	Methan			SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , Cl, Ca, Na,
	PAN	Peroxyacetyl nitrat			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/PM ₁₀	Schwebstaub:	SM	Schwermetalle: Cu, Pb, Cd, Fe, Mn, Ni
	SO ₄	Sulfat			
	ΣN	$\Sigma \text{NH}_3 + \text{NH}_4^+, \text{HNO}_3 + \text{NO}_3$			

Tabelle 3: Messverfahren im Messnetz des Umweltbundesamtes

Komponente	Messverfahren	Messintervall
Schwefeldioxid	UV-Fluoreszenz	Halbstunde
Schwefeldioxid	TCM	Tag
Stickoxide: NO, NO₂, NO_x	Chemilumineszenz	Halbstunde
Stickstoffdioxid	Saltzman	Tag
Ozon	UV-Absorption	Halbstunde
Kohlendioxid	IR-Absorption	Halbstunde
Kohlendioxid	Gaschromatographie	Halbstunde
Methan	Gaschromatographie	Halbstunde
Lachgas (N₂O)	Gaschromatographie	Halbstunde
Schwefelhexafluorid (SF₆)	Gaschromatographie	Halbstunde
Peroxyacetylinitrat (PAN)	Gaschromatographie	Halbstunde
Quecksilber	Atomfluoreszenz	Halbstunde
Kohlenwasserstoffe (VOC)	Gaschromatographie	2x wöchent. Momentanpr.
FCKW	Gaschromatographie	Tag
Temperatur	Thermometer	Halbstunde
Windrichtung und -geschw.	Anemometer	Halbstunde
Relative Luftfeuchte	Hygrometer	Halbstunde
Luftdruck	Barometer	Halbstunde
Niederschlagsmenge	Tropfenzähler	Halbstunde
Niederschlagsmenge	Bulk-Sammler	Tag
Niederschlagsmenge	Wet-only-Sammler	Woche
pH-Wert des Niederschlags	pH-Meter	Tag (bulk)
pH-Wert des Niederschlags	pH-Meter	Woche (wet-only)
Leitfähigkeit des Niederschlag	Konduktometrie	Tag (bulk)
Leitfähigkeit des Niederschlag	Konduktometrie	Woche (wet-only)
Ionen im Niederschlag	Ionenchromatographie	Tag (bulk)
Ionen im Niederschlag	Atomabsorption + Ionenchr.	Woche (wet-only, bulk)
Schwermetalle im Niederschlag	ICP/MS; Atomfluoreszenz	Woche
Gesamtschwebstaub	Beta-Absorption	Halbstunde
PM₁₀	Beta-Absorption	Halbstunde
PM₁₀, PM_{2,5}	Gravimetrie (high volume)	Tag
Sulfat im Staub	Imprägnierte Filter, Ionenchr.	Tag
$\Sigma \text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ im Staub	Imprägnierte Filter, Ionenchr.	Monat
$\Sigma \text{HNO}_3 + \text{NO}_3^-$ im Staub	Imprägnierte Filter, Ionenchr.	Monat
Schwermetalle im Staub	ICP/MS	Monat
UV-Spektren	Monochromator	6 Minuten
Globalstrahlung	Pyranometer	Halbstunde

1.3 Aufgaben des Messnetzes

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

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

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

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

Seit der Vereinigung Deutschlands wurden in den neuen Bundesländern 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.

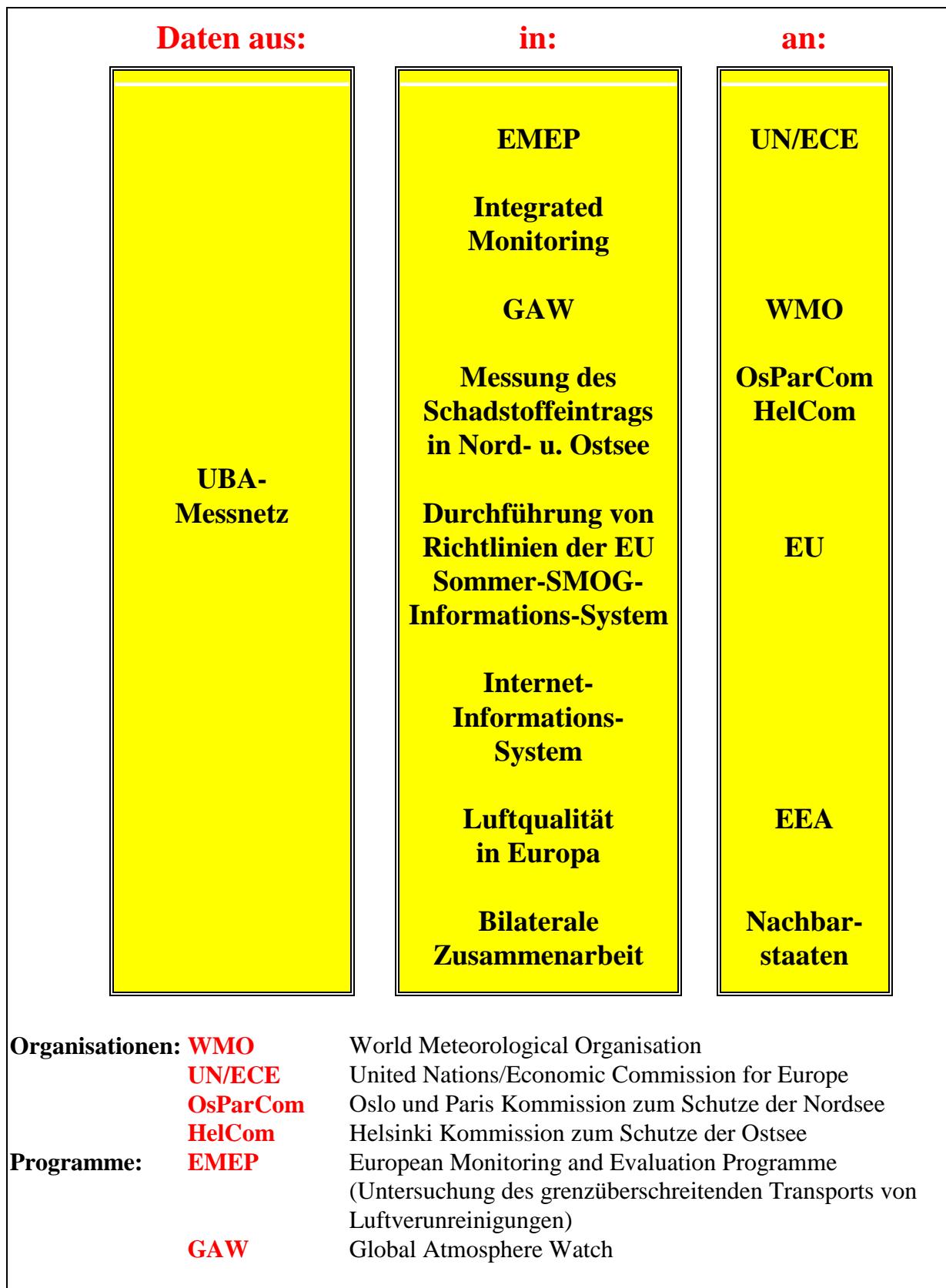


Abbildung 2: Einbeziehung der Messdaten des Umweltbundesamtes in internationale und nationale Programme

Zunehmende Bedeutung hat auch die Palette der organischen Verbindungen und dies aus verschiedenen Gründen. Teils sind sie wichtig für die Entstehung des Sommersmogs, teils besitzen sie kanzerogene Eigenschaften oder sind auf andere Weise toxisch. Langlebige halogenierte Kohlenwasserstoffe greifen in die Chemie der Stratosphäre ein und werden unter anderem für das "Ozonloch" über der Antarktis verantwortlich gemacht. Manche Kohlenwasserstoffe in der Luft sind natürlichen Ursprungs. Ihr Anteil muss ermittelt werden, will man Minderungspotentiale realistisch abschätzen.

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

Zunehmend setzt sich die Erkenntnis durch, dass nicht einzelne Messungen, sondern vielmehr eine umfassende Umweltbewertung national und international notwendig ist, d.h. neben der Erfassung der Stoffkonzentrationen in den einzelnen Umweltmedien tritt die multimediale Umweltbeobachtung einschließlich der Kontrolle der Wirkungen auf den Menschen und die Ökosysteme in den Vordergrund. Diesem Trend entsprechend wurde beginnend an der Station Brotjackriegel 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. Im Rahmen der Neuorganisation des UBA wurde mittlerweile die Verantwortung für das Integrated Monitoring Programm dem Fachgebiet „Experimentelles Monitoring“ übertragen, wobei seitens des Messnetzes weiterhin die Qualitätssicherung für die Immissionsmessungen am Standort Forellenbach durchgeführt wird.

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

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

Schwerpunkte der Arbeit der kommenden Jahre sind vor allem die Aufgaben, die sich aus den im Rahmen des Genfer Luftreinhalteabkommens unterzeichneten Protokollen (VOC, Schwermetalle, POP's) ergeben. Die intensiven Abstimmungen zwischen den Programmen von EMEP, GAW, HelCom und OsParCom führen zu vergleichbaren Anforderungen bei Messmethoden und Datenformaten zur Berichterstattung. Auf diese Weise können z.T. die Messwerte für mehrere Programme verwendet werden. Die notwendigen Vorbereitungen zur Messung von flüchtigen Kohlenwasserstoffen und Carbonylverbindungen (VOC-Protokoll), Schwermetallen als PM₁₀- und PM_{2,5}-Fraktion, im Niederschlag (Schwermetall-Protokoll), aber auch polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) und chlororganischen Verbindungen (im Rahmen von OsPar und HelCom) haben ein Stadium erreicht, das den experimentellen Messungen im Jahr 2000 dauerhaften Charakter verliehen hat.

Neu sind auch die Messungen, die im Rahmen des weltweiten Atmosphärenüberwachungsprogramms (GAW) der WMO an der gemeinsamen Globalstation Zugspitze/Hohenpeißenberg von UBA und DWD begonnen haben. Bestandteil des Programms sind vor allem klimarelevante Gase (Treibhausgase), wie CO₂, CH₄, N₂O, SF₆ und Fluorchlorkohlenwasserstoffe. Letztere sind äußerst langlebig. Ihre besondere Wirkung der Ozonzerstörung entfalten sie in der Stratosphäre. Darüber hinaus gehören luftchemisch reaktive Komponenten wie NO_x, NO_y, CO, Ozon und PAN zum Messprogramm.

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

1.4 Literatur zu Kapitel 1

(1) Junge, C. (1970)

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

(2) UBA (2000)

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

2. ERGEBNISSE DER IMMISSIONSMESSUNGEN 2000 UND VERGLEICH MIT FRÜHEREN WERTEN

Die Messwerte der 22 Stationen des UBA-Messnetzes für das Jahr 2000 werden als Monats- und Jahresmittel, monatliche und jährliche Perzentile sowie als maximale monatliche Halbstundenmittel hauptsächlich in Tabellenform präsentiert. Allen Perzentilen liegen halbstündige Messwerte zugrunde. Der Vergleich der 2000er Daten mit früheren Werten erfolgt im Wesentlichen auf der Basis der Jahresmittelwerte. Leser, die an einer höheren zeitlichen Auflösung der Messdaten interessiert sind, können die Daten direkt in der Messnetzdatenzentrale in Langen anfordern. In den Tabellen werden die Stationen durch Stationskennungen (zwei Buchstaben) abgekürzt wiedergegeben, wobei die Reihung der Stationen nach geographischen Gesichtspunkten von Nord nach Süd vorgenommen wurde. In [Tabelle 1](#) (Kapitel 1.1) sind die entsprechenden Stationsnamen und deren Kennungen nochmals in alphabetischer Reihenfolge zusammengestellt. Die genaue geographische Lage der Stationen ist ebenfalls [Tabelle 1](#) zu entnehmen. Die NO-, NO₂- und SO₂-Messwerte sind ab diesem vorliegenden Bericht- wie bisher nur die Ozonmesswerte – auf 20° C bezogen.

2.1 Gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen

2.1.1 Schwefeldioxid (SO₂)

Im Jahre 2000 wurden an fast allen Stationen in den alten und neuen Bundesländern die niedrigsten SO₂-Konzentrationen seit Beginn der Messungen in den frühen 70er und 80er Jahre beobachtet. In Tabelle 4 sind die Monats- und Jahresmittel der SO₂-Konzentrationen und in Tabelle 5 die maximalen monatlichen Halbstundenwerte für 2000 aufgelistet. Die höchsten Jahreswerte wurden an den beiden sächsischen Stationen Lehnsmühle (Osterzgebirge) mit 6.3 µg/m³ (gegenüber 7 µg/m³ in 1999) und Lückendorf (Schwarzes Dreieck) mit 5.9 µg/m³ (gegenüber 10 µg/m³ in 1999) gemessen. Es folgen Neuglobsow mit 4.4 µg/m³ sowie Schorfheide und Falkenberg mit je 4.3 µg/m³.

Besonders auffallend war der Rückgang der Monatsmaxima der Halbstundenwerte gegenüber den entsprechenden Konzentrationen im Jahr 1999 und vor allem in den Jahren davor. Die höchsten Halbstundenwerte wurden an der Station Lehnsmühle mit 129 µg/m³ im Januar gemessen, gefolgt von Lückendorf mit 119 µg/m³ im April, Brotjacklriegel mit 82 µg/m³ im November und Deuselbach mit 80 jeweils im Dezember. Zum Vergleich: Die höchsten Monatsmaxima der Halbstundenwerte im Jahre 1999 wurden mit 322 µg/m³ in Melpitz gemessen, gefolgt von Lückendorf mit 306 µg/m³, Lehnsmühle mit 190 µg/m³ und Schmücke mit 189 µg/m³.

Die monatlichen 50-Perzentile (Median) sind in Tabelle 6, die 98-Perzentile in Tabelle 7 und die jährlichen Maxima und Minima der Halbstundenwerte in Tabelle 8 angegeben. Die Perzentile geben an, wieviel Prozent der Werte unterhalb des angegebenen Konzentrationsniveaus liegen. So lagen beispielsweise in Lückendorf im Jahre 2000 98% aller SO₂-Halbstundenwerte unterhalb von 25 µg/m³ und 50% unterhalb von 4 µg/m³. Aus den Werten in Tabelle 8 ist zu erkennen, dass für viele Stationen beim 25-Perzentil und z.T. beim 50-

Perzentil die Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze der bisher eingesetzten Messgeräte liegen und somit hier die Nachweisgrenze angegeben wird.

Besonders auffallend ist weiterhin der starke Abfall der Spitzenkonzentrationen im Jahre 2000 gegenüber den Vorjahren an einigen Stationen in den neuen Bundesländern, die noch bis 1997 erhöhte SO₂-Belastungen aufwiesen, wie [Abbildung 3 bis Abbildung 5](#) anhand der monatlichen Perzentile für die Stationen Lückendorf, Lehnsmühle, Melpitz und Schleiz (neue Bundesländer) und Waldhof (Lüneburger Heide, alten Bundesländer) für den Zeitraum 1992 bis 2000 zeigen.

Der in der Technischen Anleitung Luft (TA Luft) angegebene Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit für das 98-Perzentil von 400 µg/m³ für SO₂ wird an keiner der Messstellen des UBA auch nur annäherungsweise erreicht. Alle UBA-Stationen blieben 2000 mit dem 98-Perzentil noch unter 31 µg/m³.

Wie aus Tabelle 9 [und Tabelle 10](#) sowie aus [Abbildung 6](#) zu sehen ist, hat sich die SO₂-Belastung in Deutschland insgesamt weiter vermindert. Dieser Prozess setzte Mitte der 80er Jahre in den alten Bundesländern und Anfang der 90er Jahre in den neuen Bundesländern sowie in Tschechien und Polen ein, vor allem als Folge der Minderung der SO₂-Emissionen (siehe Abbildung 7 und Abbildung 8). In den neuen Bundesländern werden mittlerweile nahezu vergleichbare SO₂-Konzentrationen gemessen. Der Rückgang erfolgte hier wesentlich schneller.

Es ist zu erwarten, dass auch an den wenigen Stationen in den neuen Bundesländern ([Abbildung 3 bis Abbildung 5](#)), die noch leicht erhöhte SO₂-Konzentrationen aufweisen, die Konzentrationen im Zuge der weiteren Reduzierungen der SO₂-Emissionen in Deutschland, Tschechien und Polen in wenigen Jahren das sehr niedrige Niveau der anderen Stationen erreichen werden (Abbildung 7 und Abbildung 8).

Wie Abbildung 6 zeigt, haben die Jahresmittel der SO₂-Konzentrationen zwischen Mitte der 80er Jahre und 2000 um mehr als einen Faktor 10 abgenommen. Die SO₂-Konzentrationen in Deutschland werden in Zukunft kaum noch zurückgehen, da hier das SO₂-Minderungspotential weitgehend ausgeschöpft ist. Ein geringer Rückgang der SO₂-Konzentrationen ist deshalb in den kommenden Jahren lediglich als Folge der weiteren Emissionsreduzierungen in Tschechien und Polen an einigen Stationen in den neuen Bundesländern zu erwarten.

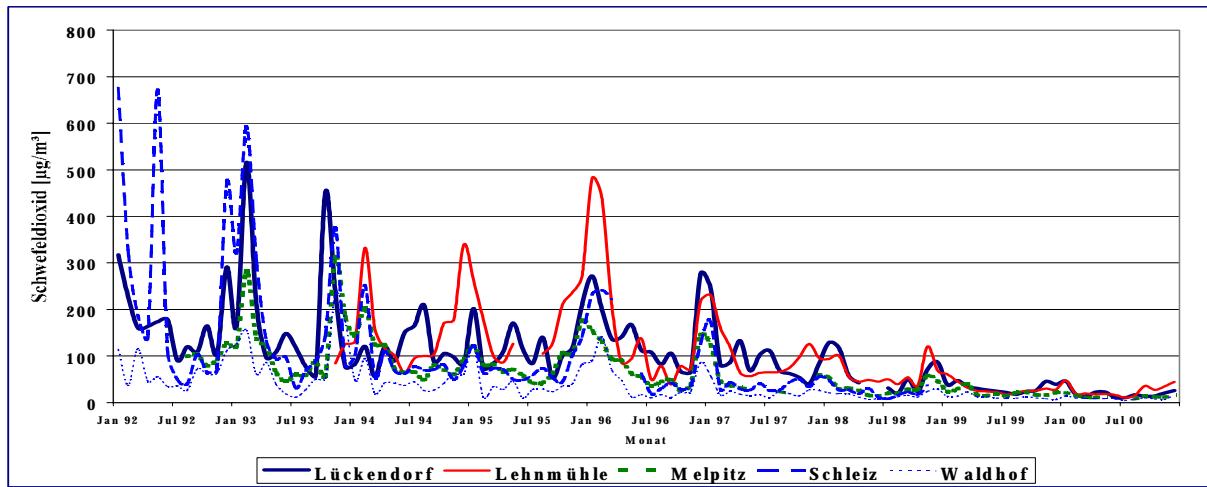


Abbildung 3: Monatliche 98-Perzentile der Halbstundenwerte von Schwefeldioxid, 1992 bis 2000 in Lückendorf, Lehnmühle, Melpitz, Schleiz und Waldhof, kontinuierliches Messverfahren

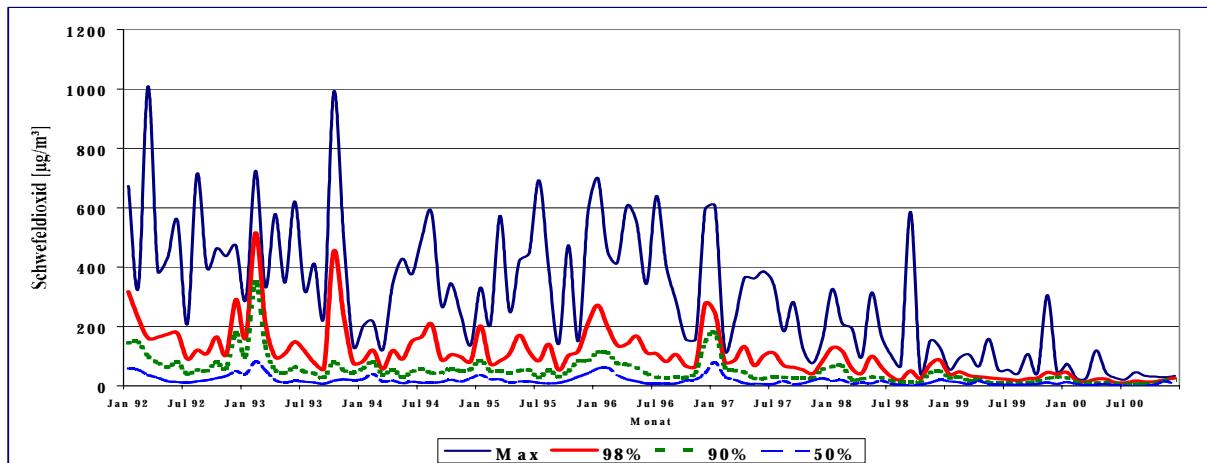


Abbildung 4: Maximale Halbstundenwerte sowie 98-, 90- und 50-Perzentile der Schwefeldioxidkonzentrationen in Lückendorf zwischen 1992 und 2000.

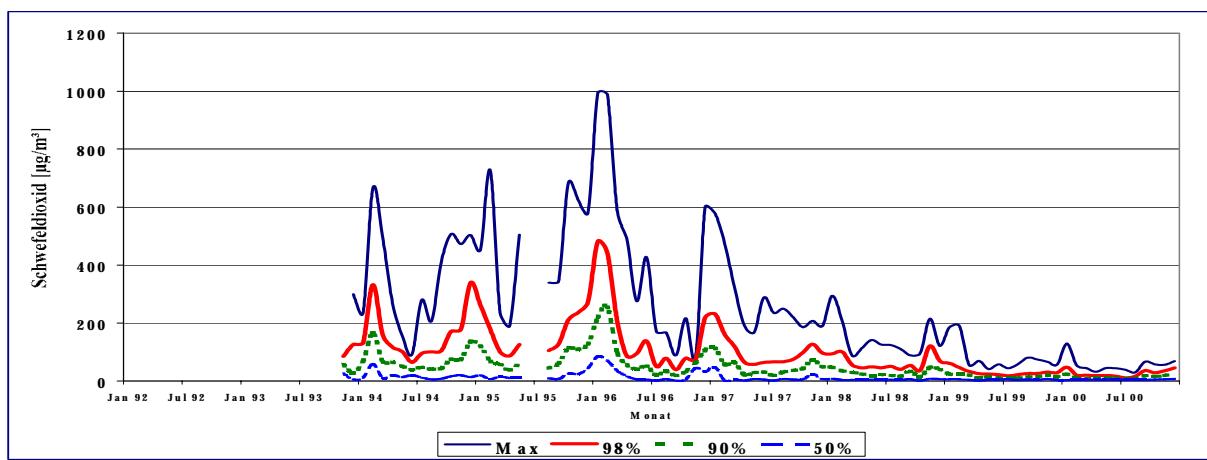


Abbildung 5: Maximale Halbstundenwerte sowie 98-, 90- und 50-Perzentile der Schwefeldioxidkonzentrationen in Lehnmühle zwischen 1993 und 2000.

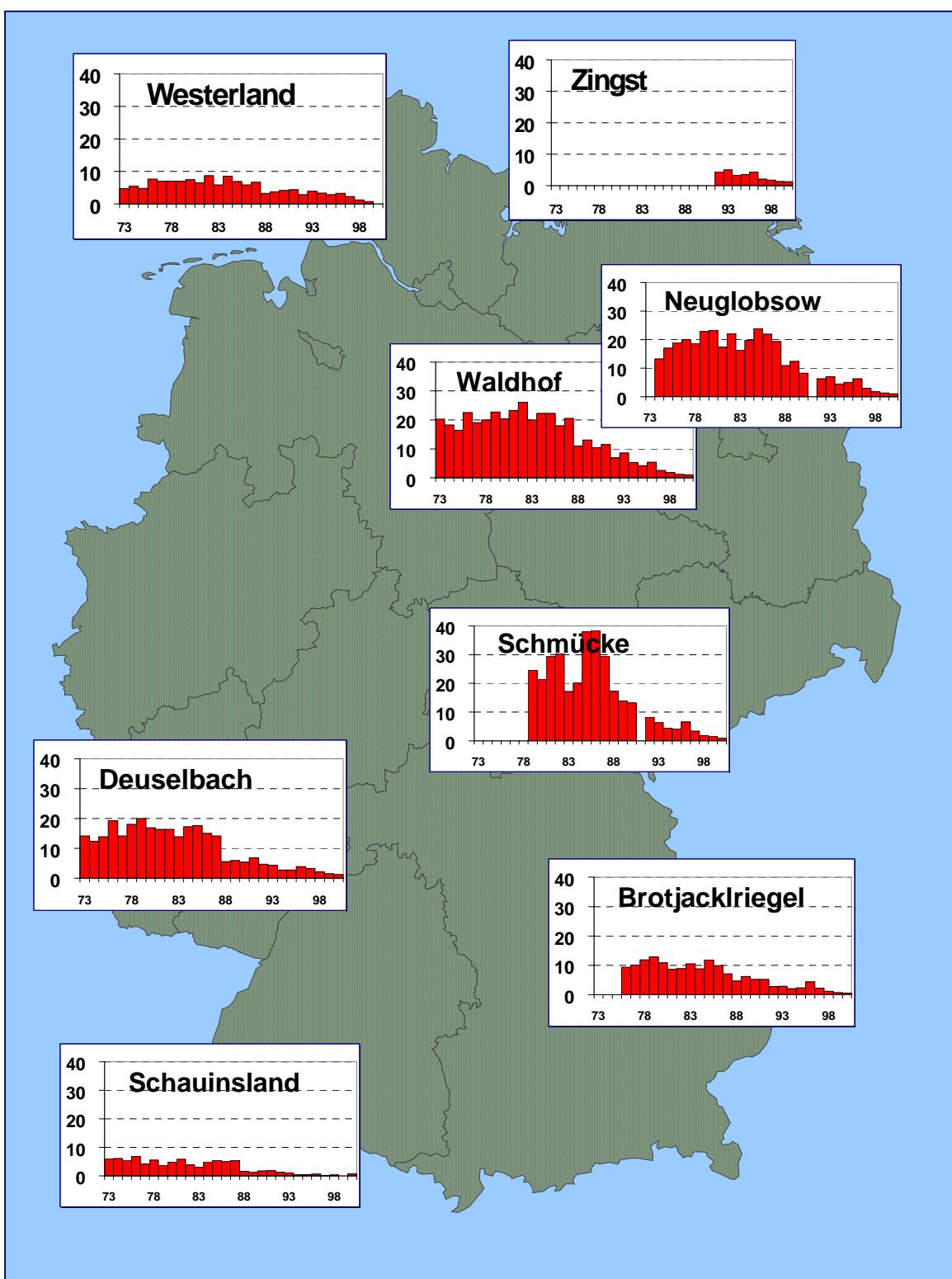


Abbildung 6: Jahresmittel der Schwefeldioxidkonzentrationen von 1973 bis 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an den personellen Messstellen des UBA, nasschemisches TCM-Verfahren

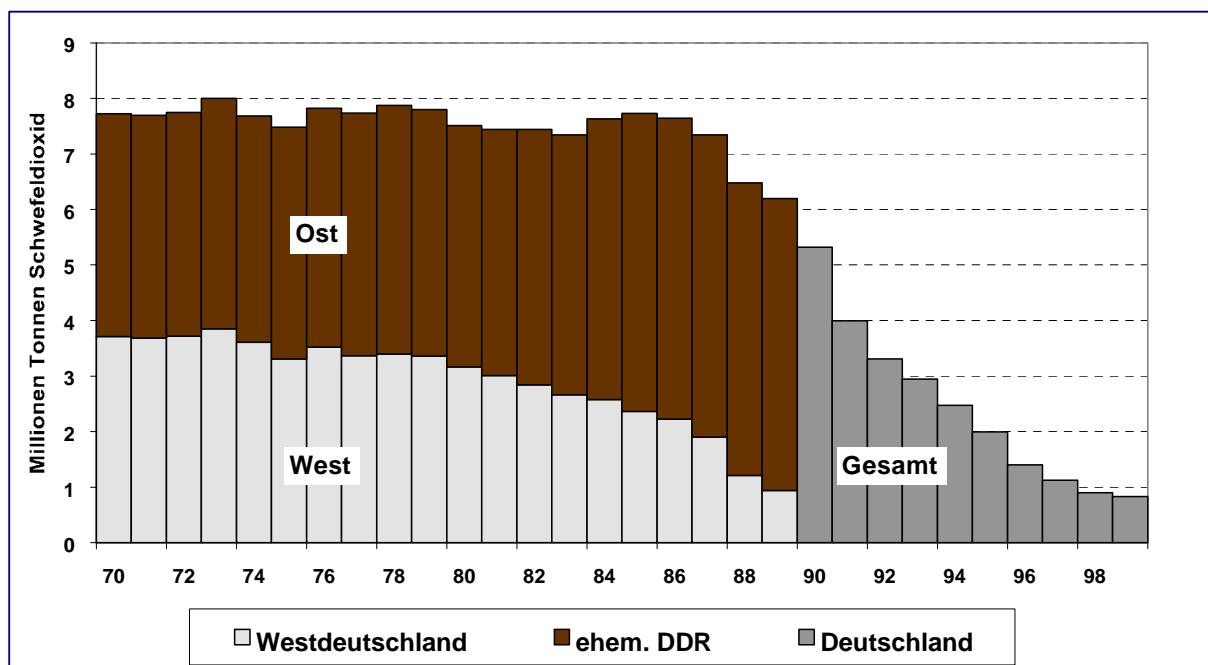


Abbildung 7: Jährliche Schwefeldioxid-Emissionen in Deutschland von 1970 bis 1999 (Ref. 1, 2)

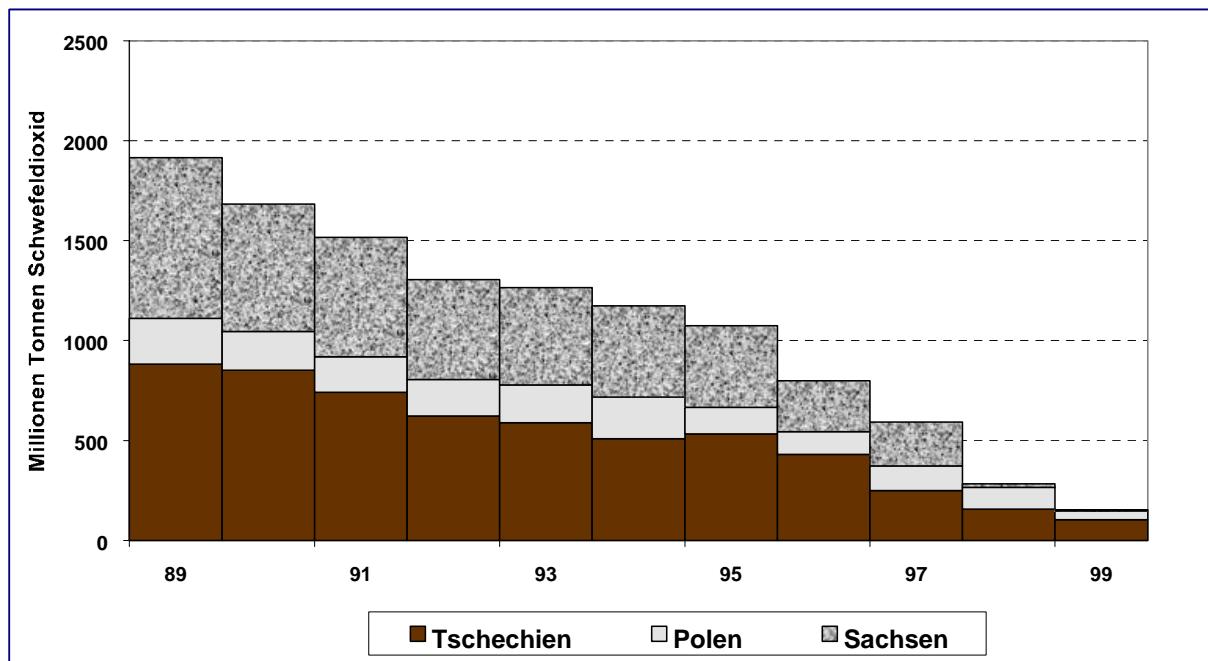


Abbildung 8: Jährliche Schwefeldioxid-Emissionen in Tschechien, Polen und Sachsen von 1989 bis 1999, (Ref. 3)

Tabelle 4: Monats- und Jahresmittel, Schwefeldioxid für 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	1.9	1.9	1.6	1.8	1.7	1.8	1.6	1.8	3.0	3.2	3.3	2.3	2.2
ZG	3.3	2.7	2.4	3.6	3.2	4.1	3.7	2.2	4.5	3.1	3.4	3.5	3.3
HG	-	-	-	-	-	2.2	-	-	3.2	2.9	2.7	3.2	-
AU	4.5	4.9	3.4	3.1	3.0	1.6	2.0	3.3	3.3	2.7	2.1	4.3	3.2
UE	4.0	4.0	2.5	4.5	3.4	2.6	2.3	3.4	4.3	4.2	4.4	5.5	3.8
NG	4.8	4.2	3.7	6.0	3.2	6.5	1.9	3.3	5.5	4.5	4.2	5.0	4.4
SH	7.0	6.5	2.9	7.4	7.6	3.6	1.9	2.3	3.1	4.2	3.4	3.9	4.3
BA	-	2.1	1.7	1.8	1.8	1.8	1.6	2.1	3.8	1.5	1.6	2.6	2.0
WA	3.5	4.6	3.2	2.9	3.2	2.7	1.6	3.2	3.3	3.0	2.5	4.5	3.2
GI	6.3	4.9	2.2	2.9	4.4	4.8	1.8	2.8	3.6	5.3	4.4	3.6	3.9
FA	5.7	3.5	3.1	4.5	3.6	3.7	4.5	3.1	5.5	4.3	3.6	5.9	4.3
MP	5.9	4.1	2.9	3.2	4.2	-	-	2.6	4.2	4.3	4.8	4.5	4.0
LF	-	2.6	2.1	2.4	2.0	-	1.7	3.2	4.8	2.1	3.2	5.3	2.9
LM	8.5	4.6	4.5	5.7	5.0	5.3	3.7	4.1	7.3	7.0	8.4	11.2	6.3
LU	14.6	6.5	4.4	5.7	8.0	3.3	2.9	3.3	3.5	4.1	-	8.8	5.9
SM	3.2	1.7	2.1	2.2	4.7	3.5	1.9	2.9	2.1	1.9	1.7	2.9	2.6
RE	-	5.5	3.1	3.8	4.0	2.8	2.7	2.2	4.3	3.9	-	5.5	3.7
DE	5.1	3.6	3.2	3.2	2.6	4.0	2.8	4.6	4.7	3.0	6.0	4.3	3.9
AS	6.5	3.6	1.8	1.6	1.5	1.6	1.5	1.6	-	-	-	-	2.4
FB	2.3	1.5	1.7	1.8	-	1.7	1.4	2.3	2.2	2.6	1.4	1.5	1.9
BR	5.9	4.3	3.2	3.0	2.6	4.4	3.4	4.9	2.9	4.4	2.5	4.9	3.9
SC	1.9	2.1	2.0	1.7	1.8	3.0	2.0	3.0	3.1	2.4	1.7	1.4	2.2

Tabelle 5: Monatsmaxima der Halbstundenwerte, Schwefeldioxid für 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	10	10	13	12	12	10	8	11	15	11	10	19
ZG	13	18	21	28	24	25	11	13	22	16	24	23
HG	-	-	-	-	-	14	-	-	24	30	11	20
AU	20	20	17	10	11	8	10	11	19	9	8	21
UE	28	22	20	34	33	62	13	22	29	56	26	41
NG	21	32	14	27	20	20	13	23	29	18	11	20
SH	36	25	22	29	42	38	18	17	29	32	15	35
BA	-	10	8	11	9	10	6	9	12	13	8	16
WA	26	15	12	14	16	15	10	13	17	13	10	21
GI	67	32	25	27	23	22	10	20	22	28	25	27
FA	36	19	17	24	33	19	19	30	45	69	17	44
MP	47	27	18	18	41	-	-	22	34	19	25	21
LF	-	19	10	21	27	-	10	13	29	10	18	24
LM	129	54	44	32	44	44	39	30	66	57	56	68
LU	74	25	27	119	45	27	22	46	34	31	-	33
SM	46	11	8	45	27	16	12	23	17	20	7	46
RE	-	20	16	51	43	52	22	16	48	38	-	30
DE	54	29	18	22	20	30	29	33	25	21	30	80
AS	26	24	18	14	9	6	7	8	-	-	-	-
FB	37	8	15	10	-	6	6	10	10	9	5	16
BR	75	43	24	14	21	21	14	16	23	12	82	16
SC	11	17	9	17	6	14	9	8	6	13	28	4

Tabelle 6: Monatliche 50-Perzentile der Halbstundenwerte von Schwefeldioxid für 2000 in µg/m³, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	2.9	3.3	3.4	1.4
ZG	3.4	1.4	1.4	2.9	3.0	3.6	3.7	1.4	3.7	1.4	3.2	2.9
HG	-	-	-	-	-	1.4	-	-	1.4	1.4	1.4	1.4
AU	3.9	4.5	3.3	2.9	3.1	1.4	1.4	3.5	3.3	2.9	1.4	3.7
UE	3.4	3.2	1.4	3.4	1.4	1.4	1.4	3.2	3.3	1.4	3.4	4.0
NG	3.7	3.8	3.5	4.9	1.4	6.2	1.4	3.4	4.4	4.1	3.9	4.4
SH	5.2	5.7	1.4	6.1	5.6	2.9	1.4	1.4	1.4	3.7	3.1	1.4
BA	-	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	3.6	1.4	1.4	1.4
WA	1.4	4.2	3.1	1.4	3.1	1.4	1.4	3.3	2.9	3.0	1.4	3.7
GI	3.0	3.1	1.4	1.4	4.0	4.1	1.4	1.4	3.0	4.2	3.4	1.4
FA	3.2	1.4	1.4	3.5	2.9	3.2	4.3	1.4	4.3	3.2	3.4	3.8
MP	3.7	3.4	1.4	1.4	3.4	-	-	1.4	3.3	3.6	4.5	3.4
LF	-	1.4	1.4	1.4	1.4	-	1.4	1.4	4.3	1.4	3.4	4.0
LM	3.2	3.4	3.6	4.4	3.6	4.8	3.4	3.4	3.5	4.5	5.7	6.7
LU	13.3	5.9	3.1	4.1	6.6	1.4	1.4	1.4	1.4	3.4	-	7.0
SM	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
RE	-	5.4	1.4	3.0	1.4	1.4	2.9	1.4	1.4	3.4	-	4.5
DE	2.9	1.4	1.4	1.4	1.4	3.4	2.9	3.7	4.0	1.4	4.7	3.0
AS	4.9	3.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	-	-	-	-
FB	1.4	1.4	1.4	1.4	-	1.4	1.4	1.4	1.4	2.9	1.4	1.4
BR	5.0	4.0	3.0	1.4	1.4	3.9	3.6	5.4	1.4	4.8	1.4	4.8
SC	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	3.1	1.4	3.2	3.3	1.4	1.4	1.4

Tabelle 7: Monatliche 98-Perzentile der Halbstundenwerte von Schwefeldioxid für 2000 in µg/m³, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	5	6	4	5	7	6	4	5	9	7	7	9
ZG	6	9	8	12	11	10	7	8	13	11	10	17
HG	-	-	-	-	-	9	-	-	10	12	7	12
AU	13	13	9	8	7	4	5	8	8	6	5	14
UE	13	15	9	16	14	11	5	10	16	22	15	23
NG	15	12	10	17	14	11	6	7	14	11	8	15
SH	20	14	9	21	24	12	7	8	14	12	9	19
BA	-	6	5	5	5	6	4	6	8	4	4	9
WA	14	10	9	9	9	8	4	7	10	8	7	16
GI	32	20	8	10	12	14	7	10	14	15	16	16
FA	21	12	11	16	15	12	9	10	18	18	10	31
MP	21	15	11	11	14	-	-	8	15	13	12	16
LF	-	9	6	8	7	-	6	8	12	6	6	17
LM	48	20	20	18	19	17	11	16	36	28	35	45
LU	46	18	15	22	23	11	10	17	14	14	-	26
SM	18	5	6	7	15	11	4	14	7	7	4	12
RE	-	11	9	12	24	11	6	8	24	12	-	16
DE	26	14	10	13	8	15	7	13	12	13	16	18
AS	21	10	6	4	4	4	4	4	-	-	-	-
FB	13	4	5	5	-	4	1	5	6	5	1	4
BR	18	9	9	8	9	10	8	8	7	8	6	10
SC	6	8	6	4	4	7	6	6	5	6	4	1

Tabelle 8: Jährliche Perzentile der Halbstundenwerte von Schwefeldioxid für 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
WE	1	1	1	1	1	1	3	4	5	7	19
ZG	1	1	1	1	1	3	4	6	8	10	28
HG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	1	1	1	1	1	3	4	6	7	9	21
UE	1	1	1	1	1	3	5	8	11	15	62
NG	1	1	1	1	3	4	5	7	10	13	32
SH	1	1	1	1	1	3	6	9	12	17	42
BA	1	1	1	1	1	1	1	4	5	6	16
WA	1	1	1	1	1	3	4	6	7	10	26
GI	1	1	1	1	1	3	5	8	11	16	67
FA	1	1	1	1	1	3	5	9	12	16	69
MP	1	1	1	1	1	3	5	8	11	15	47
LF	1	1	1	1	1	1	4	6	7	10	29
LM	1	1	1	1	1	4	7	14	20	30	129
LU	1	1	1	1	1	4	7	13	19	25	119
SM	1	1	1	1	1	1	3	5	8	11	46
RE	1	1	1	1	1	3	5	7	9	14	52
DE	1	1	1	1	1	3	5	7	10	15	80
AS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FB	1	1	1	1	1	1	1	3	4	5	37
BR	1	1	1	1	1	4	5	7	8	10	82
SC	1	1	1	1	1	1	3	4	5	6	28

Tabelle 9: Jahresmittel von Schwefeldioxid in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1984 bis 2000, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	WE	ZG	HG	AU	H W	TE	UE	SW	NG	AN	SH	KY	BA	WA	WI	GI	LI	FA
1984	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	-	-	-	
1985	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	-	-	-	
1986	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	-	-	-	
1987	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	-	-	-	
1988	5	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	12	20	-	15	-
1989	5	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	13	20	-	13	-
1990	4	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	11	14	-	11	-
1991	6	-	-	-	17	-	-	32	-	-	-	-	14	13	18	62	13	22
1992	4	5	-	-	7	8	13	16	8	17	-	13	7	10	31	10	22	-
1993	6	5	-	-	13	9	11	13	10	15	-	12	13	11	29	11	21	-
1994	4	5	7	-	6	7	9	8	7	10	-	8	8	7	17	-	16	-
1995	3	6	-	-	6	7	9	7	7	10	-	8	-	6	-	-	16	-
1996	4	7	5	-	6	9	10	9	10	12	-	10	-	10	-	-	18	-
1997	3	4	5	-	3	4	7	5	4	7	-	5	-	7	-	-	11	-
1998	3	4	4	-	-	3	6	-	3	5	-	-	-	5	-	-	6	-
1999	4	4	5	3	-	-	4	-	4	-	4	-	-	4	-	-	5	-
2000	2	3	-	3	-	-	4	-	4	-	4	-	2	3	-	4	-	4
Station	DL	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	AS	BR	RT	SC	MU	ZU	
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	-	4	-	-	
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	13	-	5	-	-	
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	9	-	6	-	-	
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	10	-	6	-	-	
1988	-	-	-	14	-	-	-	-	-	29	9	9	6	9	3	-	-	
1989	-	-	-	13	-	-	-	-	-	34	9	10	6	7	3	-	-	
1990	-	-	-	15	25	-	-	-	-	29	6	9	6	8	4	-	-	
1991	31	-	-	13	30	-	-	-	58	35	7	9	4	7	4	-	-	
1992	33	-	20	10	17	-	40	14	38	25	5	7	3	6	3	-	-	
1993	32	35	23	12	23	-	37	14	35	28	5	8	3	7	3	-	-	
1994	21	21	12	10	14	30	24	11	14	22	4	6	3	-	2	-	-	
1995	16	17	9	-	-	30	27	10	13	-	5	11	5	-	3	4	-	
1996	19	17	12	-	-	35	33	16	22	-	8	-	8	-	3	-	-	
1997	13	10	6	-	-	18	25	7	10	-	7	-	-	-	2	-	-	
1998	6	5	4	-	-	11	14	4	5	-	4	-	4	-	3	-	-	
1999	-	5	4	-	-	7	9	4	-	5	4	-	3	-	2	-	-	
2000	-	4	3	-	-	6	6	3	-	4	4	2	4	-	2	-	-	

Tabelle 10: Jahresmittel von Schwefeldioxid für 1971 bis 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, nasschemisches TCM- Messverfahren

Stationen	WE	ZG	HG	H W	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	1.3	
1993	3.9	5.1	-	-	-	7.1	-	-	8.6	-	-	11	6.3	4.3	4.2	2.9	2.5	1.0	
1994	3.3	3.4	-	-	-	4.5	-	-	5.3	-	-	-	4.5	2.7	-	2.1	-	0.6	
1995	2.8	3.6	-	-	-	5.0	-	-	4.2	-	-	-	4.2	2.7	-	2.3	-	0.5	
1996	3.2	4.4	-	-	-	6.3	-	-	5.4	-	-	-	6.6	3.9	-	4.4	-	0.7	
1997	2.3	2.1	-	-	-	3.0	-	-	2.6	-	-	-	3.4	3.2	-	2.2	-	0.2	
1998	1.2	1.8	-	-	-	1.8	-	-	1.9	-	-	-	1.8	2.1	-	1.2	-	0.4	
1999	0.7	1.4	-	-	-	1.3	-	-	1.2	-	-	-	1.6	1.5	-	0.7	-	0.7	
2000	0.7	1.3	-	-	-	1.0	-	-	1.0	-	-	-	0.9	1.2	-	0.5	-	0.8	

2.1.2 Stickoxide (NO_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 stellt sich innerhalb weniger 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 unter diesen Bedingungen überwiegend aus NO_2 und nur in geringem Maße aus NO, vor allem im Sommerhalbjahr. Dies ist an den in ländlichen Regionen gelegenen Stationen des UBA-Messnetzes bei den mittleren Konzentrationen von NO und NO_2 praktisch immer der Fall. So lagen beispielsweise an den personellen UBA-Stationen im Jahresmittel (1997-2000) zwischen 88.1% und 98.8% des NO_x als NO_2 vor (Mittel über die 8 personell besetzten Messstellen). Abbildung 9 zeigt als Beispiel die Monatsmittel von NO, NO_2 und NO_x zwischen 1997 und 2000 an der Station Neuglobsow. In den Sommermonaten Mai bis Oktober liegt das über die personellen Stationen gemittelte Verhältnis von NO_2 zu NO_x bei 93.2%, im Winterhalbjahr (November bis April) bei 89.8%. Während einzelner kurzzeitiger Episoden in den Wintermonaten können die NO-Konzentrationen auch an den UBA-Stationen höher liegen als die NO_2 -Konzentrationen. Im Gegensatz zu den in ländlichen Regionen gelegenen UBA-Stationen ist der NO_2 -Anteil in einer Stadt wesentlich geringer. In Frankfurt z.B. lagen an einer verkehrsnahen Station (Hauptwache) im Jahresmittel (1997-2000) nur 37.9% des NO_x als NO_2 vor, in einer überwiegenden Wohngegend (Westend) noch 43.5%.

In [Tabelle 11](#) und Tabelle 12 sind für NO_2 und NO die Monats- und Jahresmittel für 2000, sowie deren maximale monatliche Halbstundenwerte ([Tabelle 13](#) und [Tabelle 14](#)) zusammengestellt. Die höchsten NO_2 -Jahresmittel wurden an den Stationen Gittrup mit 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, gefolgt von Bassum und Ansbach mit je 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ festgestellt, die niedrigsten mit 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Bergstation Schauinsland im südlichen Schwarzwald. Die höchsten NO-Jahreswerte (4.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) wurden an der Station Gittrup (Nordrhein-Westfalen) die niedrigsten an den Bergstationen Schauinsland und Brotjacklriegel (Bayerischer Wald) mit je 0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Die höchsten NO_2 -Halbstundenwerte (Tabelle 13) wurden mit 103 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Station Ansbach erfasst, die höchsten NO-Halbstundenwerte mit 128 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an der im Lee des Ruhrgebietes liegenden Station Gittrup (Münsterland, Nordrhein-Westfalen) (Tabelle 14).

Die monatlichen 50-Perzentile für NO_2 und NO sind in Tabelle 15 und Tabelle 16, 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 und NO zusammen mit den Maxima und Minima der Halbstundenwerte zusammengestellt. 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 Tabelle 19 und Tabelle 20 anstelle gemessener Konzentrationen angegeben wird. Zu beachten ist dabei, dass die Nachweisgrenzen an den personell besetzten Stationen wegen der dort eingesetzten empfindlicheren Messgeräte z.T. erheblich niedriger liegen als an den Containerstationen. Der in der TA Luft angegebene Grenzwert für das 98-Perzentil zum Schutz der menschlichen Gesundheit von 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde an keiner UBA-Station auch nur annähernd erreicht. Der höchste Wert für das 98-Perzentil betrug 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

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 Messergebnisse des Saltzman-Verfahrens sind deshalb nur für Betrachtungen zum Langzeitrend verwendbar.

In Tabelle 21 und Tabelle 22 sind die durch kontinuierliche Messungen bestimmten Jahresmittelwerte (1987-2000) für NO₂ (Tabelle 21) und NO (Tabelle 22) zusammengestellt, während die Tabelle 23 die mittels Saltzman-Verfahren nasschemisch ermittelten NO₂-Jahresmittelwerte enthält (1969-2000). Diese sind in Abbildung 12 graphisch dargestellt. Im Gegensatz zu SO₂ ist die NO₂-Belastung an den in ländlichen Regionen gelegenen Stationen des UBA-Messnetzes während der letzten 15 Jahre nur leicht zurückgegangen. An den Bergstationen Schauinsland und Brotjacklriegel sowie an der Nordseestation Westerland ist dagegen während der letzten Jahrzehnte kein entsprechender Rückgang der NO₂-Jahresmittel festzustellen, wahrscheinlich durch die vergleichsweise stärkeren Beiträge des Ferntransports zu den gemessenen NO₂-Werten.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass sich die erhebliche Reduzierung der NO_x-Emissionen in Deutschland zwischen 1990 und 2000 (um mehr als 40%, siehe Abbildung 11) nicht in einer entsprechenden Verminderung der NO_x-Konzentrationen an den Messstellen im UBA-Messnetz niedergeschlagen hat. Lediglich bei den oberen monatlichen 98-, 95- und 90-Perzentilen lässt sich der Rückgang nachweisen (siehe Abbildung 10). Ein wesentlicher Grund für die nur geringe Abnahme der NO_x-Konzentrationen in Deutschland dürfte der hohe Beitrag des Ferntransports aus den europäischen Nachbarstaaten sowie die Nichtberücksichtigung der NO_x-Emissionen aus der Landwirtschaft (vor allem aus gedüngten Böden) in die UBA-Emissions-Kataster sein.

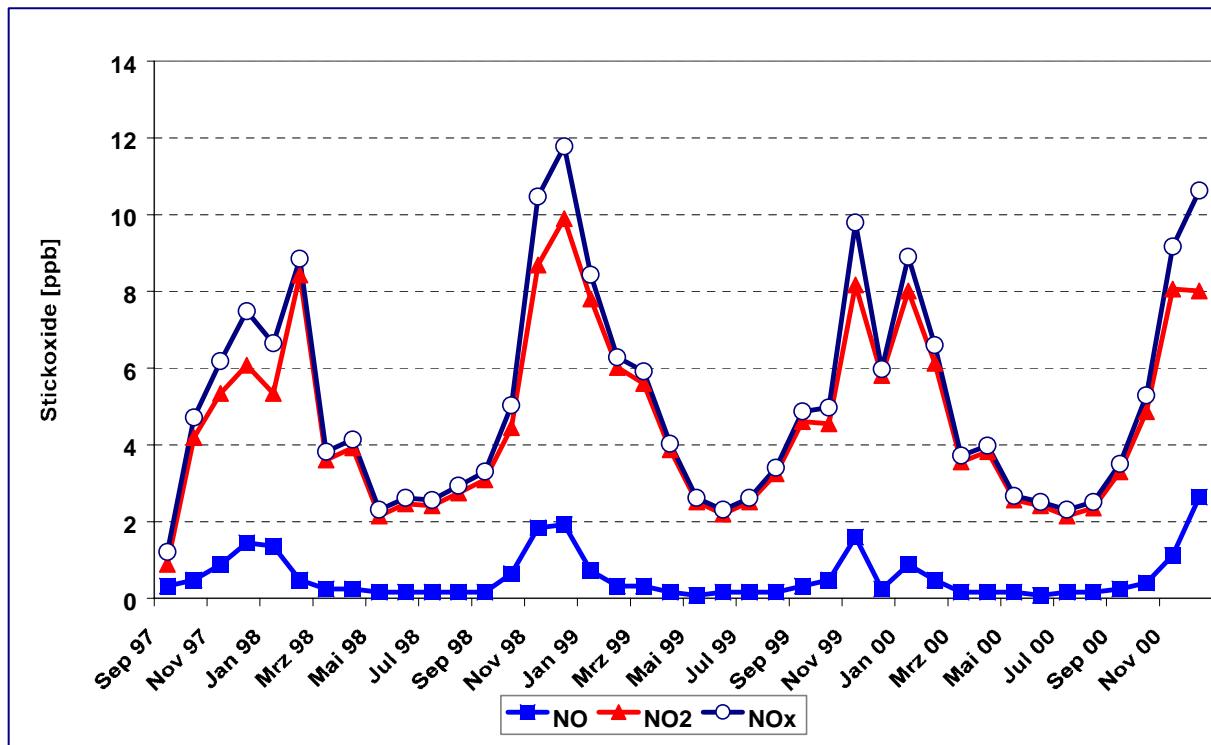


Abbildung 9: Monatsmittel von NO, NO₂ und NO_x in Neuglobsow von September 1997 bis Dezember 2000

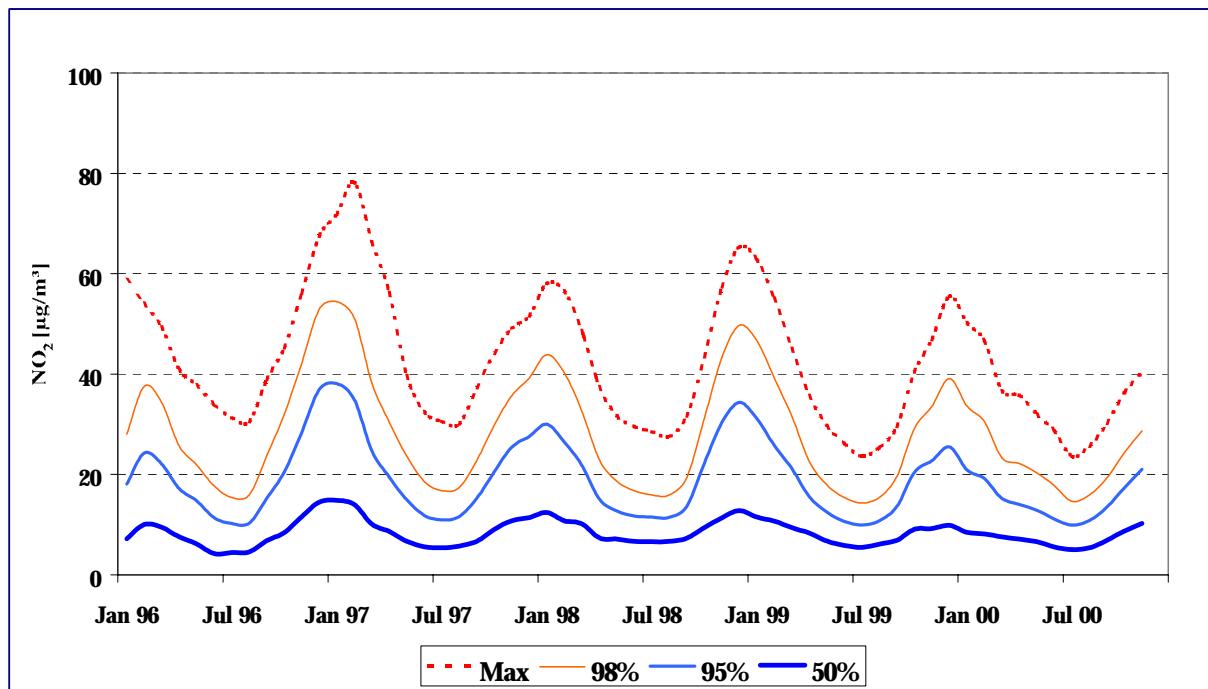


Abbildung 10: Monatliche Perzentile von Stickstoffdioxid, gemittelt über die 8 personell besetzten Messstellen, kontinuierliches Messverfahren.

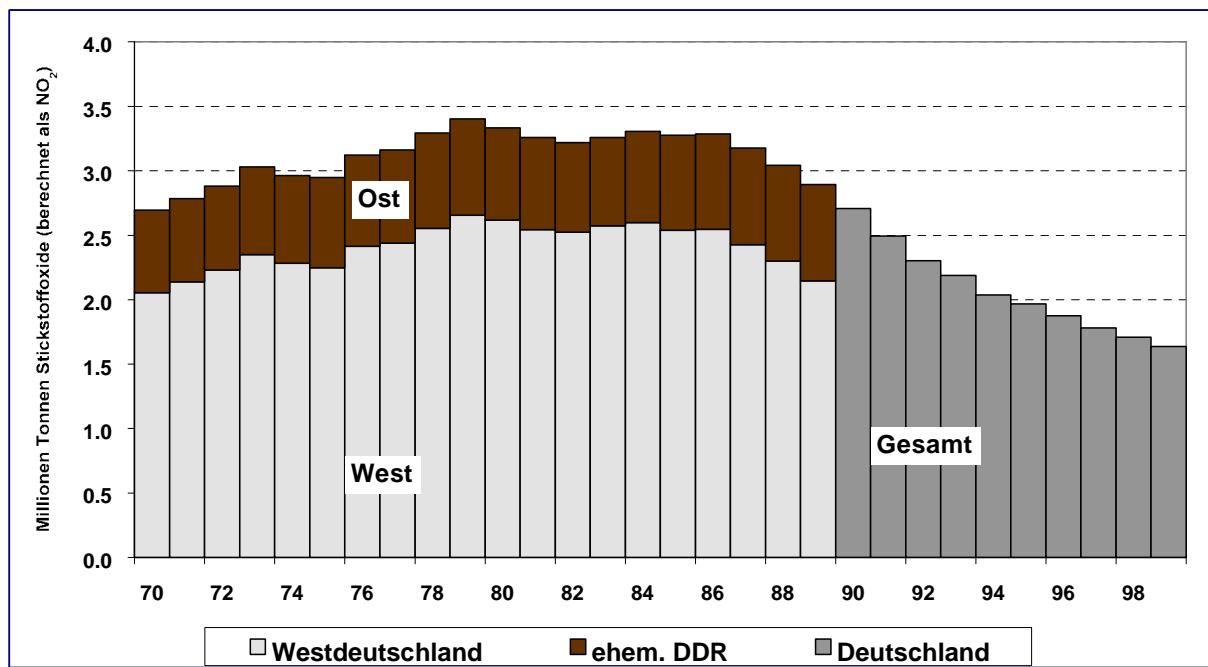


Abbildung 11: Jährliche Stickstoffoxid-Emissionen (berechnet als NO₂) in Deutschland von 1970 bis 1999 (Ref. 1)

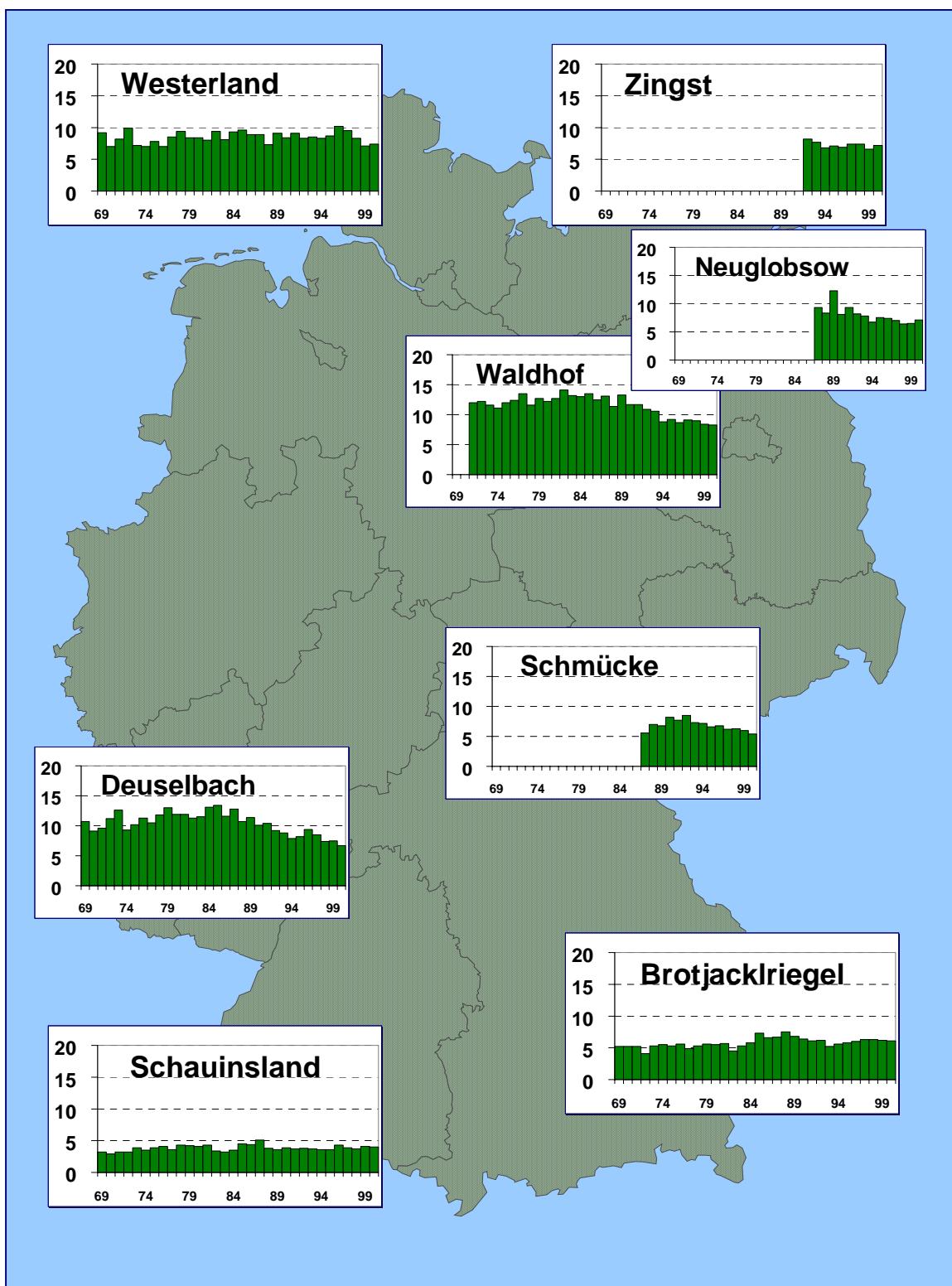


Abbildung 12: Jahresmittel von Stickstoffdioxid für 1969 bis 1998 in µg/m³ an den personellen Messstellen des UBA, nasschemisches Saltzman-Messverfahren

Tabelle 11: Monats- und Jahresmittel, Stickstoffdioxid für 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	8	3	2	3	-	5	4	3	8	10	15	13	7
ZG	19	15	12	17	12	9	8	9	9	15	19	18	14
HG	-	-	-	-	-	-	-	-	14	15	19	19	-
AU	14	11	7	13	9	7	5	-	11	15	21	21	12
UE	16	12	8	13	10	8	6	7	8	10	18	19	11
NG	15	12	7	7	5	5	4	5	6	9	15	15	9
SH	-	-	-	8	-	3	4	3	5	10	17	17	8
BA	23	16	14	-	-	11	7	11	13	17	18	19	15
WA	14	8	9	12	9	7	4	5	8	13	16	17	10
GI	31	26	17	19	17	15	14	16	-	24	22	23	20
FA	-	10	10	9	9	7	5	7	7	10	10	11	9
MP	14	13	10	10	8	-	-	13	11	13	14	16	12
LF	17	12	11	12	-	-	5	9	12	12	15	9	11
LM	15	9	8	10	8	7	6	7	11	12	12	13	10
LU	6	10	7	8	6	5	5	-	-	-	-	12	7
SM	14	12	9	8	8	-	6	7	9	9	10	12	10
RE	20	15	14	13	7	11	5	6	13	11	16	12	12
DE	15	10	11	9	9	7	6	7	9	9	9	13	9
AS	23	11	15	22	16	11	8	10	16	12	17	17	15
FB	14	21	15	7	-	4	3	4	7	10	-	-	9
BR	9	10	9	7	6	7	7	5	9	12	9	11	8
SC	7	4	7	7	5	6	4	5	5	4	3	3	5

Tabelle 12: Monats- und Jahresmittel, Stickstoffmonoxid für 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	0.7	0.6	0.5	0.6	-	0.4	0.3	0.3	0.7	1.1	1.5	2.2	0.8
ZG	0.5	0.5	0.5	0.7	0.8	0.4	0.6	0.5	0.4	0.6	0.9	1.0	0.6
HG	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	2.0	2.2	3.1	-
AU	2.3	1.4	1.2	1.5	1.3	1.3	1.3	-	1.8	2.6	4.4	5.1	2.2
UE	1.5	1.2	1.2	1.3	1.4	1.2	1.3	1.3	1.7	2.2	2.5	2.4	1.6
NG	1.1	0.6	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	1.4	3.3	0.7
SH	-	-	-	1.2	-	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	2.1	3.4	1.6
BA	4.2	1.4	1.6	-	-	1.2	1.3	1.5	2.2	2.5	2.1	4.2	2.2
WA	1.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.7	1.3	1.7	2.9	1.0
GI	11.7	4.6	4.0	2.5	2.1	2.0	2.0	4.1	-	6.8	5.0	6.9	4.7
FA	-	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.2	1.4	1.5	1.8	1.8	1.4
MP	2.3	1.3	1.7	2.0	2.0	-	-	3.6	3.0	3.6	4.0	4.3	2.8
LF	2.1	1.3	1.3	1.5	-	-	1.2	1.2	1.5	1.6	1.8	1.7	1.5
LM	1.4	1.2	1.3	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	2.4	3.1	1.4	1.7	1.6
LU	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.6	-	-	-	-	1.4	1.3
SM	0.7	0.4	0.4	0.3	0.3	-	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4	0.6	0.4
RE	1.8	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.4	1.9	1.5	1.4
DE	0.8	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	1.4	0.6
AS	3.6	1.5	2.1	2.6	1.9	1.6	1.6	1.6	2.9	3.7	5.4	6.4	2.9
FB	1.3	1.3	1.2	1.2	-	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	-	-	1.3
BR	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3
SC	0.5	0.2	0.4	0.4	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.3

Tabelle 13: Monatsmaxima der Halbstundenwerte, Stickstoffdioxid für 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	61	21	16	23	-	37	22	21	46	34	44	44
ZG	93	52	52	66	65	33	41	29	31	40	47	56
HG	-	-	-	-	-	-	-	-	48	60	55	64
AU	54	55	54	59	44	40	27	-	42	42	47	53
UE	75	43	59	48	40	25	36	31	26	43	40	54
NG	77	51	26	42	18	14	15	23	33	27	45	42
SH	-	-	-	45	-	20	24	28	24	29	46	58
BA	75	58	69	-	-	32	26	36	52	47	47	56
WA	67	35	41	34	30	37	23	16	36	43	44	45
GI	88	79	60	59	55	56	44	49	-	56	66	69
FA	-	52	29	43	35	44	22	25	26	38	35	37
MP	58	32	34	31	33	-	-	48	34	39	54	46
LF	67	56	50	62	-	-	31	40	45	51	50	32
LM	59	33	54	54	41	43	29	29	46	67	51	66
LU	33	33	42	38	41	17	25	-	-	-	-	38
SM	67	46	29	20	27	-	21	20	25	31	46	43
RE	78	54	42	34	27	29	20	30	72	36	49	47
DE	54	43	74	28	60	26	18	31	32	33	38	47
AS	79	62	103	103	75	78	63	58	63	58	44	41
FB	62	47	31	17	-	12	11	14	24	35	-	-
BR	38	30	29	20	36	23	24	15	36	51	36	53
SC	41	33	39	28	18	21	15	14	23	31	16	34

Tabelle 14: Monatsmaxima der Halbstundenwerte, Stickstoffmonoxid für 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	17	34	10	15	-	9	5	3	9	15	22	42
ZG	12	11	6	28	16	8	8	5	3	11	12	20
HG	-	-	-	-	-	-	-	-	14	20	25	39
AU	74	16	6	22	23	13	25	-	20	41	54	76
UE	18	5	8	15	48	5	12	27	11	30	36	27
NG	32	24	8	4	2	3	2	5	4	9	21	77
SH	-	-	-	6	-	1	4	4	8	10	40	28
BA	67	30	34	-	-	4	15	14	21	34	25	51
WA	25	7	7	7	8	8	8	6	6	20	29	30
GI	128	94	113	46	44	53	26	69	-	69	74	57
FA	-	10	13	8	20	17	16	14	11	33	34	23
MP	23	6	57	35	30	-	-	47	22	40	56	59
LF	30	7	14	31	-	-	9	9	41	31	30	23
LM	19	8	14	9	8	3	12	5	16	15	23	30
LU	20	5	9	9	8	4	24	-	-	-	-	13
SM	14	7	5	3	3	-	7	5	20	9	14	12
RE	27	18	14	12	11	8	7	6	8	15	24	18
DE	36	4	9	5	15	6	5	13	9	7	5	46
AS	51	18	74	58	26	27	12	9	37	56	41	45
FB	7	5	3	4	-	2	2	3	6	13	-	-
BR	15	19	4	3	8	3	9	9	10	5	14	15
SC	20	9	14	12	8	6	6	4	6	14	10	11

Tabelle 15: Monatliche 50-Perzentile der Halbstundenwerte von Stickstoffdioxid für 2000 in µg/m³, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

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

Tabelle 16: Monatliche 50-Perzentile der Halbstundenwerte von Stickstoffmonoxid für 2000 in µg/m³, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Tabelle 17: Monatliche 98-Perzentile der Halbstundenwerte von Stickstoffdioxid für 2000 in µg/m³, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	55	12	8	10	-	23	13	12	28	28	37	37
ZG	65	43	35	46	39	19	26	20	22	29	37	45
HG	-	-	-	-	-	-	-	-	37	35	42	57
AU	46	37	27	35	25	25	16	-	35	34	40	47
UE	51	30	23	27	23	18	14	17	17	22	32	43
NG	48	42	19	19	12	11	10	11	15	20	35	36
SH	-	-	-	26	-	12	13	10	15	23	35	42
BA	64	43	48	-	-	25	18	24	32	37	39	47
WA	37	23	30	28	23	22	12	12	25	34	34	40
GI	70	61	47	41	39	35	33	37	-	47	51	53
FA	-	36	24	23	22	25	16	16	17	23	23	32
MP	54	26	25	21	21	-	-	33	25	27	35	34
LF	58	36	34	29	-	-	17	26	30	31	38	27
LM	42	21	27	24	20	17	14	18	28	34	35	43
LU	25	22	24	21	17	11	12	-	-	-	-	24
SM	54	30	25	15	16	-	12	13	18	22	30	35
RE	61	37	32	23	17	19	15	15	32	31	37	32
DE	37	24	29	21	42	15	13	17	20	20	22	39
AS	69	33	52	65	52	45	37	-	37	35	37	32
FB	32	38	27	14	-	8	7	8	19	24	-	-
BR	23	20	20	15	13	16	14	10	25	29	24	32
SC	24	14	16	19	13	14	10	10	13	11	8	9

Tabelle 18: Monatliche 98-Perzentile der Halbstundenwerte von Stickstoffmonoxid für 2000 in µg/m³, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	7.0	6.1	4.7	5.0	-	2.5	1.9	1.8	5.7	6.2	12.3	16.6
ZG	4.1	3.2	2.7	4.2	5.1	1.5	2.7	2.4	2.1	3.7	6.5	9.1
HG	-	-	-	-	-	-	-	-	7.1	7.2	12.8	23.3
AU	16.0	4.5	1.2	6.9	3.0	2.5	2.7	-	10.4	17.3	31.0	39.1
UE	7.6	2.0	1.2	2.3	2.8	1.2	1.2	2.8	5.5	9.5	12.1	11.4
NG	13.0	6.6	1.1	1.0	0.7	0.5	1.0	1.0	1.5	2.7	9.4	22.5
SH	-	-	-	1.2	-	1.2	1.2	1.2	1.2	2.6	10.5	21.9
BA	34.3	4.2	8.3	-	-	1.2	2.9	3.6	10.8	15.9	11.7	30.7
WA	14.3	2.6	2.3	3.3	2.3	1.8	1.5	2.2	3.7	7.3	11.8	23.0
GI	83.2	34.2	41.7	16.4	10.7	11.2	10.2	32.2	-	44.4	34.4	40.8
FA	-	2.9	2.6	1.2	1.2	2.0	3.4	1.2	4.3	6.3	9.5	10.2
MP	16.9	3.4	8.4	7.0	12.9	-	-	18.0	14.1	17.0	29.6	32.0
LF	12.6	3.2	3.4	3.9	-	-	1.2	1.2	5.0	8.0	9.9	7.2
LM	4.4	1.2	2.0	1.2	2.9	1.2	1.2	1.9	6.2	7.8	4.8	8.5
LU	2.6	2.0	1.2	1.2	1.2	1.2	6.7	-	-	-	-	3.1
SM	7.4	2.3	2.2	1.6	1.1	-	1.2	1.3	3.0	1.7	2.8	5.4
RE	10.7	4.2	3.7	3.9	3.3	2.8	2.5	3.0	2.0	4.3	11.8	5.2
DE	6.9	2.7	3.0	2.3	4.1	2.0	2.1	2.3	3.2	3.5	2.2	20.2
AS	20.6	5.1	8.9	16.8	8.0	3.9	3.6	-	9.2	25.1	27.2	33.4
FB	2.6	2.8	2.1	1.2	-	1.2	1.2	1.2	2.3	2.7	-	-
BR	2.0	2.0	1.4	1.6	0.7	0.9	1.1	0.6	2.2	2.0	3.8	2.1
SC	5.1	1.4	3.2	2.6	1.6	1.6	1.4	0.8	2.1	1.5	0.7	0.7

Tabelle 19: Jährliche Perzentile von Stickstoffdioxid für 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
WE	0	0	1	1	1	3	9	18	24	32	61
ZG	0	3	4	5	7	11	17	26	32	40	93
HG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	2	2	2	2	5	10	17	27	33	38	59
UE	1	2	2	4	6	9	14	22	27	35	75
NG	1	2	2	3	4	6	10	18	25	33	77
SH	2	2	2	2	2	6	12	19	25	31	58
BA	2	2	2	4	7	13	20	29	36	46	75
WA	0	1	2	2	4	8	14	21	26	32	67
GI	2	5	6	8	11	18	27	37	44	55	88
FA	2	2	2	2	5	8	12	17	20	24	52
MP	2	2	2	5	7	11	16	21	25	31	58
LF	2	2	2	2	6	9	15	22	28	36	67
LM	2	2	2	2	5	8	13	19	24	31	67
LU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SM	0	3	3	4	6	8	11	16	21	28	67
RE	2	2	2	4	7	11	15	22	27	35	78
DE	0	3	3	4	5	8	11	16	21	28	74
AS	2	2	2	4	7	12	20	29	37	49	103
FB	2	2	2	2	4	7	14	20	24	29	62
BR	1	3	3	4	5	7	10	15	18	23	53
SC	0	1	1	2	3	4	6	9	11	14	41

Tabelle 20: Jährliche Perzentile von Stickstoffmonoxid für 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
WE	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	1.9	3.8	7.1	42.3
ZG	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.7	1.4	2.3	4.1	27.7
HG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	7.5	17.2	75.9
UE	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.1	3.8	6.9	48.4
NG	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.8	2.4	7.7	76.9
SH	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.5	6.5	39.5
BA	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	3.3	7.2	15.8	66.6
WA	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.7	1.8	3.7	8.3	29.7
GI	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	3.1	11.0	21.6	39.0	128.4
FA	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	4.4	33.9
MP	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.1	5.7	10.3	18.0	59.3
LF	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.7	5.8	40.6
LM	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.4	3.9	5.8	30.2
LU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SM	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.9	1.4	2.5	19.7
RE	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.3	4.5	26.5
DE	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	1.2	1.9	3.3	45.5
AS	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.5	4.8	9.2	18.0	73.6
FB	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	2.1	13.0
BR	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	1.0	1.8	19.0
SC	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	0.9	1.9	20.4

Tabelle 21: Jahresmittel von Stickstoffdioxid, 1987 - 2000 in µg/m³, bezogen auf 20 °C, kontinuierliches Messverfahren, seit 1996 Trace-Level-Geräte an den personellen Messstellen

Station	WE	ZG	HG	AU	H W	TE	UE	SW	NG	AN	SH	KY	BA	WA	WI	GI	LI	FA
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-
1988	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	18	13	-	31	-
1989	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	23	11	-	34	-
1990	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	23	8	-	28	-
1991	-	-	-	-	14	-	-	16	-	-	-	-	13	22	10	11	28	13
1992	-	8	-	-	18	9	7	17	9	10	-	12	24	12	12	26	12	-
1993	-	8	-	-	19	9	8	17	8	11	-	13	17	14	9	25	13	-
1994	-	8	-	-	16	14	10	13	7	13	-	14	8	14	-	22	12	-
1995	-	12	-	-	13	14	8	14	8	-	-	17	12	13	15	18	11	-
1996	12	10	11	-	16	14	10	16	8	14	-	15	12	16	18	17	12	-
1997	11	12	12	-	14	14	10	14	-	12	-	16	14	17	-	30	11	-
1998	12	13	11	-	-	11	9	-	10	13	-	-	15	15	11	29	10	-
1999	9	12	9	11	-	-	12	-	9	-	8	-	-	12	-	-	-	8
2000	7	14	-	12	-	-	11	-	9	-	8	-	15	10	-	20	-	9
Station	DL	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	AS	BR	RT	SC	MU	ZU	
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-
1988	-	-	-	29	-	-	-	-	-	23	11	17	-	16	-	-	-	-
1989	-	-	-	31	-	-	-	-	-	14	15	21	-	18	5	-	-	-
1990	-	-	-	30	16	-	-	-	-	17	12	20	-	16	6	-	-	-
1991	13	-	-	27	16	-	-	-	16	24	14	20	8	19	6	-	-	-
1992	13	-	15	29	18	-	7	13	16	25	10	21	8	18	5	-	-	-
1993	13	-	16	16	16	-	10	9	16	17	-	18	-	-	6	-	-	-
1994	13	10	12	17	-	10	9	9	14	-	6	14	3	-	6	-	-	-
1995	11	11	11	19	15	12	8	9	13	-	8	17	5	-	6	-	-	-
1996	12	12	11	20	15	15	11	8	15	9	16	18	5	-	7	10	-	-
1997	11	9	12	25	18	11	9	12	16	11	13	19	-	19	6	10	-	-
1998	11	11	11	17	16	11	10	11	13	12	12	12	8	14	6	11	-	-
1999	-	10	10	-	-	10	9	10	-	11	11	-	8	-	5	-	-	-
2000	-	12	11	-	-	10	7	10	-	12	9	15	8	-	5	-	-	-

Tabelle 22: Jahresmittel von Stickstoffmonoxid in µg/m³, bezogen auf 20 °C, bezogen auf 20 °C, 1987 - 2000, kontinuierliches Messverfahren, seit 1996 Trace-Level-Geräte an den personellen Messstellen

Station	WE	ZG	HG	AU	H W	TE	UE	SW	NG	AN	SH	KY	BA	WA	WI	GI	LI	FA
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4	-	-	-	
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.0	-	-	-	
1988	-	-	-	-	4.3	-	-	-	-	-	-	-	3.8	2.8	-	8.7	-	-
1989	-	-	-	-	2.9	-	-	-	-	-	-	-	4.9	3.7	-	16	-	-
1990	-	-	-	-	4.2	-	-	-	-	-	-	-	3.3	1.9	-	10	-	-
1991	-	-	-	-	4.6	-	-	7.1	-	-	-	6.3	5.0	3.7	2.0	11	2.4	-
1992	-	1.5	-	-	2.7	2.8	1.6	5.0	1.7	2.0	-	4.6	3.5	2.5	1.9	13	1.7	-
1993	-	1.4	-	-	2.4	3.1	2.1	5.9	1.4	2.0	-	4.1	2.7	2.5	1.6	13	1.9	-
1994	-	1.4	-	-	1.9	3.5	1.7	4.2	1.4	2.4	-	4.7	2.3	2.2	-	6.1	1.9	-
1995	-	1.5	-	-	2.0	4.4	2.0	4.3	1.6	3.2	-	5.4	2.4	1.8	5.0	7.1	1.8	-
1996	1.6	1.5	1.9	-	2.7	4.3	2.1	5.4	1.7	2.5	-	3.9	2.8	1.9	4.9	6.5	1.7	-
1997	1.5	0.8	2.7	-	3.4	4.1	2.0	4.6	0.7	2.9	-	4.7	2.6	1.4	-	8.1	1.8	-
1998	1.2	0.7	1.9	-	-	2.7	1.5	-	0.8	2.6	-	-	2.4	1.2	2.1	6.0	1.3	-
1999	0.7	0.5	1.5	2.2	-	-	1.5	-	0.5	-	1.5	-	-	0.8	-	-	1.4	-
2000	0.8	0.6	-	2.2	-	-	1.6	-	0.7	-	1.6	-	2.2	1.0	-	4.7	-	1.4
Station	DL	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	AS	BR	RT	SC	MU	ZU	
1984	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	-	-	
1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1986	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9	-	-	
1987	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	-	-	-	-	-	-	
1988	-	-	-	5.5	-	-	-	-	-	2.4	1.7	4.0	-	7.5	-	-	-	
1989	-	-	-	6.1	-	-	-	-	-	2.5	5.7	3.6	-	6.4	1.3	-	-	
1990	-	-	-	4.1	2.2	-	-	-	-	2.3	4.0	3.1	-	7.0	1.2	-	-	
1991	2.8	-	-	5.6	2.8	-	-	-	3.0	2.6	3.3	4.7	2.6	3.6	1.2	-	-	
1992	2.4	-	2.3	5.1	2.7	-	1.5	1.6	3.7	2.7	4.8	4.2	2.5	5.4	1.3	-	-	
1993	4.9	-	2.4	6.8	3.2	-	1.5	1.4	3.6	2.8	4.2	2.9	-	-	1.3	-	-	
1994	2.8	2.4	1.8	3.2	-	1.5	1.4	1.4	3.1	-	1.5	2.6	2.1	-	1.3	-	-	
1995	2.5	2.5	2.1	10	5.0	1.7	1.4	1.5	2.1	-	1.7	2.6	2.0	-	1.6	-	-	
1996	2.6	2.7	1.6	5.2	3.5	1.7	1.5	1.3	2.4	1.5	2.3	3.2	1.7	-	1.0	2.2	0.9	
1997	2.8	2.9	1.9	6.3	2.6	1.8	1.5	0.8	3.3	1.9	1.0	3.6	-	4.8	0.3	3.9	0.1	
1998	1.8	1.9	1.6	3.3	2.4	2.6	1.4	0.5	1.8	1.9	0.6	2.3	0.4	2.4	0.3	3.1	-	
1999	-	2.0	1.6	-	-	1.3	1.4	0.4	-	1.8	0.6	-	0.3	-	0.3	-	-	
2000	-	2.8	1.5	-	-	1.6	1.3	0.4	-	1.4	0.6	2.9	0.3	-	0.3	-	-	

Tabelle 23: Jahresmittel von Stickstoffdioxid für 1968 bis 1999 in µg/m³, nasschemisches Saltzman- Messverfahren

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

2.1.3 Ozon (O_3)

In Tabelle 26 sind die Monats- und Jahresmittel der Ozon-Konzentrationen und in der Tabelle 27 die maximalen monatlichen Stundenwerte zusammengestellt. Die Jahresmittel nehmen mit zunehmender Stationshöhe zu. Die höchsten Jahreswerte wurden auch im Jahr 2000 an den Bergstationen Schauinsland ($85 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Brotjacklriegel ($79 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Forellenbach ($73 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Schmücke ($72 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und Deuselbach ($72 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gemessen.

Auffallend ist der hohe Jahreswert an der Nordseestation Westerland ($64 \mu\text{g}/\text{m}^3$), der vor allem auf den dominierenden Beitrag des nordhemisphärischen Ozonhintergrundes zum Jahresmittelwert zurückzuführen ist. Die maximalen Monatsmittel traten zwischen April und September auf. Die höchsten Monatsmittel wurden mit etwa $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zwischen April und Juni an den Bergstationen Schauinsland und Brotjacklriegel beobachtet. Die maximalen Stundenwerte wurden an den meisten Stationen im Juni 2000 beobachtet (Tabelle 27, siehe auch Kapitel 3.2). Die höchsten Stundenwerte wurden in Helgoland ($242 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und Deuselbach ($233 \mu\text{g}/\text{m}^3$) beobachtet. Zum Vergleich: Der höchste Ozonwert in Deutschland wurde mit $253 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Station Selmsdorf (bei Lübeck) beobachtet.

In der Tabelle 28 sind die monatlichen 50-Perzentile, in Tabelle 29 die monatlichen 98-Perzentile und in Tabelle 30 die jährlichen Perzentile für 2000 zusammen mit den Minima und Maxima der Ozonstundenwerte zusammengestellt. Das höchste 98-Jahresperzentil wurde mit $143 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf der Schmücke (Thüringer Wald) gemessen, gefolgt von Schauinsland und Brotjacklriegel mit je $141 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

[Abbildung 17](#) zeigt die monatlichen Maxima sowie die 98-, 95- und 50-Perzentile von 1994 bis 2000 gemittelt über die 8 personell besetzten UBA-Messstellen. Man erkennt einen deutlichen Abfall der Maximalwerte sowie der 98- und 95-Perzentile, dagegen keine sichtbare Änderung bei den 50-Perzentilen. Der Rückgang der Ozonspitzenwerte ist im Wesentlichen auf die Emissionsminderung der Ozon-Vorläufer in Deutschland zwischen 1990 und 2000 um etwa 40% (NO_x) bzw. 50% (VOC) zurückzuführen (Ref. 4).

Wie aus Tabelle 31 und [Abbildung 18](#) zu sehen ist, sind die Ozon-Jahresmittel im Gegensatz zu den Spitzenwerten zwischen 1990 und 2000 an den meisten Stationen leicht angestiegen. Dieses scheinbar paradoxe Ergebnis ist im Wesentlichen durch die Beteiligung der Stickoxide sowohl bei der Bildung als auch beim Abbau von Ozon erklärbar (Ref. 4).

Vor diesem Hintergrund verwundert es nicht, dass im Gegensatz zur erfreulichen Entwicklung der Ozonspitzenkonzentrationen bei den Langfristzielwerten für den Schutz von menschlicher Gesundheit und Vegetation im letzten Jahrzehnt keine Verbesserung der Situation eingetreten ist, da diese Werte vor allem durch die mittleren Konzentrationen bestimmt werden und nicht durch die Spitzenwerte (Ref. 5). Als Langfristzielwerte für die Schädigung der Vegetation werden oft sogenannte AOT40-Werte angegeben (AOT40: Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb). Zur Bestimmung dieses Wertes werden alle Überschreitungen eines Stundenmittels von 40 ppb (entspricht $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) während der Hauptwachstumsphase von Mai bis Juli, in der Zeit zwischen 8:00 und 20:00 Uhr aufsummiert.

Die neuesten EU-Zielwerte für den Schutz von menschlicher Gesundheit und Vegetation (Ref. 6), die auf den neuesten Erkenntnissen auf dem Gebiet der Wirkungsforschung basieren, sehen wie folgt aus (Tabelle 24).

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

Schutz der menschlichen Gesundheit	Langfristziel:	120 µg/m ³ (gleitendes 8-h-Mittel)
	Zwischenziel bis 2010:	120 µg/m ³ (gleitendes 8-h-Mittel), 25 Tage/Jahr mit Überschreitungen sind zulässig
	Informationsschwelle:	180 µg/m ³ (1-h-Mittel)
	Alarmschwelle:	240 µg/m ³ (1-h-Mittel)
Schutz der Vegetation	Langfristziel:	6000 µg/m ³ h (AOT40, Mai bis Juli)
	Zielwert bis 2010:	18000 µg/m ³ h (AOT40, Mai bis Juli)

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

2.1.3.1 Zielwerte für den Gesundheitsschutz:

Bezüglich der Einhaltung des Zielwertes von 120 µg/m³ (gleitendes 8-h-Mittel) ist festzustellen, dass dieser Wert an den Stationen im Messnetz des UBA (ohne Station Zugspitze) im Jahr 2000 an 10 (Zingst) bis 61 (Brotjacklriegel) Tagen überschritten worden ist. An 12 von 21 UBA-Stationen wurde der bis 2010 zulässige Zielwert von Überschreitungen an 25 Tagen/Jahr nicht eingehalten.

In [Tabelle 25](#) sind die Zielwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit für alle Stationen im UBA-Messnetz für die Jahre 1990 bis 2000 aufgelistet, wobei die Stationen nach Stationshöhe angeordnet sind. In [Abbildung 13](#) und [Abbildung 14](#) sind diese Werte für die 8 personell besetzten Stationen dargestellt. Folgende Ergebnisse sollen festgehalten werden:

- Die Zahl der Tage mit Überschreitungen der Zielwerte nimmt mit zunehmender Höhe der Stationen zu.
- Der bis 2010 zulässige Zielwert von 25 Tagen/Jahr wurde an den 8-personell besetzten Stationen zwischen 1990 und 2000 nur an den beiden norddeutschen Küstenstationen Zingst und Westerland in keinem Jahr erreicht oder überschritten. Die höchste Zahl an Überschreitungen wurden am Schauinsland (54-75) bzw. am Brotjacklriegel (47-76) beobachtet.
- Zwischen 1990 und 2000 traten an den 8 personell besetzten Stationen von Jahr zu Jahr erhebliche, meteorologisch bedingte Schwankungen der Zahl der Tage mit Überschreitungen auf, ein systematischer Trend ist jedoch nicht erkennbar.

Tabelle 25: Anzahl der Tage/Jahr mit Überschreitungen von gleitenden 8-h-Mitteln > 120 µg/m³ Ozon an den Messstellen des Umweltbundesamtes zwischen 1990 und 2000. Fett gedruckt: Überschreitungen des bis 2010 zulässigen Zielwertes von 25 Tagen/Jahr. Höhe der Stationen in m über NN.

	Höhe	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
ZG	1		10	9	10	9	14	15	13	10	7	10
UE	1		6	7	9	14	19	19	16	11	10	10
WE	12	13	7	5	12	14	18	17	15	17	13	14
AU	15									23	14	14
KY	40		6	3	14	21	29	29	30	36		
GI	43	11	17	24	35	38	33	30	23	25	21	22
TE	46		10	8	12	16	18	15	9	9	4	
HG	50							20	14	15	13	18
BA	52	20	17	20	31	34	29	22	16	17	15	17
AN	56		27	23	23	29	31	26	17	14	18	
SW	59	0	6	12	19	28	24	23	17	18		
NG	65		17	23	24	29	28	24	17	21	28	35
SH	70										30	30
FA	73									22	21	21
WA	74	31	32	35	47	44	38	29	22	27	29	33
HW	75	12	10	13	19	26	24	21	17	13		
MP	86			24	25	26	27	26	24	25	22	22
DL	97	5	5	11	14	21	20	23	26	29	34	
LI	98	2	7	7	18	22	31	29	28	27	24	
WI	107	22	14	12	7	19	24	26	23	25	19	
LF	356		23	28	25	30	28	25	22	22	26	26
HE	380	34	37	40	48	47	25	29	22	29	20	
RT	427	32	32	38	52	58	54	46	39	40	28	
DE	480	56	45	37	37	43	47	50	48	50	37	30
AS	481	10	17	31	44	35	27	27	26	21	23	28
LU	490		17	27	20	27	26	30	30	29	33	32
SZ	500	1	9	16	27	41	39	38	32	35	37	
ME	510	18	19	19	23	37	34	29	20	19		
LM	527				33	43	40	36	24	22	25	30
RE	595	21	33	37	49	45	40	35	35	30	32	31
MU	622						42	29	31	26	36	
SM	937		33	39	38	50	52	56	49	53	50	52
BR	1016	59	47	50	65	76	67	60	60	68	63	61
SC	1205	73	66	67	66	75	66	69	61	62	55	54
ZU	2650					95	105	102	105	96		

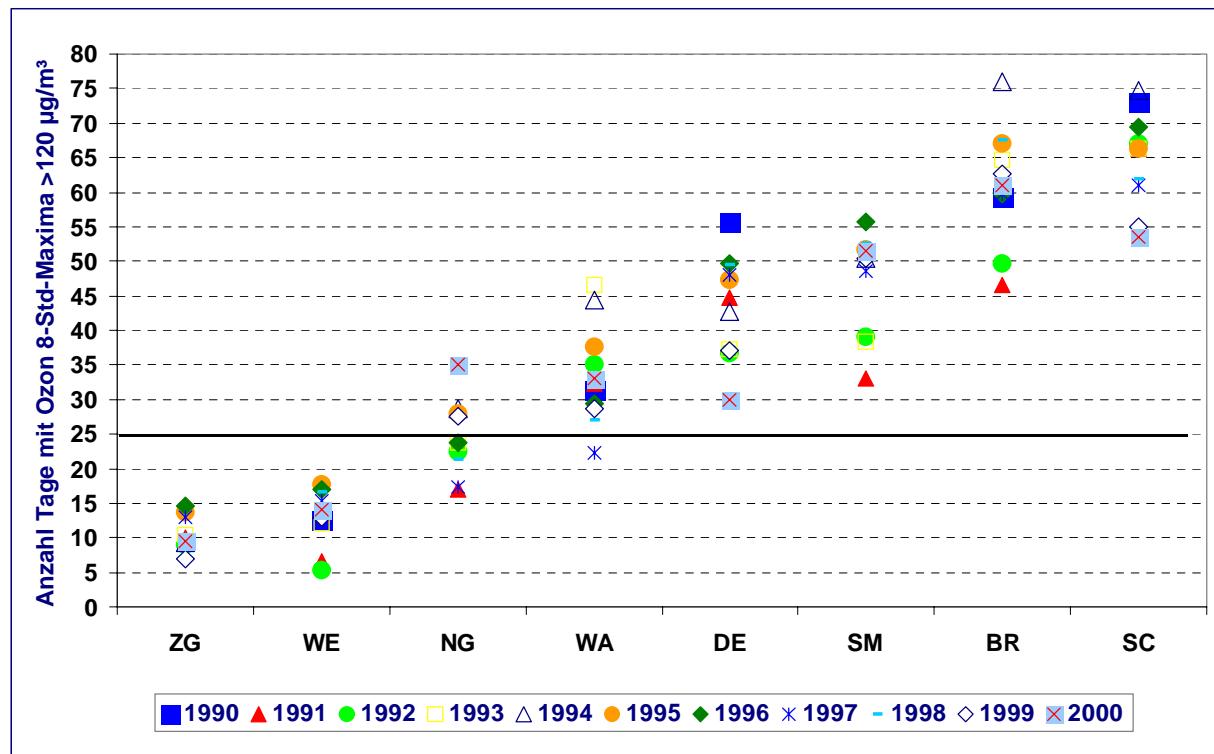


Abbildung 13: Anzahl der Tage/Jahr mit Überschreitungen von gleitenden 8-h-Mitteln > 120 µg/m³ Ozon an den 8 personell besetzten Messstellen des Umweltbundesamtes zwischen 1990 und 2000, nach Stationshöhe sortiert.

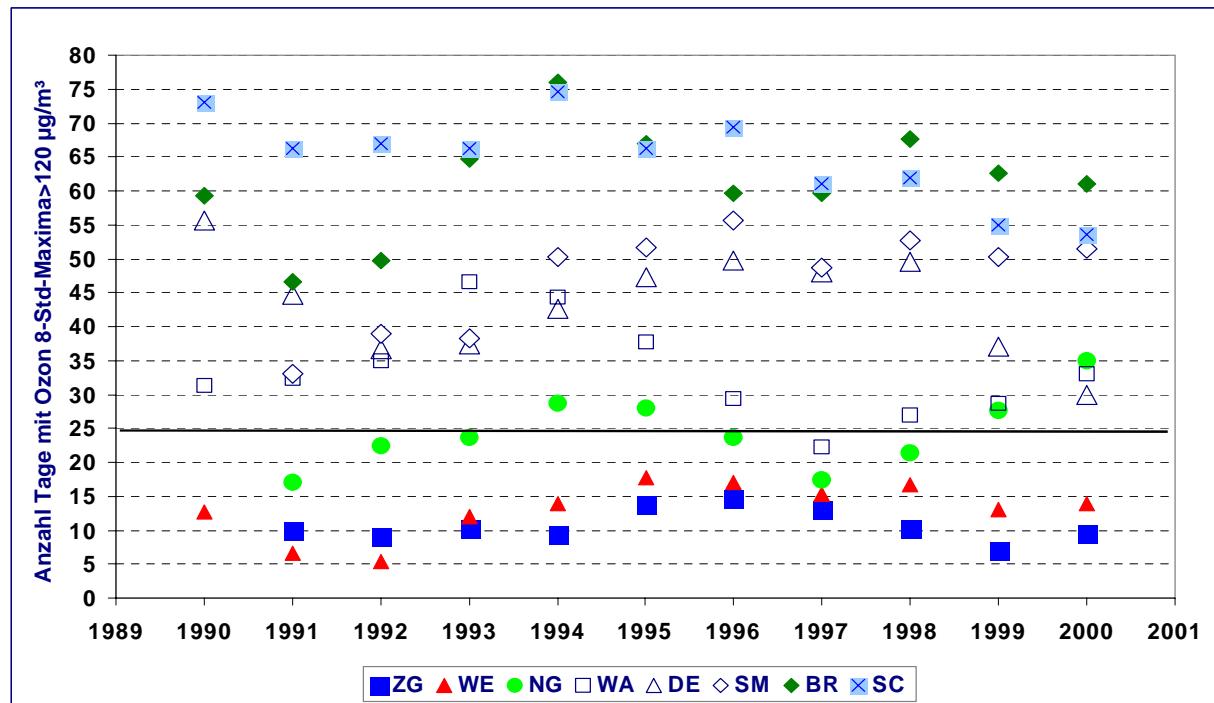


Abbildung 14: Anzahl der Tage/Jahr mit Überschreitungen von gleitenden 8-h-Mitteln > 120 µg/m³ Ozon an den 8 personell besetzten Messstellen des Umweltbundesamtes zwischen 1990 und 2000, nach Jahren sortiert.

2.1.3.2 Zielwerte für den Schutz der Vegetation

Die während des letzten Jahrzehnts im Messnetz des UBA ermittelten Zielwerte für den Schutz der Vegetation sind in Abbildung 15 und Abbildung 16 dargestellt. Bezuglich der Einhaltung des Zielwertes von $18000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ (AOT40) bis 2010 ist festzustellen, dass dieser Wert an den höher gelegenen Stationen, vor allem am Schauinsland (1205 m), im vergangenen Jahrzehnt deutlich überschritten wurde. Dagegen wurde dieser Wert an den Küstenstationen Westerland und Zingst im gleichen Zeitraum nicht erreicht.

Bezuglich der Einhaltung des Langfristziels von $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ ist festzustellen, dass dieser Wert an allen UBA-Stationen noch mehr oder weniger deutlich überschritten wird, vor allem an den Bergstationen.

Noch ausgeprägter als bei den Zielwerten für den Gesundheitsschutz ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, gleitendes 8-h-Mittel) ist bei den Zielwerten für den Schutz der Vegetation (AOT40) eine sehr starke Variation von Jahr zu Jahr zu beobachten, die ebenso meteorologische Ursachen hat (z.B. warme oder kalte Sommer). Ein systematischer Trend ist ebenso wenig zu beobachten wie bei den Zielwerten für den Gesundheitsschutz.

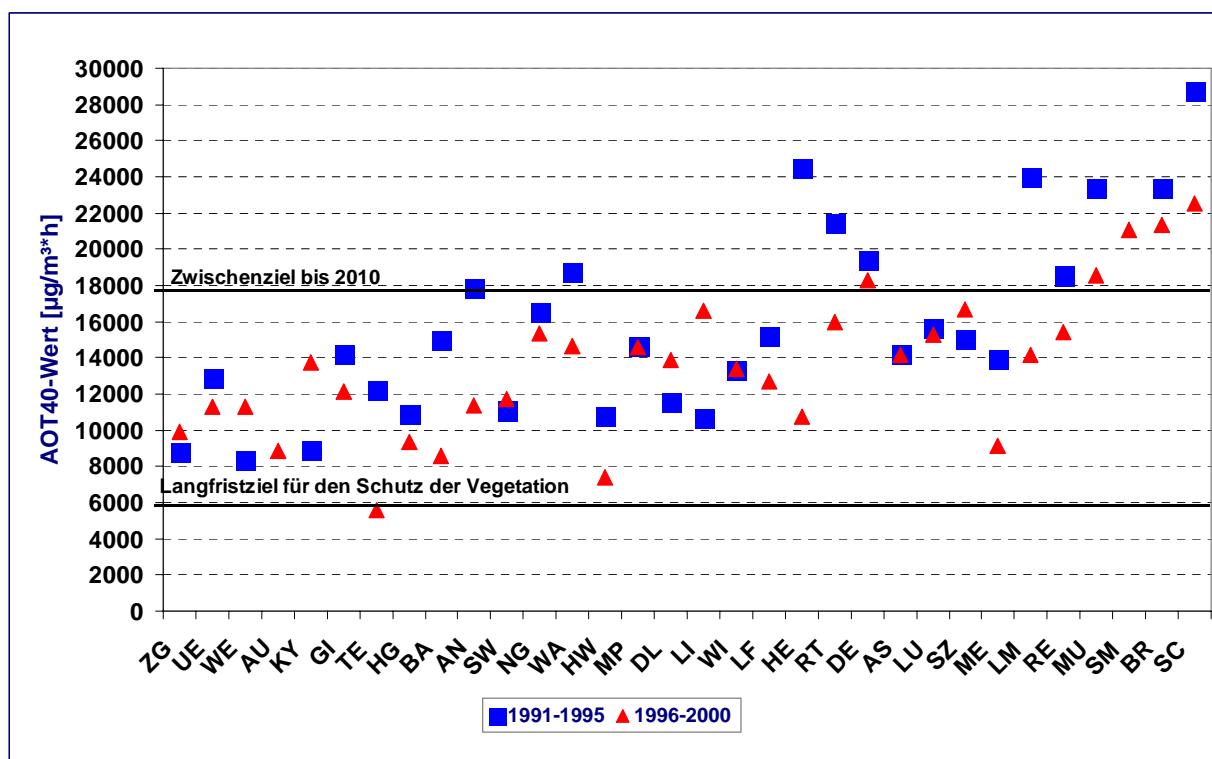


Abbildung 15: AOT40-Werte zum Schutz der Vegetation an allen Messstellen des UBA

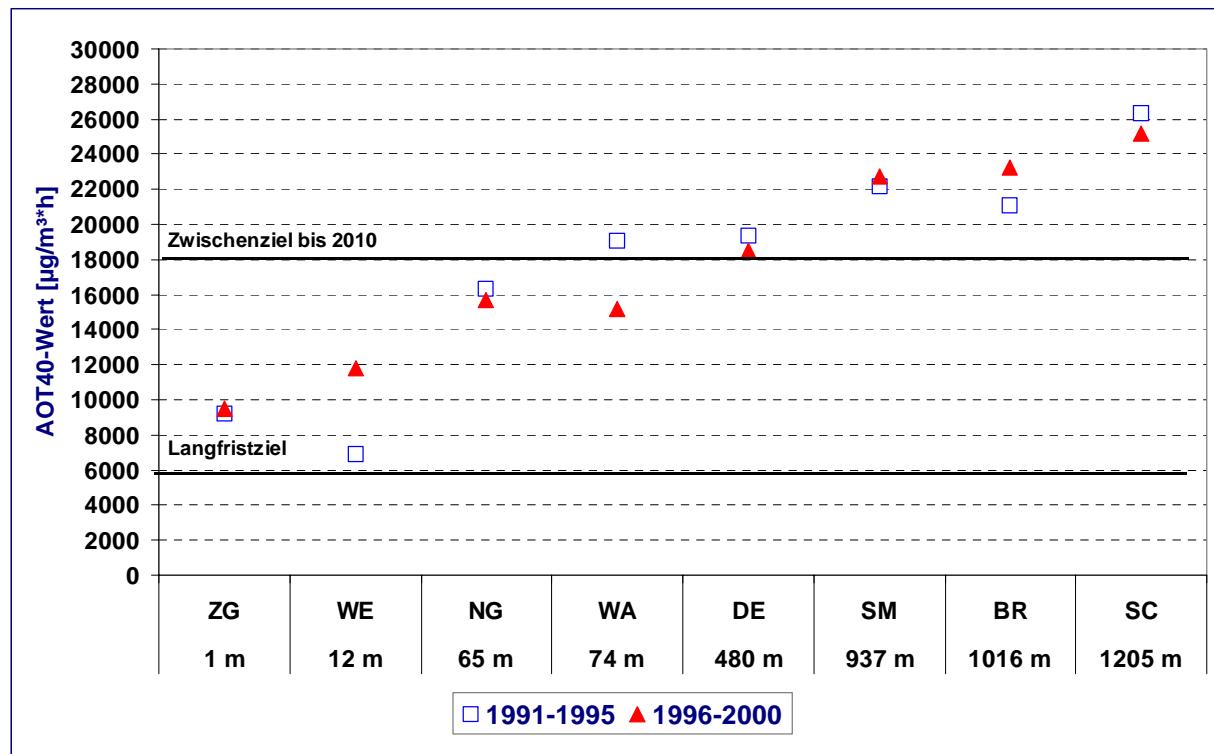


Abbildung 16: AOT40-Werte zum Schutz der Vegetation an den 8 personell besetzten Messstellen des UBA, sortiert nach Stationshöhe

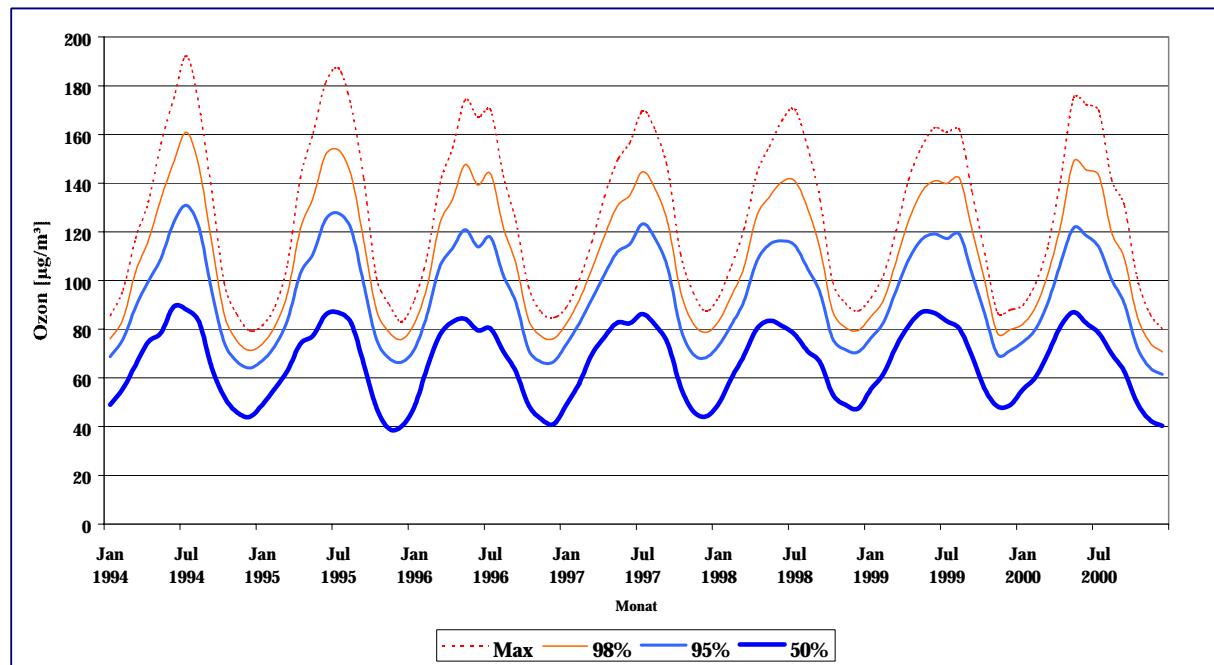


Abbildung 17: Monatliche Maxima, 98-, 90- und 50-Perzentile für Ozon von 1994 bis 2000, gemittelt über die 8 personell besetzten UBA-Messstellen.

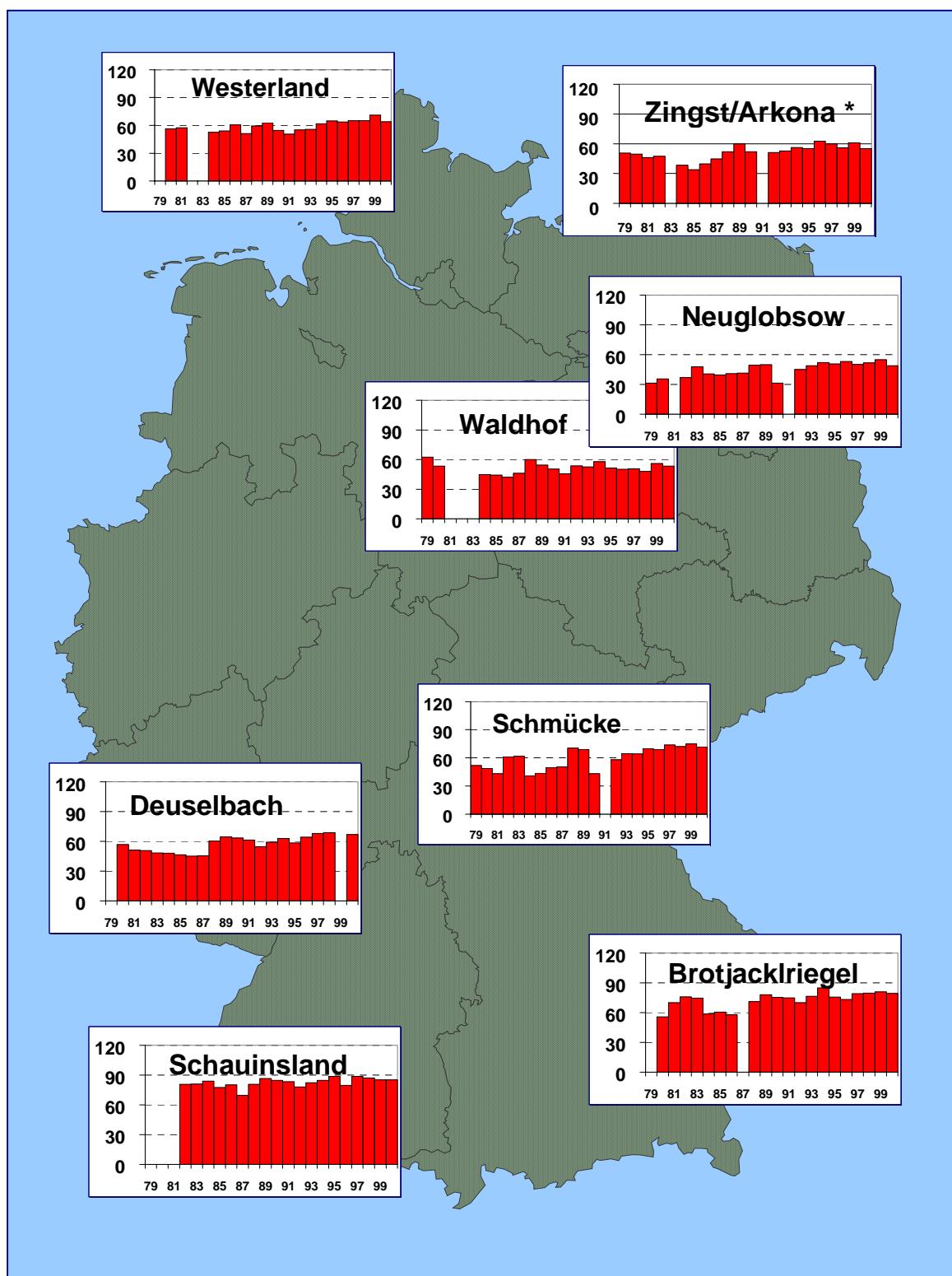


Abbildung 18: Jahresmittel von Ozon für 1969 bis 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an den personellen Messstellen des UBA

* Zingst ab 1993, davor Messungen an der Station Arkona

Tabelle 26: Monats- und Jahresmittel, Ozon für 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bezogen auf 20°C

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	58	63	77	78	89	70	75	77	60	50	36	35	64
ZG	44	51	64	73	81	80	63	61	56	37	24	28	55
HG	-	-	-	-	-	85	-	-	53	48	34	37	-
AU	31	37	48	51	59	58	47	-	38	27	20	24	40
UE	37	43	52	68	86	87	56	46	57	38	24	25	52
NG	33	40	52	67	89	86	60	55	45	29	17	24	49
SH	44	-	-	71	83	84	56	56	49	33	19	21	52
BA	33	45	52	59	70	66	48	47	34	29	30	26	45
WA	39	48	61	74	83	82	58	57	44	33	28	29	53
GI	28	39	50	55	65	68	46	44	29	23	25	24	42
FA	35	45	53	66	79	83	57	66	48	37	22	21	50
MP	35	48	54	59	68	-	-	60	47	41	25	23	47
LF	38	49	56	71	83	83	61	71	51	40	36	31	55
LM	50	54	57	78	82	82	59	83	65	48	38	39	61
LU	46	54	62	83	99	96	63	84	55	42	29	28	61
SM	50	58	68	90	105	101	74	96	70	55	48	46	72
RE	42	55	65	78	93	92	64	84	56	43	36	31	62
DE	-	-	62	85	83	88	64	83	58	51	53	44	67
AS	27	43	53	63	71	78	58	75	45	31	25	18	49
FB	51	57	74	97	-	102	78	96	69	54	51	52	73
BR	63	66	79	94	104	105	81	100	71	58	53	-	79
SC	66	77	81	94	99	109	89	108	90	71	67	71	85

Tabelle 27: Monatsmaxima der Halbstundenwerte, Ozon für 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bezogen auf 20°C

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	105	99	107	130	184	195	135	135	121	101	88	85
ZG	85	80	93	131	168	240	115	115	108	85	60	73
HG	-	-	-	-	-	247	-	-	121	96	80	84
AU	66	67	88	104	182	181	99	-	99	91	61	68
UE	75	70	93	142	207	197	106	94	129	106	64	66
NG	71	73	87	153	191	223	114	177	126	87	62	73
SH	85	-	-	144	190	214	111	181	132	115	65	69
BA	80	79	86	138	172	181	111	165	89	80	65	73
WA	88	86	97	146	180	196	120	198	123	94	65	77
GI	79	89	113	124	172	218	118	187	90	68	65	75
FA	76	77	91	129	177	187	125	173	126	97	66	69
MP	78	90	94	135	165	-	-	168	150	106	72	69
LF	77	85	97	146	169	184	128	186	130	81	76	76
LM	83	81	98	145	162	163	123	187	142	124	61	70
LU	79	102	112	136	166	200	119	174	122	96	63	74
SM	89	93	124	147	172	204	150	189	129	106	78	98
RE	81	91	124	137	171	196	149	164	119	92	73	77
DE	-	-	118	132	163	238	133	177	135	95	80	79
AS	74	92	115	134	168	181	140	168	128	83	75	75
FB	88	96	129	146	-	180	146	166	122	101	83	94
BR	101	104	149	145	159	177	144	161	123	116	86	-
SC	107	103	128	138	167	222	143	171	154	113	102	95

Tabelle 28: Monatliche 50-Perzentile der Halbstundenwerte von Ozon für 2000 in µg/m³, bezogen auf 20° C

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	67	64	79	80	88	67	75	79	61	51	37	34
ZG	43	53	66	74	83	74	64	64	56	35	22	29
HG	-	-	-	-	-	79	-	-	54	48	35	36
AU	32	38	52	54	60	52	48	-	38	24	22	22
UE	39	45	54	67	87	82	56	47	55	38	21	22
NG	35	40	53	67	90	81	63	57	44	26	14	20
SH	45	-	-	71	84	75	58	57	46	31	15	16
BA	32	46	55	58	69	59	47	45	32	29	32	24
WA	38	51	64	74	83	74	57	60	43	30	28	28
GI	21	41	57	57	61	64	44	41	26	22	26	22
FA	34	46	53	63	77	75	54	62	44	36	20	17
MP	33	49	58	61	67	-	-	58	46	41	25	21
LF	38	50	59	71	79	77	56	70	49	39	39	30
LM	52	54	59	76	78	75	56	81	62	48	41	42
LU	47	54	62	80	98	90	60	82	53	40	29	25
SM	51	60	70	88	106	98	71	94	68	55	50	47
RE	42	56	66	79	91	88	63	84	57	45	38	31
DE	-	-	63	87	81	81	59	80	57	53	55	47
AS	26	44	53	63	68	79	54	72	40	30	22	15
FB	54	57	75	100	-	102	76	95	69	55	52	54
BR	66	67	78	96	105	106	79	99	71	59	56	-
SC	70	77	83	96	100	109	86	104	87	73	67	72

Tabelle 29: Monatliche 98-Perzentile der Halbstundenwerte von Ozon für 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bezogen auf 20°C

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	88	92	100	110	133	161	113	111	101	86	71	75
ZG	76	76	86	118	118	198	100	97	93	73	54	67
HG	-	-	-	-	-	189	-	-	91	83	64	77
AU	58	58	70	90	121	149	91	-	86	69	48	62
UE	63	62	71	119	133	163	95	82	106	76	53	61
NG	68	68	80	134	164	182	101	125	99	71	49	67
SH	79	-	-	127	161	180	100	132	117	75	53	63
BA	75	74	81	105	145	148	98	110	77	64	59	67
WA	80	79	90	134	155	181	112	137	106	71	56	70
GI	74	76	87	106	146	165	104	125	76	55	54	63
FA	70	69	81	117	149	169	110	136	112	74	52	59
MP	75	78	85	120	150	-	-	150	123	83	62	61
LF	69	74	85	117	146	166	114	136	108	75	65	67
LM	71	76	82	129	138	159	105	149	119	97	56	60
LU	75	86	89	131	152	173	108	147	112	91	57	58
SM	80	83	102	134	152	176	115	156	114	88	71	85
RE	76	82	89	124	150	165	122	144	107	74	61	63
DE	-	-	103	122	141	177	116	163	110	80	72	70
AS	65	75	89	115	146	150	121	151	118	75	60	55
FB	79	89	115	134	-	167	122	143	113	92	78	87
BR	94	97	122	130	149	163	129	151	109	94	78	-
SC	94	96	118	121	141	181	133	156	129	100	83	89

Tabelle 30: Jährliche Perzentile der Halbstundenwerte von Ozon für 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bezogen auf 20° C

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
WE	1	3	15	26	48	67	82	94	101	111	195
ZG	1	4	11	19	36	57	73	86	95	107	240
HG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AU	1	1	1	6	23	41	55	68	78	95	182
UE	1	6	11	17	33	50	66	89	103	118	207
NG	1	1	3	8	23	46	68	92	110	134	223
SH	1	1	1	6	25	50	74	97	113	133	214
BA	1	1	5	12	26	43	62	76	90	111	181
WA	1	2	6	14	29	52	72	92	110	134	198
GI	1	1	2	5	18	38	60	79	93	117	218
FA	1	3	7	14	29	47	67	91	107	125	187
MP	1	1	3	8	24	43	65	85	104	121	168
LF	1	5	12	21	37	53	71	93	108	125	188
LM	1	17	25	33	44	56	73	99	114	130	187
LU	1	9	16	23	38	58	78	105	119	135	200
SM	1	21	32	40	52	68	87	111	128	143	204
RE	1	8	16	24	40	58	80	104	120	135	196
DE	1	17	27	36	49	63	83	104	118	133	238
AS	1	1	4	9	24	45	68	94	111	130	181
FB	3	18	29	38	53	69	91	114	124	137	180
BR	2	28	39	47	61	76	97	115	128	141	177
SC	1	43	54	61	70	82	98	116	128	141	222

Tabelle 31: Jahresmittel von Ozon für 1982 bis 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bezogen auf 20°C

Stat.	WE	ZG	HG	AU	H W	TE	UE	SW	NG	AN	SH	KY	BA	WA	WI	GI	LI	FA
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	-	-
1999	71	61	64	53	-	-	56	-	45	-	-	-	51	56	-	46	-	54
2000	64	55	-	40	-	-	52	-	49	-	52	-	45	53	-	42	-	50
Stat.	DL	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	AS	BR	RT	SC	MU	ZU	
1982	-	-	-	-	-	-	-	61	-	-	51	-	76	-	81	-	-	
1983	-	-	-	-	-	-	-	62	-	-	48	-	75	-	81	-	-	
1984	-	-	-	-	-	-	-	41	-	-	48	-	59	-	84	-	-	
1985	-	-	-	-	-	-	-	44	-	-	47	-	61	-	78	-	-	
1986	-	-	-	-	-	-	-	50	-	-	45	-	58	-	80	-	-	
1987	-	-	-	-	-	-	-	51	-	-	46	-	-	-	70	-	-	
1988	-	-	-	42	-	-	-	70	-	56	64	-	71	50	81	-	-	
1989	-	-	-	40	-	-	-	69	-	50	65	39	78	49	87	-	-	
1990	-	-	-	42	58	-	-	43	-	53	64	42	76	50	85	-	-	
1991	-	-	-	42	54	-	-	-	42	52	61	38	75	49	83	-	-	
1992	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	-	
1999	-	50	60	-	-	62	64	75	-	63	-	52	81	-	85	-	-	
2000	-	47	55	-	-	61	61	72	-	62	67	49	79	-	85	-	-	

2.1.4 Flüchtige Organische Substanzen (VOC)

Seit 1998 werden entsprechend dem EMEP-Programm zweimal pro Woche routinemäßig Messungen von 27 flüchtigen organischen Substanzen (siehe Tabelle 32) in Waldhof (Lüneburger Heide) und auf der Schmücke (Thüringer Wald) durchgeführt, seit Januar 2000 auch in Zingst und auf dem Brotjacklriegel. Die Messungen erfolgen jeweils am Montag und Donnerstag um 13 Uhr MEZ. Die Probenahmezeit beträgt ca. 20 Minuten. Die Probenahme erfolgt mit evakuierten Kanistern. Darüber hinaus wird zur Bestimmung eines Tagesganges an der Schmücke jeweils von Donnerstag 14:00 Uhr bis Freitag 12:00 Uhr alle 2 Stunden gemessen. Folgende VOC werden gemessen:

Tabelle 32: VOC-Messprogramm:

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-Xylool
trans-2-Buten	2-Methylpentan	o-Xylool
1-Buten	3-Methylpentan	Σ Pentene

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

In Tabelle 34 bis Tabelle 37 sind die Monats- und Jahresmittel der VOC und in Tabelle 38 bis Tabelle 41 die maximalen monatlichen Werte für die Stationen Zingst, Waldhof, Schmücke und Brotjacklriegel aufgelistet. Für die Stationen Schmücke, Waldhof, Zingst und Brotjacklriegel sind die Konzentrationsmuster ähnlich, die Konzentrationen nehmen jedoch mit zunehmender Stationshöhe in der Regel ab. Bei den VOC-Konzentrationen auf der Zugspitze ist zu bemerken, dass eine Reihe von VOCs durch starke lokale Emissionen, die durch den Tourismusverkehr verursacht werden, stark überhöhte Werte zeigen. Durch Verlagerung der Probenahmezeiten auf die Nachtstunden wird der lokale Einfluss eliminiert.

[Abbildung 20](#) und [Abbildung 21](#) zeigen beispielhaft für die Stationen Waldhof und Schmücke den gegenläufigen mittleren Jahresgang (1998-2000) für die überwiegend anthropogen emittierten VOC gesamt mit einem Maximum im Winter sowie für das überwiegend aus biogenen Quellen stammende Isopren mit einem Maximum im Sommer.

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

Zwischen 1998 und 2000 wurden an den Stationen Waldhof und Schmücke folgende Jahresmittel für VOC gesamt bestimmt:

Tabelle 33: Jahresmittel VOC gesamt

Jahr	Waldhof	Schmücke
1998	6908 ppt	5946 ppt
1999	6126 ppt	5249 ppt
2000	5830 ppt	5421 ppt

Die entsprechenden Monatsmittel aller Stationen für diesen Zeitraum sind in Abbildung 19 zu sehen. Für eine Trendaussage ist die Zeitspanne von nur 3 Jahren noch zu kurz.

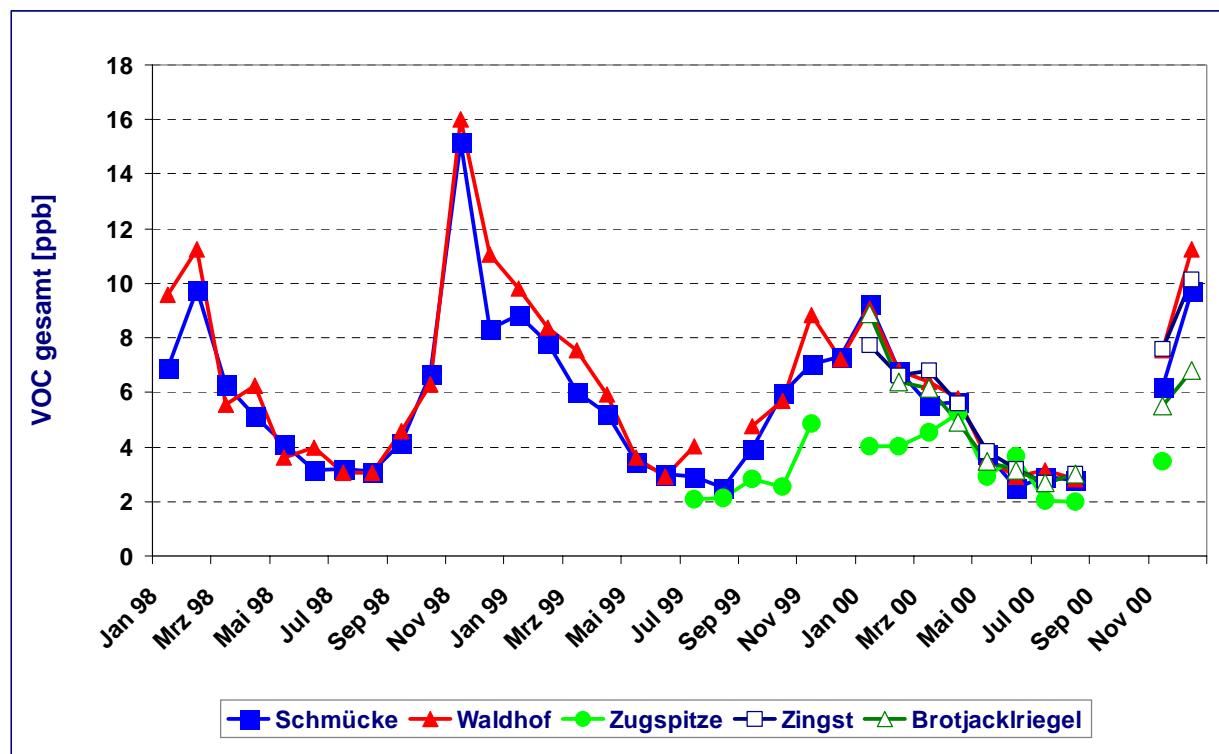


Abbildung 19: Monatsmittel VOC gesamt 1998 bis 2000

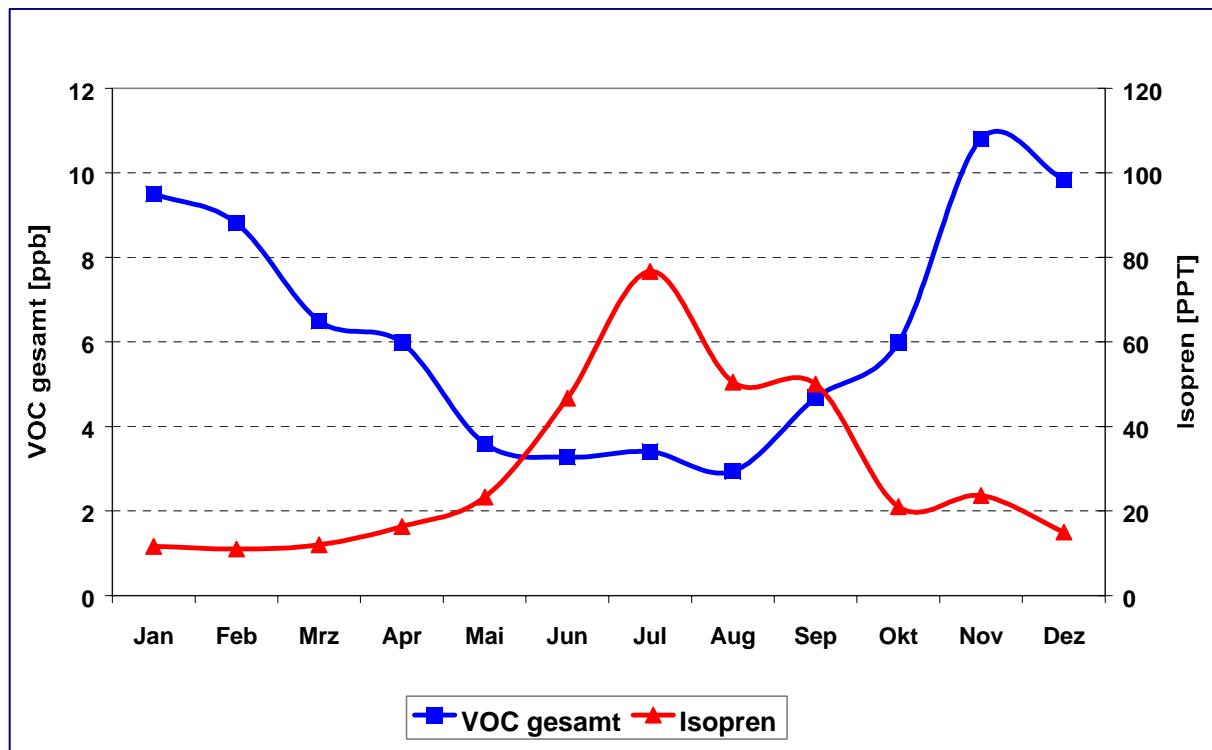


Abbildung 20: Mittlerer Jahresgang von VOC gesamt und Isopren in Waldhof für 1998-2000.

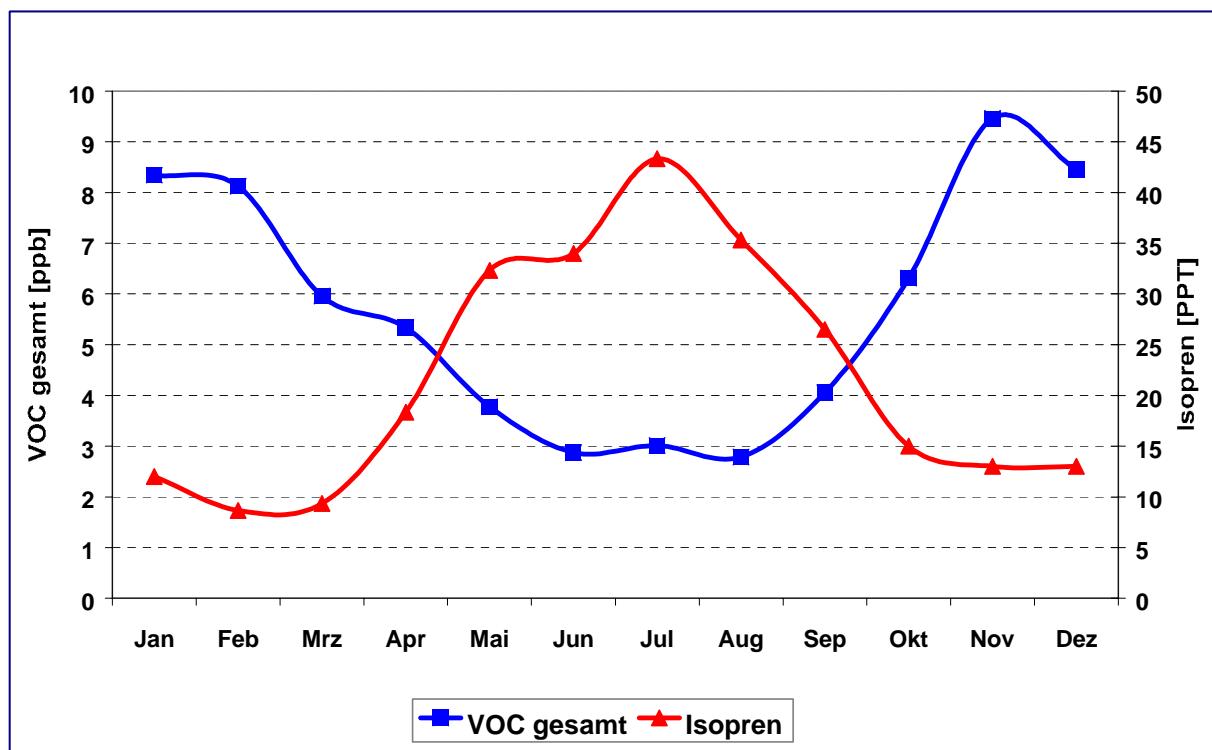


Abbildung 21: Jahresverlauf von VOC gesamt und Isopren auf der Schmücke für 2000.

Tabelle 34: Monats- und Jahresmittel, VOC in Zingst für 2000 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Ethan	2068	2111	2285	2067	1423	1068	878	853	-	-	2023	2566	1717
Ethen	1130	712	725	516	385	308	335	334	-	-	1158	1749	722
Propan	1081	991	1000	706	383	265	252	343	-	-	879	1155	696
Propen	241	126	128	101	88	88	82	72	-	-	197	263	136
Ethin	990	919	958	848	408	237	186	272	-	-	936	1544	716
i-Butan	268	231	245	158	84	72	53	78	-	-	234	295	170
n-Butan	505	425	401	261	140	124	108	150	-	-	428	534	303
trans-2-Buten	7	4	5	5	6	5	5	5	-	-	6	7	6
1-Buten	57	36	32	30	25	23	21	21	-	-	49	51	34
i-Buten	170	81	76	106	94	87	69	82	-	-	211	168	113
cis-2-Buten	8	6	4	5	6	5	5	5	-	-	7	11	6
i-Pentan	238	207	192	148	138	143	95	125	-	-	268	319	186
n-Pentan	158	133	124	83	64	57	38	64	-	-	165	198	107
Butadien 1,3	23	12	11	10	8	7	7	8	-	-	27	33	14
tr-2-Penten	6	3	2	4	6	5	4	5	-	-	4	5	4
cis-2-Penten	3	1	2	2	3	4	2	3	-	-	4	5	3
2-													
Methylpentan	63	52	47	34	29	29	19	28	-	-	86	102	48
3-													
Methylpentan	46	36	35	24	21	21	14	18	-	-	46	57	31
Isopren	11	8	11	46	166	313	311	290	-	-	23	20	123
n-Hexan	59	46	46	28	31	33	23	34	-	-	61	76	43
n-Heptan	29	24	20	18	16	13	12	14	-	-	28	32	20
Benzol	226	208	213	196	99	68	52	71	-	-	244	385	173
Toluol	221	173	144	114	118	145	60	98	-	-	308	316	168
Ethylbenzol	23	20	24	17	18	15	8	8	-	-	40	49	22
m/p-Xylol	44	24	45	21	27	25	17	11	-	-	95	114	42
o-Xylol	12	8	15	9	13	9	2	2	-	-	30	36	13
Pentene	54	33	33	36	43	40	32	35	-	-	41	44	39
VOC gesamt	7732	6625	6819	5586	3834	3200	2685	3019	-	-	7590	10124	5649

Tabelle 35: Monats- und Jahresmittel, VOC in Waldhof für 2000 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Ethan	2180	2105	2102	2055	1435	1104	985	845	-	-	2039	2668	1733
Ethen	1289	780	586	507	374	301	331	351	-	-	1089	1934	737
Propan	1188	1010	887	751	389	325	385	335	-	-	877	1334	736
Propen	286	140	125	78	77	70	89	70	-	-	222	294	143
Ethin	1139	901	772	785	381	256	209	252	-	-	830	1597	696
i-Butan	353	236	281	167	80	82	149	81	-	-	235	357	199
n-Butan	658	423	421	301	149	149	345	154	-	-	436	632	361
trans-2-Buten	12	5	12	5	5	3	6	4	-	-	8	10	7
1-Buten	76	41	53	30	25	20	22	22	-	-	53	61	40
i-Buten	211	128	116	82	91	75	66	106	-	-	229	197	129
cis-2-Buten	12	6	11	5	4	3	5	4	-	-	10	14	7
i-Pentan	384	209	243	206	98	109	99	111	-	-	276	363	206
n-Pentan	203	141	144	134	59	72	66	76	-	-	195	251	132
Butadien 1,3	30	12	9	8	5	6	8	7	-	-	32	45	16
tr-2-Penten	7	5	8	6	4	3	4	3	-	-	6	8	5
cis-2-Penten	5	2	4	3	1	1	1	1	-	-	4	7	3
2-													
Methylpentan	87	60	59	62	24	24	24	29	-	-	89	128	57
3-													
Methylpentan	63	36	38	45	16	15	15	17	-	-	45	71	35
Isopren	15	12	13	13	30	43	84	58	-	-	34	25	33
n-Hexan	79	49	47	53	23	21	24	24	-	-	61	94	46
n-Heptan	38	25	25	26	14	12	19	15	-	-	29	41	24
Benzol	263	217	183	181	105	71	79	71	-	-	211	414	176
Toluol	317	177	169	163	90	87	93	123	-	-	295	415	189
Ethylbenzol	43	19	14	25	17	11	10	12	-	-	47	60	25
m/p-Xylol	74	27	23	27	18	11	12	14	-	-	113	141	45
o-Xylol	10	0	4	18	8	3	1	6	-	-	33	46	12
Pentene	68	41	58	41	36	26	30	29	-	-	50	56	43
VOC gesamt	9078	6801	6398	5770	3551	2899	3157	2814	-	-	7539	11248	5830

Tabelle 36: Monats- und Jahresmittel, VOC auf der Schmücke für 2000 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Ethan	2241	2041	2058	1998	1448	1074	959	837	-	-	1702	2555	1671
Ethen	1349	696	455	571	317	195	238	221	-	-	813	1642	631
Propan	1145	944	828	662	380	236	326	281	-	-	666	1027	639
Propen	348	119	76	95	55	53	47	43	-	-	144	239	118
Ethin	1347	992	796	752	482	230	276	320	-	-	778	1490	731
i-Butan	310	240	162	156	99	57	87	81	-	-	183	271	162
n-Butan	573	441	315	336	205	115	178	172	-	-	358	488	313
trans-2-Buten	10	7	6	11	5	4	6	5	-	-	9	13	7
1-Buten	56	33	26	29	19	17	14	18	-	-	38	54	30
i-Buten	108	74	59	59	70	66	57	77	-	-	197	185	95
cis-2-Buten	10	6	6	10	5	4	5	5	-	-	9	15	7
i-Pentan	313	239	147	183	127	88	142	151	-	-	225	312	190
n-Pentan	189	146	95	98	68	51	79	77	-	-	132	170	109
Butadien 1,3	31	14	10	15	8	6	6	6	-	-	24	37	15
tr-2-Penten	7	8	6	11	5	4	8	6	-	-	6	9	7
cis-2-Penten	5	5	3	6	3	2	4	4	-	-	4	7	4
2-													
Methylpentan	87	65	40	47	33	19	32	39	-	-	78	105	54
3-													
Methylpentan	63	48	27	34	24	13	22	27	-	-	41	59	35
Isopren	15	11	7	30	42	35	27	41	-	-	23	21	25
n-Hexan	63	51	33	32	23	17	29	24	-	-	44	67	38
n-Heptan	45	29	19	20	16	12	17	21	-	-	31	33	24
Benzol	320	226	187	187	120	64	84	88	-	-	198	353	179
Toluol	403	251	128	176	122	83	170	139	-	-	263	324	203
Ethylbenzol	62	27	12	26	17	9	27	17	-	-	43	52	29
m/p-Xylol	97	53	20	37	22	16	35	20	-	-	112	118	52
o-Xylol	29	19	3	19	12	6	16	6	-	-	33	38	18
Pentene	60	50	40	60	38	28	40	42	-	-	48	61	46
VOC gesamt	9273	6821	5554	5643	3757	2498	2916	2758	-	-	6192	9730	5421

Tabelle 37: Monats- und Jahresmittel, VOC auf dem Brotjacklriegel für 2000 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Ethan	1954	1859	2007	1799	1327	1023	771	853	-	-	1628	2175	1515
Ethen	1576	744	620	453	307	313	291	334	-	-	700	1039	631
Propan	1009	851	843	561	295	264	235	343	-	-	548	768	565
Propen	272	146	101	67	66	83	76	72	-	-	111	129	112
Ethin	1465	901	907	824	407	303	223	272	-	-	627	920	666
i-Butan	270	217	207	118	68	68	70	78	-	-	135	185	140
n-Butan	468	373	346	182	122	117	150	150	-	-	297	320	252
trans-2-Buten	12	9	8	5	5	5	4	5	-	-	12	7	7
1-Buten	79	51	39	27	25	27	25	21	-	-	37	34	37
i-Buten	185	117	90	80	82	83	65	82	-	-	176	142	111
cis-2-Buten	12	8	7	5	4	4	4	5	-	-	13	9	7
i-Pentan	293	221	199	138	108	121	108	125	-	-	216	198	172
n-Pentan	181	128	116	158	62	74	73	64	-	-	150	128	110
Butadien 1,3	23	14	12	7	4	7	4	8	-	-	16	20	11
tr-2-Penten	8	7	7	5	5	4	4	5	-	-	11	5	6
cis-2-Penten	4	4	4	6	1	2	2	3	-	-	7	3	4
2-													
Methylpentan	80	56	49	31	25	24	25	28	-	-	64	61	44
3-													
Methylpentan	57	38	35	21	17	16	17	18	-	-	34	33	29
Isopren	21	19	26	32	249	339	165	290	-	-	47	23	128
n-Hexan	69	45	43	21	27	29	26	34	-	-	38	43	38
n-Heptan	43	27	24	17	14	18	22	14	-	-	23	20	22
Benzol	341	208	202	168	95	74	61	71	-	-	167	223	158
Toluol	281	196	169	110	91	88	187	98	-	-	239	191	166
Ethylbenzol	36	26	20	14	10	7	8	8	-	-	31	25	19
m/p-Xylol	57	47	29	20	20	4	14	11	-	-	89	56	35
o-Xylol	6	15	0	10	3	3	2	2	-	-	29	9	8
Pentene	82	57	45	42	36	36	35	35	-	-	62	35	46
VOC gesamt	8873	6375	6144	4911	3470	3131	2661	3019	-	-	5489	6795	5030

Tabelle 38: Monatsmaxima, VOC in Zingst für 2000 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ethan	2536	3044	2810	2631	1842	1350	1013	1185	-	-	2501	5041
Ethen	2306	1933	1470	831	640	549	496	512	-	-	2139	5766
Propan	1404	1576	1299	923	743	623	416	644	-	-	1350	2115
Propen	502	311	348	181	125	151	119	95	-	-	372	702
Ethin	2076	1974	1659	1697	740	486	372	523	-	-	1764	4821
i-Butan	387	396	420	221	160	198	74	207	-	-	403	551
n-Butan	806	774	636	359	264	400	157	366	-	-	686	984
trans-2-Buten	10	6	10	8	12	11	10	9	-	-	11	11
1-Buten	89	64	68	39	35	34	32	28	-	-	89	122
i-Buten	301	115	122	188	136	113	106	129	-	-	328	256
cis-2-Buten	12	11	8	8	12	9	7	10	-	-	11	19
i-Pentan	401	446	353	255	226	453	154	205	-	-	447	677
n-Pentan	266	291	206	125	97	226	64	137	-	-	281	365
Butadien 1,3	43	39	18	30	14	16	13	13	-	-	58	95
tr-2-Penten	9	6	7	7	16	10	9	10	-	-	6	8
cis-2-Penten	4	3	5	4	8	5	5	7	-	-	7	9
2-												
Methylpentan	116	118	91	57	77	128	43	49	-	-	142	219
3-												
Methylpentan	88	88	68	40	59	90	27	30	-	-	75	129
Isopren	23	14	18	178	362	752	607	785	-	-	33	41
n-Hexan	92	87	94	42	51	128	31	76	-	-	115	164
n-Heptan	55	49	31	24	22	36	22	23	-	-	47	66
Benzol	455	421	353	365	197	157	93	166	-	-	442	1320
Toluol	484	495	272	254	192	408	89	221	-	-	511	669
Ethylbenzol	71	84	50	37	34	50	20	25	-	-	68	103
m/p-Xylol	131	123	151	52	73	82	49	25	-	-	172	240
o-Xylol	62	66	93	22	38	27	7	10	-	-	61	75
Pentene	69	45	62	47	85	62	58	59	-	-	66	78

Tabelle 39: Monatsmaxima, VOC in Waldhof für 2000 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ethan	3901	2708	2629	2876	2509	1323	1216	1071	-	-	2528	5721
Ethen	3099	1777	1061	1057	901	495	706	796	-	-	1963	6763
Propan	2353	1535	1258	1319	1043	864	573	659	-	-	1509	3227
Propen	873	328	272	130	165	101	153	150	-	-	433	781
Ethin	2357	1518	1298	1035	834	440	392	534	-	-	1351	5819
i-Butan	852	360	708	358	251	253	681	178	-	-	491	812
n-Butan	1472	699	841	683	494	404	1936	336	-	-	899	1478
trans-2-Buten	42	7	54	12	8	4	18	9	-	-	25	29
1-Buten	170	69	105	42	47	30	32	35	-	-	115	132
i-Buten	342	208	169	136	141	84	93	205	-	-	364	348
cis-2-Buten	38	17	45	10	7	5	16	6	-	-	22	30
i-Pentan	822	394	541	401	281	266	187	306	-	-	609	891
n-Pentan	436	275	223	269	172	151	138	200	-	-	534	558
Butadien 1,3	110	52	18	15	11	15	27	15	-	-	94	102
tr-2-Penten	20	10	33	11	10	6	11	10	-	-	20	25
cis-2-Penten	18	5	15	6	2	2	6	5	-	-	10	15
2-												
Methylpentan	213	155	106	131	63	50	49	94	-	-	198	308
3-												
Methylpentan	159	69	64	106	43	23	38	51	-	-	101	180
Isopren	28	19	19	20	46	98	284	84	-	-	78	36
n-Hexan	188	81	69	113	74	35	55	62	-	-	130	240
n-Heptan	84	52	43	46	23	18	62	38	-	-	70	90
Benzol	538	329	306	296	226	120	191	137	-	-	311	1572
Toluol	949	411	320	298	190	167	218	378	-	-	624	967
Ethylbenzol	150	66	53	55	83	17	29	57	-	-	104	149
m/p-Xylol	251	108	67	65	86	29	26	85	-	-	269	310
o-Xylol	44	0	36	42	32	10	12	37	-	-	93	123
Pentene	147	72	145	59	62	38	60	61	-	-	105	134

Tabelle 40: Monatsmaxima, VOC auf der Schmücke für 2000 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ethan	3381	2343	2702	3287	1923	1371	1132	1021	-	-	2045	4158
Ethen	3057	1280	943	2353	498	382	420	402	-	-	1787	4701
Propan	1834	1197	1056	1214	717	370	463	446	-	-	880	2196
Propen	1510	171	124	416	109	138	66	68	-	-	319	655
Ethin	2639	1408	1322	1343	857	429	353	574	-	-	1303	3930
i-Butan	569	325	205	311	253	95	123	122	-	-	384	668
n-Butan	1077	636	417	647	578	200	227	245	-	-	839	1093
trans-2-Buten	25	17	10	26	12	6	16	17	-	-	32	41
1-Buten	108	56	44	77	29	39	19	30	-	-	74	145
i-Buten	199	103	75	76	103	106	80	182	-	-	242	347
cis-2-Buten	25	18	8	21	11	9	12	14	-	-	31	40
i-Pentan	625	441	213	364	211	143	277	319	-	-	479	819
n-Pentan	431	235	146	204	108	94	152	142	-	-	259	389
Butadien 1,3	69	27	22	59	17	12	8	13	-	-	40	111
tr-2-Penten	16	34	16	25	14	8	29	35	-	-	24	25
cis-2-Penten	10	21	6	15	12	4	17	19	-	-	13	17
2-												
Methylpentan	186	139	59	93	60	31	87	101	-	-	191	270
3-												
Methylpentan	129	107	45	65	41	20	58	67	-	-	100	153
Isopren	24	15	12	49	74	75	44	83	-	-	33	57
n-Hexan	117	90	56	79	38	30	58	58	-	-	90	153
n-Heptan	94	51	27	34	22	19	29	51	-	-	70	69
Benzol	584	315	329	428	194	114	100	129	-	-	320	910
Toluol	834	496	204	392	225	137	343	326	-	-	562	849
Ethylbenzol	119	59	49	61	46	14	63	50	-	-	120	131
m/p-Xylol	197	119	80	69	73	49	96	116	-	-	321	307
o-Xylol	100	70	29	39	47	16	56	55	-	-	111	118
Pentene	110	186	68	118	89	64	111	150	-	-	123	149

Tabelle 41: Monatsmaxima, VOC auf dem Brotjacklriegel für 2000 in ppt

Komponente	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Ethan	2563	2239	2362	2085	1800	1329	1009	1185	-	-	1876	2818
Ethen	2512	1186	988	757	473	392	501	512	-	-	990	1916
Propan	1472	1261	1005	698	495	452	356	644	-	-	752	1018
Propen	492	286	147	98	120	119	208	95	-	-	160	234
Ethin	1871	1347	1238	1225	731	462	278	523	-	-	858	1627
i-Butan	411	397	267	157	130	114	112	207	-	-	216	268
n-Butan	768	661	435	244	215	180	227	366	-	-	847	449
trans-2-Buten	21	21	17	6	7	6	13	9	-	-	48	8
1-Buten	134	78	52	33	44	33	77	28	-	-	59	48
i-Buten	343	174	144	100	117	107	91	129	-	-	293	219
cis-2-Buten	22	16	15	6	6	6	11	10	-	-	43	15
i-Pentan	487	386	361	221	229	225	150	205	-	-	654	291
n-Pentan	386	243	204	369	137	132	133	137	-	-	480	245
Butadien 1,3	40	20	19	12	6	15	9	13	-	-	28	51
tr-2-Penten	14	17	13	6	8	5	9	10	-	-	62	7
cis-2-Penten	9	8	11	20	3	2	6	7	-	-	34	6
2-												
Methylpentan	133	97	78	45	51	44	42	49	-	-	200	93
3-												
Methylpentan	101	64	61	30	34	28	26	30	-	-	115	51
Isopren	50	40	85	66	1050	1097	303	785	-	-	109	45
n-Hexan	123	84	76	33	52	78	43	76	-	-	106	72
n-Heptan	74	44	33	23	22	51	45	23	-	-	50	31
Benzol	442	284	259	261	152	112	91	166	-	-	241	427
Toluol	421	293	273	162	163	158	521	221	-	-	798	265
Ethylbenzol	73	72	47	22	18	17	16	25	-	-	122	37
m/p-Xylol	146	164	55	39	76	7	23	25	-	-	364	90
o-Xylol	39	79	2	21	16	9	6	10	-	-	133	22
Pentene	162	85	84	60	59	47	90	59	-	-	240	44

2.1.5 Kohlendioxid (CO_2)

Kohlendioxid (CO_2) ist derzeit mit etwa 50% für den zusätzlichen, anthropogenen verursachten Treibhauseffekt verantwortlich. Die wichtigsten anthropogenen Quellen in Deutschland (1998) sind Kraft- und Fernheizwerke mit ca. 38%, gefolgt vom Straßenverkehr mit 19%, Industriefeuerungen (17%) und Haushalten (15%). Der deutsche Beitrag an den weltweiten anthropogenen CO_2 -Emissionen beträgt gegenwärtig knapp 3%. Er wird in den kommenden Jahren noch weiter zurückgehen. Zwischen 1990 und 1999 haben die CO_2 -Emissionen in Deutschland um etwa (15%) abgenommen (siehe Abbildung 22).

Seit 1972 werden an 5 Messstationen des UBA (Westerland, Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjackriegel) kontinuierliche Messungen der atmosphärischen CO_2 -Konzentrationen durchgeführt, seit 1995 auch an den Stationen Zingst, Neuglobsow, Schmücke und auf der Zugspitze. Alle Werte sind auf die internationale NOAA-Scale bezogen. Abbildung 24 zeigt den Verlauf der CO_2 -Monatsmittel an der UBA-Station Schauinsland im Vergleich zu globalen Hintergrundstationen von 1968 bis 2000.

In der Tabelle 42 sind die Monats- und Jahresmittel der CO_2 -Konzentrationen und in [Tabelle 43](#) die monatlichen Halbstundenmaxima zusammengestellt.

Die monatlichen 50-Perzentile, 98-Perzentile sowie die jährlichen Perzentile sind in [Tabelle 44 bis Tabelle 46](#) zusammengestellt. Generell sind die Konzentrationsunterschiede für die unterschiedlichen Perzentile wesentlich geringer als für die reaktiven Gase SO_2 , NO , NO_2 , O_3 , PAN und VOC. In Tabelle 47 und in [Abbildung 23](#) sind die CO_2 -Jahreswerte von 1972 bis 2000 zusammengestellt. Aus diesen Daten lässt sich eine mittlere Zunahme der CO_2 -Konzentration von etwa 1.5 ppm/Jahr (entspricht etwa 0.4%/Jahr) ableiten.

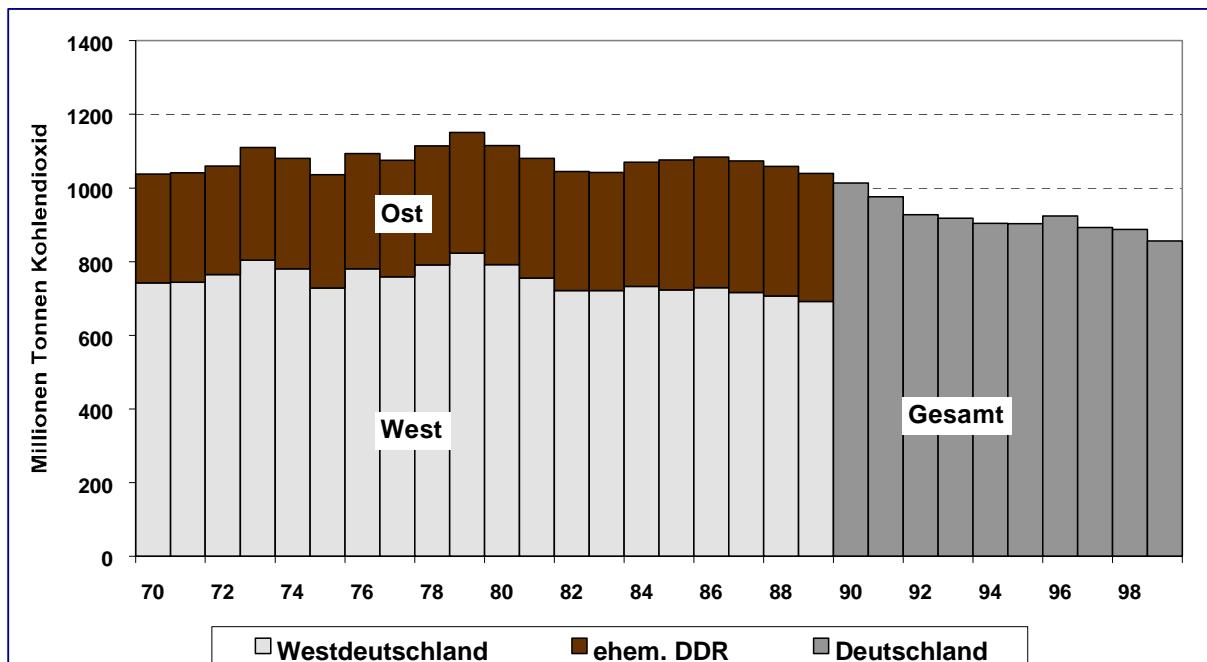


Abbildung 22: Jährliche Kohlendioxid-Emissionen in Deutschland von 1970 bis 1999 (Ref. 1)

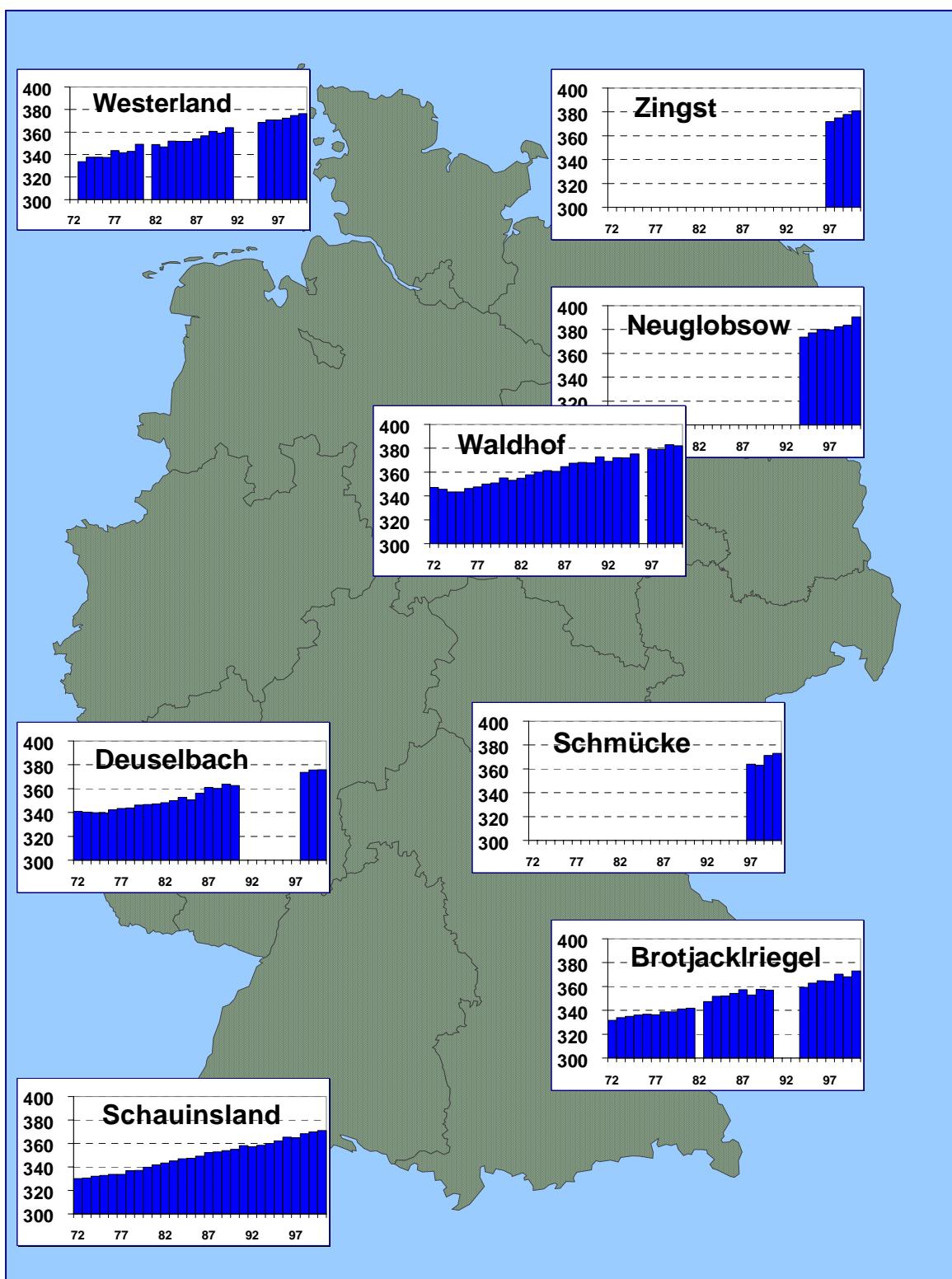


Abbildung 23: Jahresmittel von Kohlendioxid für 1972 bis 2000 in ppm

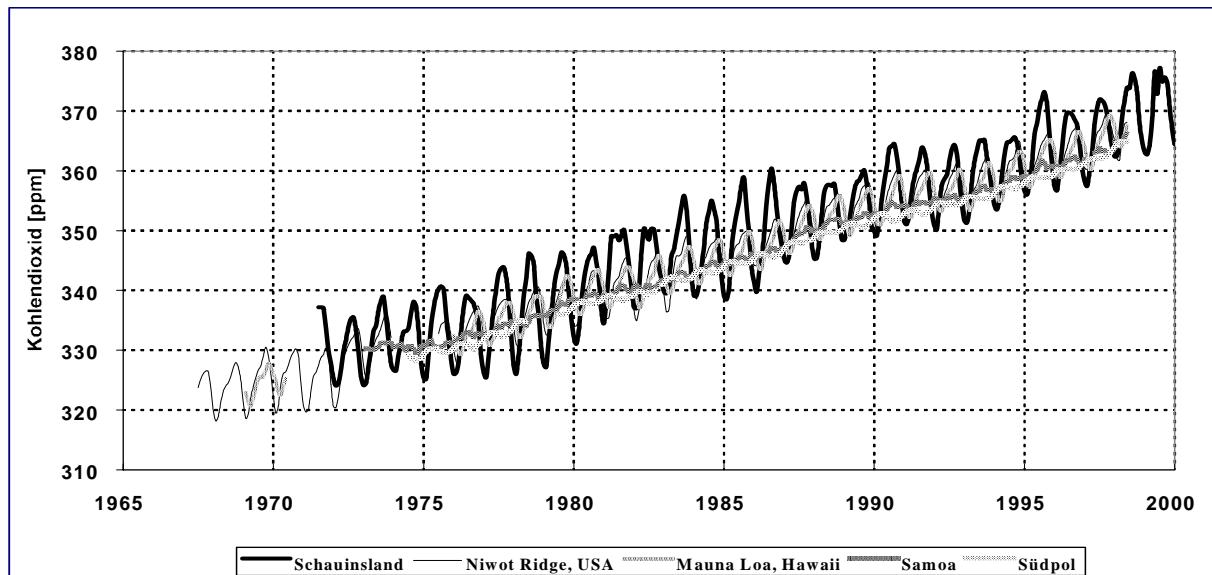


Abbildung 24: Langzeittrend der Monatsmittel der Kohlendioxidkonzentrationen vom Schauinsland im Vergleich zu Stationen auf Hawaii (Mauna Loa), in Niwot Ridge (USA), in Samoa und am Südpol zwischen 1968 bis 2000

Tabelle 42: Monats- und Jahresmittel, Kohlendioxid für 2000 in ppm, kursive Werte: GC, andere Werte: IR

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
WE	377	378	376	381	376	373	368	366	372	379	381	385	376
ZG	-	379	378	382	377	-	-	375	369	388	388	390	381
NG	385	384	383	388	386	382	379	397	392	408	403	400	391
WA	385	383	381	381	370	372	-	385	382	390	387	390	382
SM	382	379	377	375	367	367	367	364	368	374	376	382	373
DE	383	377	378	380	375	376	375	-	372	369	372	376	376
BR	380	-	376	375	370	368	368	366	368	377	377	379	373
SC	377	375	376	375	371	367	365	364	366	370	373	374	371

Tabelle 43: Monatsmaxima der Halbstundenwerte, Kohlendioxid für 2000 in ppm, kursive Werte: GC, andere Werte: IR

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	411	425	395	425	412	433	399	407	413	420	403	416
ZG	-	399	414	447	456	-	-	478	462	494	432	427
NG	419	414	437	438	455	486	496	506	523	582	484	451
WA	409	410	390	393	394	422	-	475	471	472	460	421
SM	405	392	394	404	390	400	385	386	398	409	397	418
DE	422	398	403	428	430	434	479	-	407	400	394	435
BR	409	-	405	405	391	396	396	392	399	398	406	420
SC	414	387	395	390	387	399	381	379	390	383	382	382

Tabelle 44: Monatliche 50-Perzentile der Halbstundenwerte von Kohlendioxid für 2000 in ppm, kursive Werte: GC, andere Werte: IR

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	374	376	375	379	374	371	366	363	369	377	380	383
ZG	380	378	377	380	373	-	-	368	366	384	387	387
NG	383	381	380	383	378	373	371	386	383	398	402	397
WA	385	381	381	384	368	373	-	375	379	386	385	388
SM	381	378	376	375	367	367	367	364	367	373	376	380
DE	383	378	377	378	375	375	372	-	370	369	372	375
BR	378	-	375	374	369	367	367	366	367	375	376	378
SC	376	375	375	374	371	367	365	364	365	370	373	374

Tabelle 45: Monatliche 98-Perzentile der Halbstundenwerte von Kohlendioxid für 2000 in ppm, kursive Werte: GC, andere Werte: IR

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
WE	397	394	384	402	398	399	389	390	405	404	396	409
ZG	393	394	396	411	425	-	-	430	407	440	418	413
NG	409	407	415	427	436	461	455	472	455	494	438	432
WA	407	408	389	392	394	403	-	457	427	437	422	419
SM	401	389	388	389	378	383	379	378	381	390	388	403
DE	401	390	395	405	408	413	422	-	395	387	384	416
BR	397	-	389	389	383	385	385	378	390	392	392	392
SC	400	381	384	384	380	379	375	376	379	380	378	379

Tabelle 46: Jährliche Perzentile der Halbstundenwerte von Kohlendioxid für 2000 in ppm, kursive Werte: GC, andere Werte: IR

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
WE	351	360	362	365	371	375	381	389	394	400	433
ZG	344	357	361	366	374	379	387	397	405	416	494
NG	351	362	365	368	375	384	401	419	434	458	582
WA	343	352	357	362	372	382	390	400	408	425	475
SM	353	358	360	362	367	374	378	383	387	391	418
DE	339	356	359	362	369	375	382	389	395	404	479
BR	349	358	361	363	368	373	378	383	387	391	420
SC	350	358	360	362	367	372	375	377	379	382	414

Tabelle 47: Jahresmittel von Kohlendioxid für 1972 bis 2000 in ppm, kursive Werte: GC, andere Werte: IR

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

2.1.6 Methan (CH_4)

Methan ist derzeit mit etwa 20% für den zusätzlichen Treibhauseffekt verantwortlich. Ähnlich wie das CO_2 unterliegt Methan nur geringen räumlichen und zeitlichen Schwankungen.

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

In der [Tabelle 48](#) sind die Monats- und Jahresmittel und in [Tabelle 49](#) die Monatsmaxima der Halbstundenwerte für 2000 aufgelistet. Der höchste Jahreswert wurde mit 1886 ppb in Zingst, der niedrigste mit 1846 am Schauinsland gemessen. Die CH_4 -Konzentrationen sind im Sommer geringfügig (um 0.4%) niedriger als im Winter. In Abbildung 25 ist der zunehmende Trend der Monatsmittel für Methan, CO_2 und N_2O an der Station Schauinsland dargestellt.

Die monatlichen 50-Perzentile, 98-Perzentile sowie die jährlichen Perzentile sind in [Tabelle 50 bis Tabelle 52](#) zusammengestellt. Generell sind die Konzentrationsunterschiede für die verschiedenen Perzentile - ähnlich wie beim CO_2 -wesentlich geringer als für die reaktiven Gase.

In [Tabelle 53](#) sind die CH_4 -Jahreswerte ab 1994 angegeben. Obwohl die Zeitreihen noch vergleichsweise kurz sind, lässt sich doch eine leichte Zunahme erkennen. Am Schauinsland betrug die Zunahme im Mittel 4.5 ppb/Jahr (0.2%/Jahr).

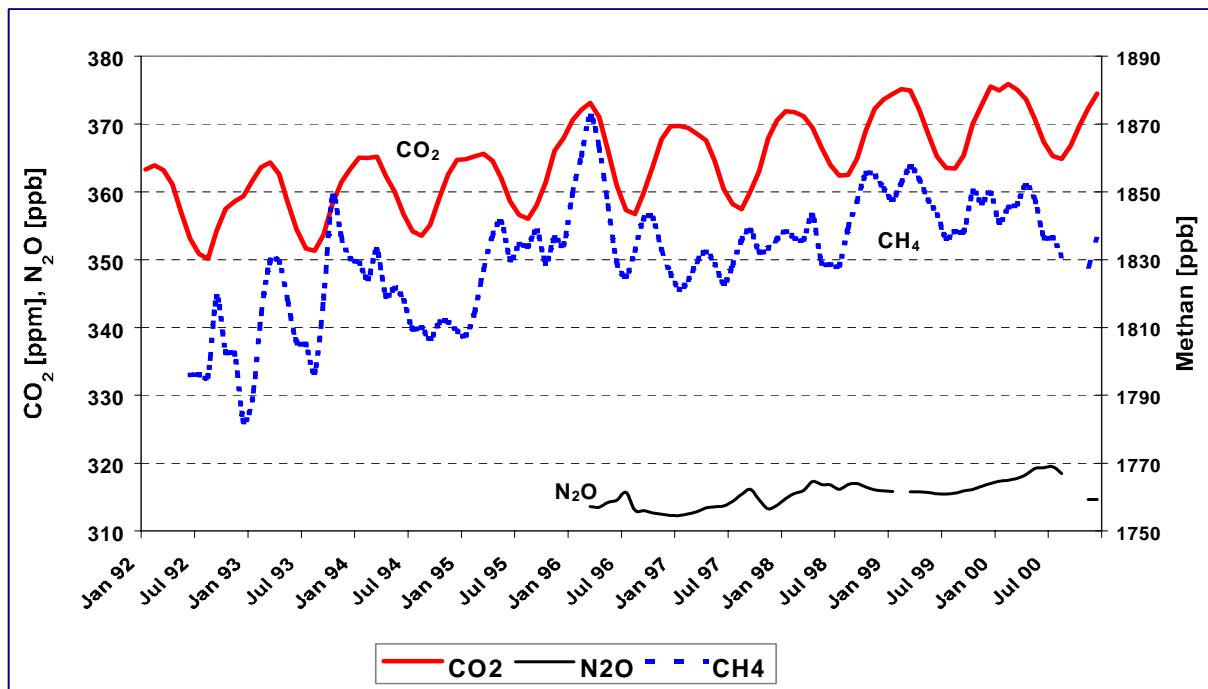


Abbildung 25: Monatsmittel der Methan-, Kohlendioxid- (CO_2) und Distickstoffoxid- (N_2O) Konzentrationen auf dem Schauinsland von 1992 bis 2000

Tabelle 48: Monats- und Jahresmittel, Methan für 2000 in ppb

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
ZG	-	1876	1860	1885	-	-	-	1894	1903	1950	1929	1933	1748
NG	1901	1885	1866	1879	1849	1843	1839	1844	1881	1897	1901	1898	1873
SM	1890	1880	1868	1872	1861	1846	1847	1838	1877	1877	1868	1885	1867
DE	1897	1870	1867	1879	1882	1872	1859	1866	1904	-	1876	1901	1880
SC	1850	1835	1851	1853	-	1842	1831	-	-	-	-	1828	-

Tabelle 49: Monatsmaxima der Halbstundenwerte, Methan für 2000 in ppb

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ZG	-	2063	2041	2086	-	-	-	2167	2202	2920	2243	2243
NG	2111	2069	2026	2081	1992	1975	1922	2009	2031	1999	1999	2000
SM	2168	2051	2044	2004	1970	1956	1971	1944	2058	2000	1998	2000
DE	2195	2066	2032	2032	2131	2100	1989	2105	2496	-	2076	2421
SC	2024	1899	1992	1986	-	2029	1970	-	-	-	-	1998

Tabelle 50: Monatliche 50-Perzentile der Halbstundenwerte von Methan für 2000

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ZG	1884	1864	1850	1877	-	-	-	1868	1889	1930	1918	1908
NG	1887	1874	1858	1872	1846	1835	1834	1835	1875	1888	1898	1883
SM	1884	1873	1859	1867	1859	1842	1844	1835	1871	1868	1864	1873
DE	1885	1866	1856	1870	1865	1863	1854	1857	1894	1875	1865	1884
SC	1841	1836	1848	1848	-	1839	1828	-	-	-	-	1825

Tabelle 51: Monatliche 98-Perzentile der Halbstundenwerte von Methan für 2000

Station	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ZG	1989	2007	1982	2006	-	-	-	2087	2049	2336	2095	2159
NG	2058	2005	1947	1998	1934	1932	1893	1944	1994	1988	1985	1995
SM	1997	1971	1957	1970	1917	1917	1921	1898	1982	1975	1945	1984
DE	2077	1960	1999	1986	2077	1986	1946	1962	2098	1975	1998	2130
SC	1979	1906	1914	1923	-	1922	1888	-	-	-	-	1887

Tabelle 52: Jährliche Perzentile der Halbstundenwerte von Methan für 2000

Station	Min	2%	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%	98%	Max
ZG	1797	1820	1827	1833	1850	1884	1930	1987	2025	2087	2243
NG	1757	1806	1815	1823	1838	1862	1898	1943	1970	1993	2111
SM	1640	1809	1817	1826	1841	1860	1886	1918	1940	1968	2168
DE	1745	1811	1821	1829	1845	1869	1902	1943	1973	2019	2496
SC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 53: Jahresmittel von Methan für 1993 bis 2000 in ppb

Stationen	Wester-land	Zingst	Neuglob-sow	Waldhof	Schmücke	Deusel-bach	Brot-jacklr.	Schau-insland	Zug-spitze
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-	-	1819	-
1994	-	1846	-	-	-	1847	-	1816	-
1995	-	1867	1857	-	1843	1872	-	1829	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	1842	1814
1997	-	-	1877	-	-	1870	-	1831	1800
1998	-	1882	1880	-	-	1878	-	1840	-
1999	-	1886	1882	-	1869	1877	-	1846	-
2000	-	1878	1873	-	1867	1880	-	-	-

2.1.7 Partikelförmige Luftverunreinigungen

Staubteilchen werden durch natürliche und anthropogene Quellen an der Erdoberfläche in die Atmosphäre emittiert (sog. Primärpartikel, Radius $> 0.1 \mu\text{m}$). Eine weitere Quelle stellt die Bildung dieser Partikel im luftgetragenen Zustand aus Spurengasen wie z.B. SO_2 und NH_3 dar (sog. Sekundärpartikel, Radius $< 1 \mu\text{m}$).

Erhebliche Unsicherheiten existieren noch immer über die Anteile von natürlichen zu anthropogenen Beiträgen sowie über den Anteil der Partikel, die durch Gasreaktionen gebildet werden. Ausgehend von der Erkenntnis, dass vor allem kleine Staubteilchen ein hohes Schädigungspotential im Hinblick auf die menschliche Gesundheit aufweisen, steht die Belastung durch Feinstaub mit der Partikelgröße PM_{10} in der Luft im Vordergrund nationaler und internationaler Luftreinhaltepolitik (Englisch: PM = particulate matter). Unter PM_{10} versteht man - etwas vereinfacht - die Gesamtmasse aller Partikel, deren Durchmesser kleiner als $10 \mu\text{m}$ ist.

Bezüglich der direkten anthropogenen Emissionen entsteht der Feinstaub hauptsächlich bei Verbrennungsprozessen aus stationären und mobilen Quellen. In Deutschland trugen 1998 folgende Quellgruppen zu den Emissionen von Feinstaub bei: Industrieprozesse (ca. 30%), Straßenverkehr und übriger Verkehr (ca. 29%), Haushalte (ca. 15%), Kraft- und Fernheizwerke (ca. 14%).

Als Folge der drastischen Reduzierung der Staub (Feinstaub)-Emissionen in Deutschland (siehe Abbildung 26) vor allem während der letzten 10 Jahre werden die entsprechenden Staub-Konzentrationen in der Luft nur noch sehr langsam abnehmen, da sie in zunehmendem Maße durch die Beiträge des Ferntransports und der natürlichen Emissionen bestimmt werden. Die gesamten Staub (Feinstaub)-Emissionen haben in Deutschland zwischen 1990 und 1999 um mehr als 85% abgenommen (Ref. 8).

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

Im UBA-Messnetz wird der Gesamtschwebstaub (Tagesproben) teilweise schon seit Ende der 1960er Jahre an den Stationen Westerland, Zingst, Neuglobsow, Waldhof, Schmücke, Deuselbach, Brotjacklriegel und Schauinsland gemessen. Ab Beginn der 90er Jahre werden neben den Tagesproben auch kontinuierliche Messungen des Schwebstaubs durchgeführt. Ab 1999 wurde an 8 von 9 personell besetzten Messstellen von der täglichen Gesamtstaubmessung auf die Bestimmung der Partikelmasse für Teilchen unterhalb von $10 \mu\text{m}$ Durchmesser (PM_{10}) umgestellt. In Waldhof wurden die Gesamtstaubmessungen parallel in 1999 weitergeführt und seit 1999 auch die Partikelmasse für Teilchen unterhalb von $2.5 \mu\text{m}$ Durchmesser ($\text{PM}_{2.5}$) bestimmt (siehe Abbildung 27). Für Waldhof ergibt sich für 2000 bei einem Vergleich zwischen PM_{10} und Gesamtschwebstaub (Digitel) ein Faktor von 0.85 und zwischen Gesamtschwebstaub und $\text{PM}_{2.5}$ ein Faktor von 0.66 bei Korrelationsfaktoren von 0.94 und 0.86 (Abbildung 27).

In der Tabelle 54 sind die Monats- und Jahresmittel des Schwebstaubs (kontinuierlich) zusammengestellt. In Tabelle 55 sind die Jahresmittel von Schwebstaub für den Zeitraum 1989 bis 2000 für das kontinuierliche Messverfahren und in Tabelle 56 die Messergebnisse der Digitel high volume Tagesproben für den Zeitraum 1968 bis 2000 aufgelistet.

Wie aus Tabelle 55 sowie aus Tabelle 56 zu entnehmen ist, wurden im Jahre 2000 ähnlich niedrige Jahresmittelwerte für Schwebstaub (Digitel-Tagesproben) beobachtet wie im Jahre 1999. Die Schwebstaubbelastung (Tagesproben) in ländlichen Gebieten Deutschlands ist während der letzten 20 bis 30 Jahre um mehr als die Hälfte zurückgegangen. Der stärkste Rückgang erfolgte zwischen 1990 und 2000.

Dieser Sachverhalt gilt auch für den Feinstaub (PM_{10}), da an den Stationen des UBA-Messnetzes die Aerosolteilchen mit einem Durchmesser größer als $10 \mu\text{m}$ kaum zur Gesamtmasse der abgeschiedenen Teilchen beitragen.

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

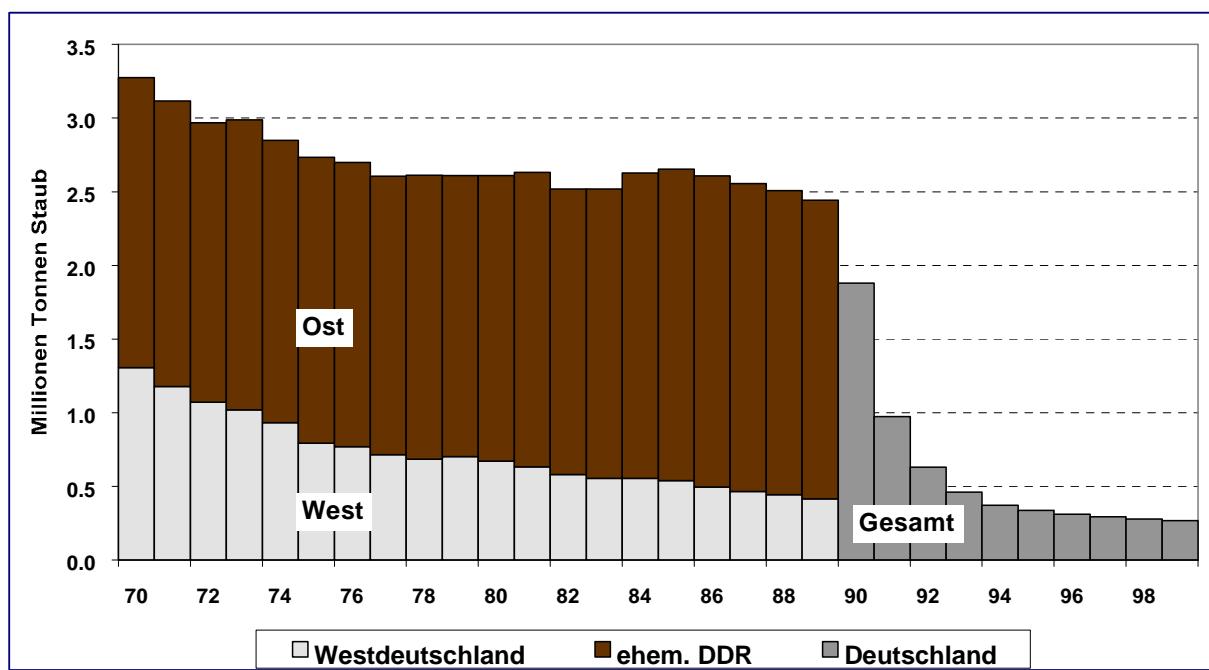


Abbildung 26: Jährliche Staub-Emissionen in Deutschland von 1970 bis 1999 (Ref. 1)

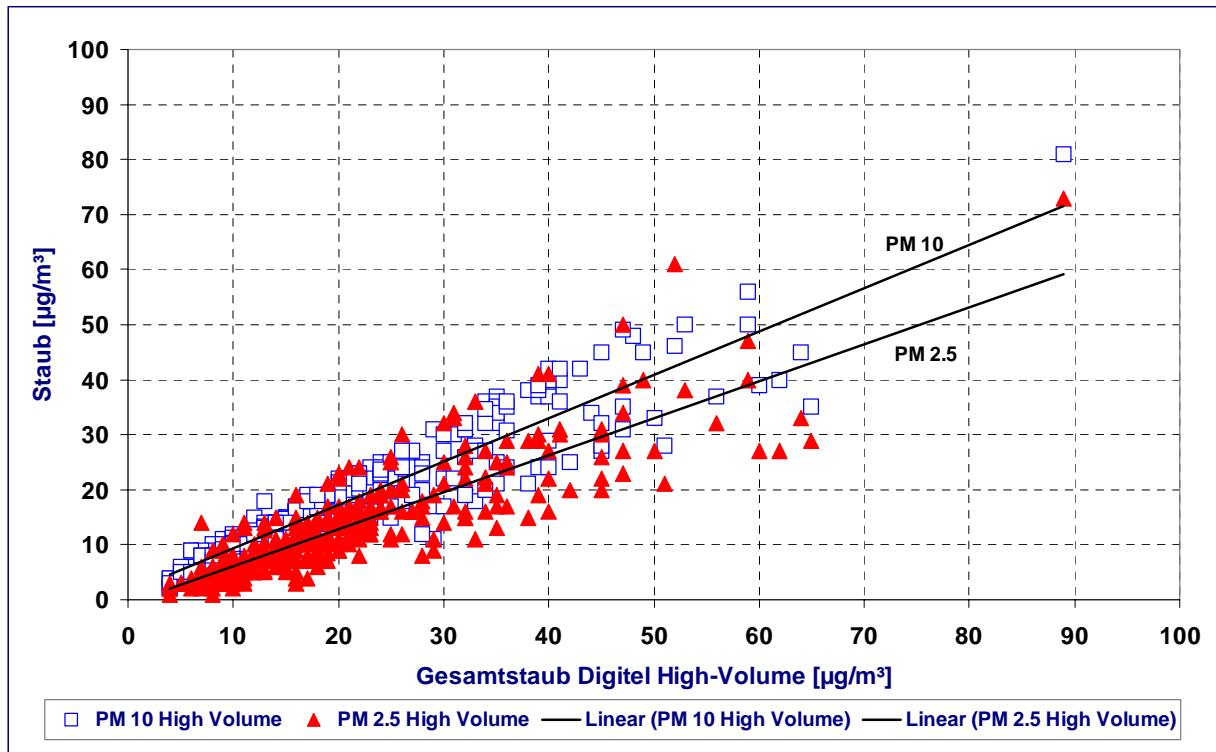


Abbildung 27: Vergleich von Staubmessungen in Waldhof in 2000 zwischen Gesamtstaub, PM₁₀ und PM_{2.5}

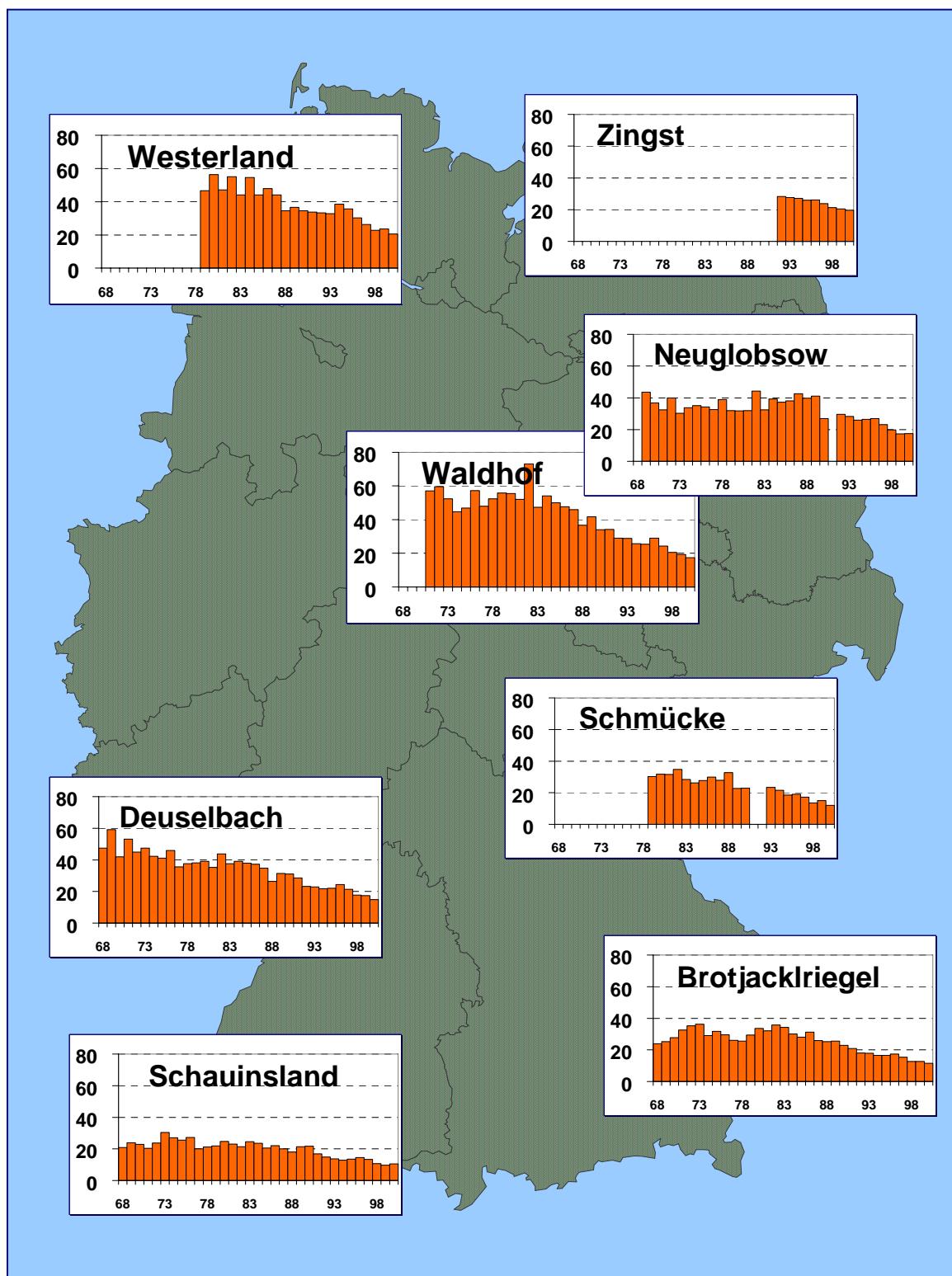


Abbildung 28: Jahresmittel von Schwebstaub für 1968 bis 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Digitel-Tagesproben, ab 1999 PM₁₀

Tabelle 54: Monats- und Jahresmittel, Schwebstaub für 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, kontinuierliches Messverfahren

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

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

Tabelle 55: Jahresmittel von Schwebstaub, 1989 bis 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, kontinuierliches Messverfahren, kursive Werte: PM_{10}

Station	WE	ZG	HG	AU	H W	TE	UE	SW	NG	AN	SH	KY	BA	WA	WI	GI	LI	FA
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	-	-	-
1999	-	11	-	20	-	-	19	-	13	-	-	-	22	9	-	19	-	18
2000	-	10	-	19	-	-	17	-	14	-	16	-	21	12	-	14	-	17
Station	DL	MP	LF	ME	HE	LM	LU	SM	SZ	RE	DE	AS	BR	RT	SC	MU	ZU	
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	-	
1999	-	20	22	-	-	20	21	11	-	17	11	13	16	-	10	-	-	
2000	-	19	18	-	-	17	21	8	-	16	10	13	17	-	9	-	-	

Tabelle 56: Jahresmittel von Schwebstaub für 1968 bis 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Digitel-Tagesproben, ab 1999 PM_{10}

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

2.1.7.1 Schwer im Schwebstaub

Tabelle 57 zeigt die Jahresmittel von Schwer im Schwebstaub der in Tabelle 56 aufgelisteten Schwebstaub (Feinstaub)-Konzentrationen. Ähnlich wie die Konzentrationen des Gesamtstaubes haben auch die Konzentrationen des Schwers (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) während der letzten Jahrzehnte deutlich abgenommen (Abbildung 29).

Der Schwergehalt im Staub ist während der letzten Jahrzehnte im Wesentlichen gleich geblieben, unabhängig von der drastischen Reduzierung der SO_2 -Emissionen in Mitteleuropa und dem dadurch verursachten erheblichen Rückgang der SO_2 -Konzentration (siehe Abbildung 30)

In Abbildung 29 sind die über die 4 Stationen Waldhof, Deuselbach, Brotjacklriegel und Schauinsland gemittelten Jahresmittel von Schwer im Schwebstaub (in $\mu\text{gS}/\text{m}^3$) zwischen 1974 und 1999 dargestellt. Die Station Westerland wurde wegen des hohen Seesalzanteils am Aerosol nicht berücksichtigt. Abbildung 30 zeigt die entsprechende Kurve wie in Abbildung 29, diesmal jedoch für das Massenverhältnis zwischen dem Schwer im Schwebstaub und dem Gesamtstaub sowie zum Vergleich den mittleren Verlauf der SO_2 -Konzentrationen an den 4 Stationen. Beide Kurven sind auf das Jahr 1974 normiert. Beide Kurven laufen auseinander, d.h. das atmosphärische SO_2 scheint kaum einen Einfluss auf den Schwergehalt im Aerosol zu haben. Man erkennt beispielsweise einen deutlichen Rückgang der SO_2 -Konzentrationen zwischen 1987 und 1988 als Folge drastischer SO_2 -Minderungen (2. Stufe der Großfeuerungsanlagenverordnung), aber keinen Rückgang des Schweranteils im Aerosol. Sehr wahrscheinlich wurde der Beitrag des SO_2 zum Schwergehalt im Aerosol bisher überschätzt (Ref. 9, 10).

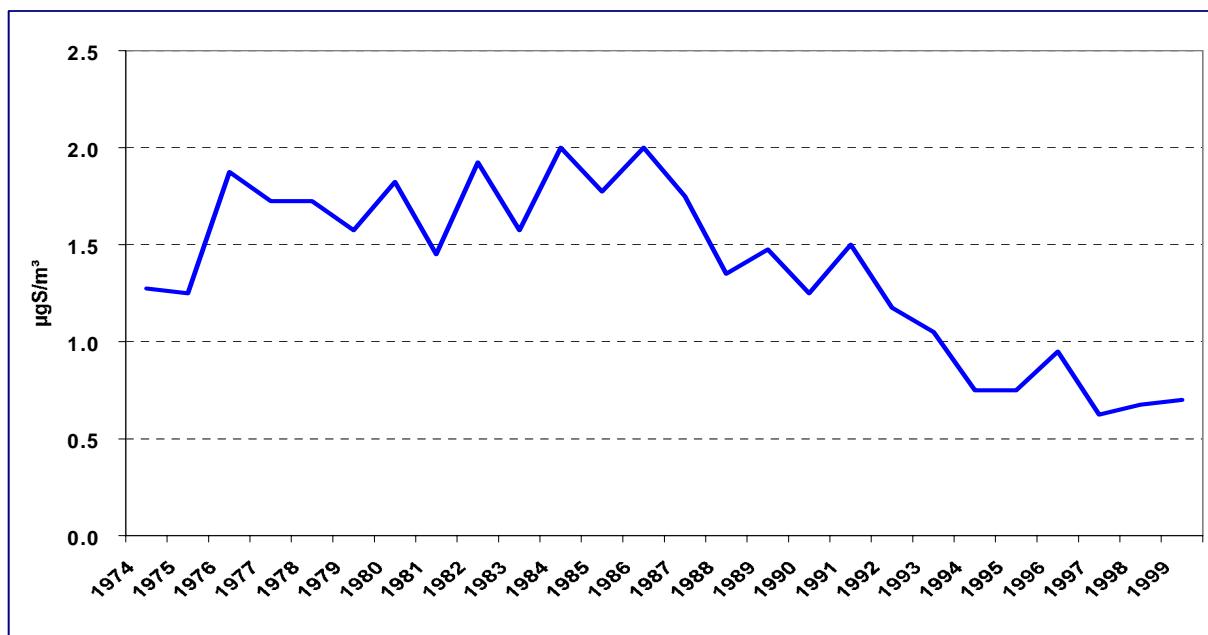


Abbildung 29: Jahresmittel Schwer im Schwebstaub von 1974 bis 1999 in $\mu\text{gS}/\text{m}^3$ im Mittel über 4 Messstellen in den alten Bundesländern (ohne Westerland wegen des hohen Seesalzanteils)

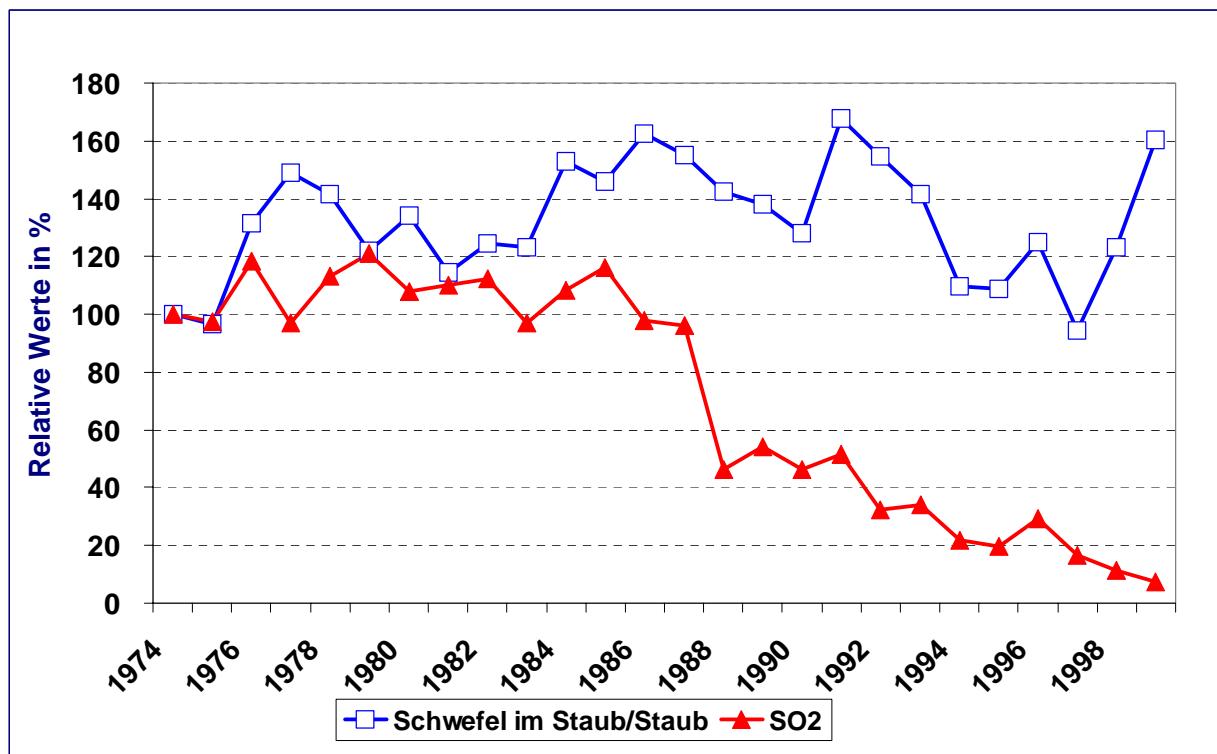


Abbildung 30: Massen-Verhältnis Schwefel im Schwebstaub/Gesamtstaub und SO₂-Konzentrationen der Jahresmittel zwischen 1974 und 1999, im Mittel über 4 Messstellen (Waldhof, Deuselbach, Schauinsland und Brotjacklriegel) in den alten Bundesländern (ohne Westerland wegen des hohen Seesalzanteils), normiert auf das Jahr 1974

Tabelle 57: Jahresmittel von Schwefel im Schwebstaub für 1974 bis 1999
in $\mu\text{gS}/\text{m}^3$

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
1999	0.9	0.6	-	0.7	-	0.8	-	0.6	0.7	-	0.8	-	0.5

2.2 Ionen im Niederschlag

In Deutschland trägt die nasse Deposition durch Regen erheblich zur Beseitigung von Spurenstoffen aus der Atmosphäre bei (Ref. 14). Der Eintrag von Spurenstoffen durch Niederschläge in Böden kann nützlich sein, wenn es sich bei den ausgewaschenen Substanzen um Nährstoffe für Pflanzen handelt. Der Eintrag kann aber auch eine Belastung für Wasser, Böden und Vegetation bedeuten, wenn der Eintrag zu groß ist (sog. Eutrophierung), oder wenn es sich bei den deponierten Stoffen um Substanzen handelt, von denen schädigende Wirkungen ausgehen. Die chemische Zusammensetzung des Regens wird durch eine Vielzahl von gas- und partikelförmigen Substanzen bestimmt, von denen vor allem NO_x und Aerosolteilchen in Deutschland von Bedeutung sind.

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

Im UBA-Messnetz werden sowohl daily-bulk- als auch weekly wet-only-Probenahmen incl. Analysen durchgeführt. Die daily-bulk-Messungen werden jedoch nur noch in Deuselbach und Waldhof fortgeführt, in Westerland, Zingst, Neuglobsow, auf der Schmücke, dem Brotjacklriegel und dem Schauinsland wurden sie am 31.12.1999 eingestellt. Die nachfolgend aufgeführten Grafiken beziehen sich ausschließlich auf die daily-bulk Messungen. In den Tabellen sind jedoch sowohl die Ergebnisse der daily-bulk-Messungen (Tabelle 58 bis Tabelle 63) als auch der weekly wet-only-Messungen (Tabelle 64 bis Tabelle 75) dargestellt.

Die Konzentrationen und Depositionen der Ionen Ammonium (NH₄⁺), Sulfat (SO₄²⁻), Nitrat (NO₃⁻), Chlorid (Cl⁻), Natrium (Na⁺), Kalium (K⁺), Calcium (Ca⁺⁺) und Magnesium (Mg⁺⁺) werden zusammen mit der Regenmenge und der spezifischen Leitfähigkeit als Monatswerte für die Stationen Waldhof und Deuselbach in Tabellenform für das Jahr 2000 zusammengestellt. Des Weiteren wird für jede der 2 weitergeführten daily-bulk-Stationen der mittlere Jahresgang der Monatswerte für die Konzentrationen und Depositionen sowie die Jahreswerte tabellarisch dargestellt: Für die Stationen umfasst die Darstellung den Zeitraum von 1982 bis 2000.

2.2.1 Konzentrationen der Ionen im Niederschlag

In Tabelle 58 sind die monatlichen Konzentrationen der Ionen im Niederschlag sowie die elektrische Leitfähigkeit, der pH-Wert und die Regenmenge der daily bulk-Messungen der Messstellen Deuselbach und Waldhof für 2000 zusammengestellt. An den Messstellen Westerland, Zingst, Neuglobsow, Schmücke, Brotjacklriegel und Schauinsland wurden die daily bulk Messungen am 31.12.1999 eingestellt.

In Tabelle 59 und Tabelle 60 sind der mittlere Jahresgang der Monatswerte sowie die Jahresmittel für die Ionen-Konzentrationen, die pH-Werte und die spezifische Leitfähigkeit sowie die Jahressummen für die Regenmengen für Deuselbach und Waldhof für die Jahre 1982 bis 2000 zusammengefasst.

Aus diesen Tabellen sowie aus den Abbildung 31 bis Abbildung 35 geht hervor, dass sich der seit 1982 beobachtete Rückgang der Ionenkonzentrationen einiger Ionen wie beispielsweise H^+ , $\text{SO}_4^{=}$ und NO_3^- auch im Jahre 2000 fortgesetzt hat.

An den meisten Stationen wurden 2000 die niedrigsten Jahreswerte für H^+ , $\text{SO}_4^{=}$ sowie für die elektrische Leitfähigkeit seit Beginn der Messungen beobachtet. Wie aus [Abbildung 31](#) zu ersehen ist, zeigen die pH-Werte an den 5 Stationen in den alten Bundesländern einen deutlichen Anstieg von ca. 4.3-4.4 im Jahre 1982 auf Werte zwischen 4.8-5.0 im Jahre 2000. Ein Anstieg der pH-Werte entspricht einem Rückgang der Konzentration von Wasserstoffionen (H^+). Das heißt, der Regen ist heute deutlich weniger sauer als zu Beginn der 80er Jahre. Der Rückgang der Konzentrationen der Wasserstoffionen (H^+) von 1982 bis 2000 lag zwischen 59% auf dem Brotjacklriegel und 89% in Waldhof, der Rückgang von $\text{SO}_4^{=}$ zwischen 43% auf dem Schauinsland und 65% auf dem Brotjacklriegel.

Parallel zum Anstieg der pH-Werte hat der Gesamtgehalt an Ionen im Niederschlag und damit dessen spezifische Leitfähigkeit zwischen 1982 und 2000 an den Stationen in den alten Bundesländern ebenfalls deutlich abgenommen. Auch an den drei Stationen in den neuen Bundesländern ist eine Zunahme der pH-Werte nicht zu übersehen, trotz des relativ kurzen Zeitraums 1993-2000. Eine Ausnahme ist Westerland, wo, bedingt durch den Einfluss von Seesalz, nur ein schwacher Rückgang beobachtet wurde.

Die Abnahme des Gesamtgehaltes an Ionen im Regenwasser während der letzten zwei Jahrzehnte war verbunden mit einer Änderung der relativen Ionenverteilung. Im Jahre 2000 waren die prozentualen Anteile von H^+ und $\text{SO}_4^{=}$ geringer, die relativen Äquivalentkonzentrationen von NO_3^- und NH_4^+ dagegen höher als 1984, wobei deren Absolutkonzentrationen ebenfalls abgenommen haben. Generell unterscheiden sich die Konzentrationen der Regeninhaltsstoffe Sulfat, Nitrat und Ammonium an den 8 Stationen nur wenig, d.h. die Konzentrationsverteilung dieser Ionen in den ländlichen Regionen ist recht homogen.

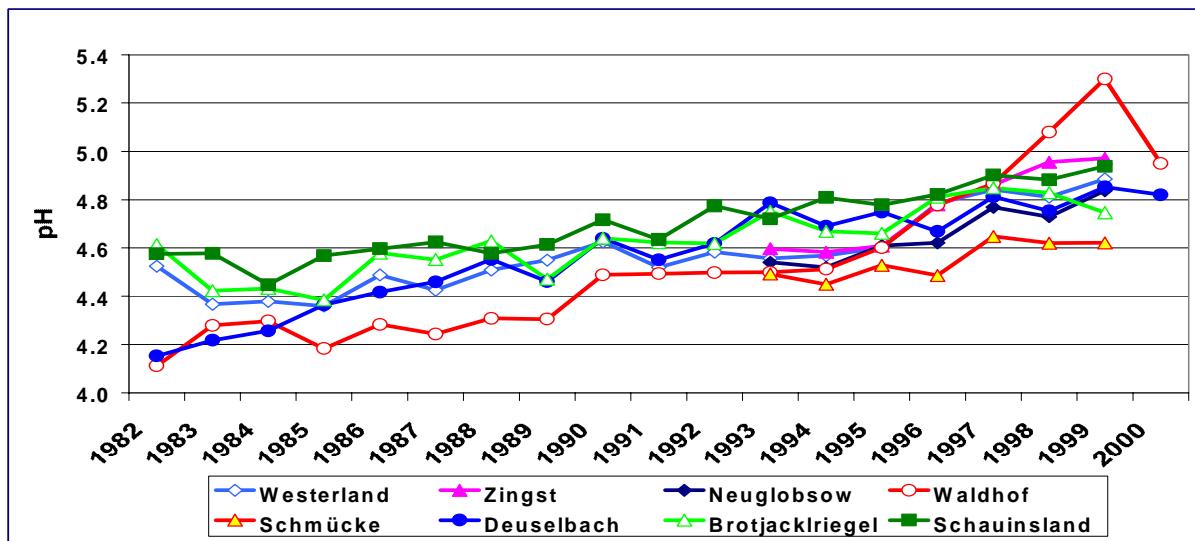


Abbildung 31: Jahresmittel pH-Wert im Niederschlag von 1982 bis 2000 für die personell besetzten UBA-Messstellen.

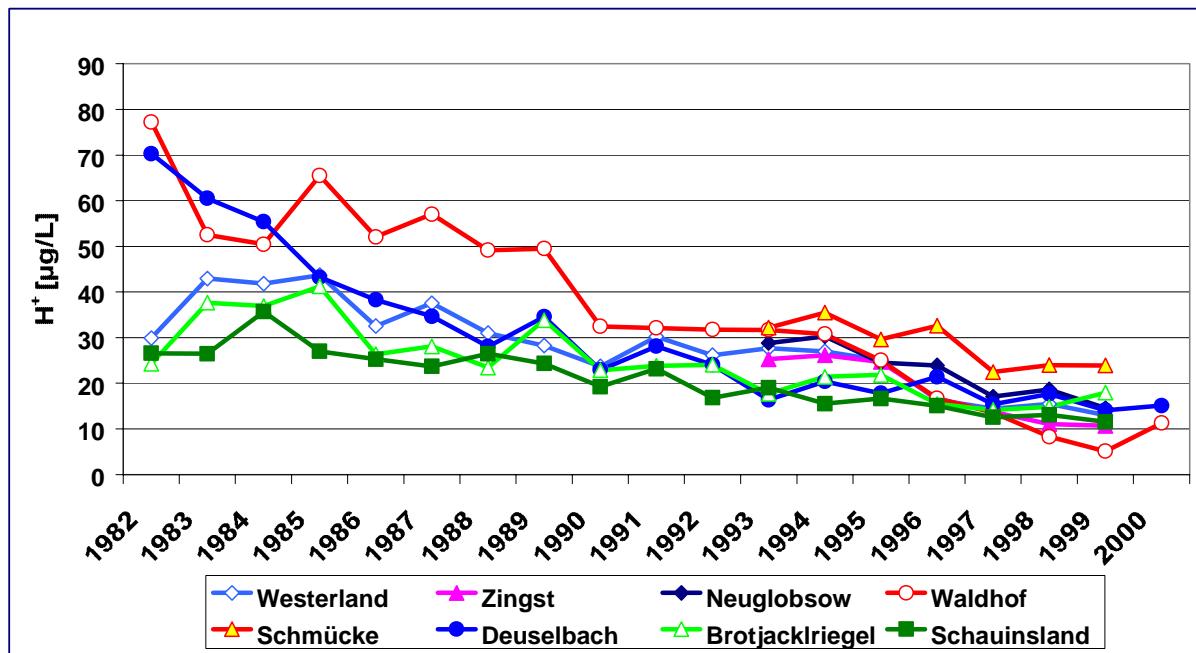


Abbildung 32: Jahresmittel H^+ -Ionen-Konzentration im Niederschlag von 1982 bis 2000 für die personell besetzten UBA-Messstellen.

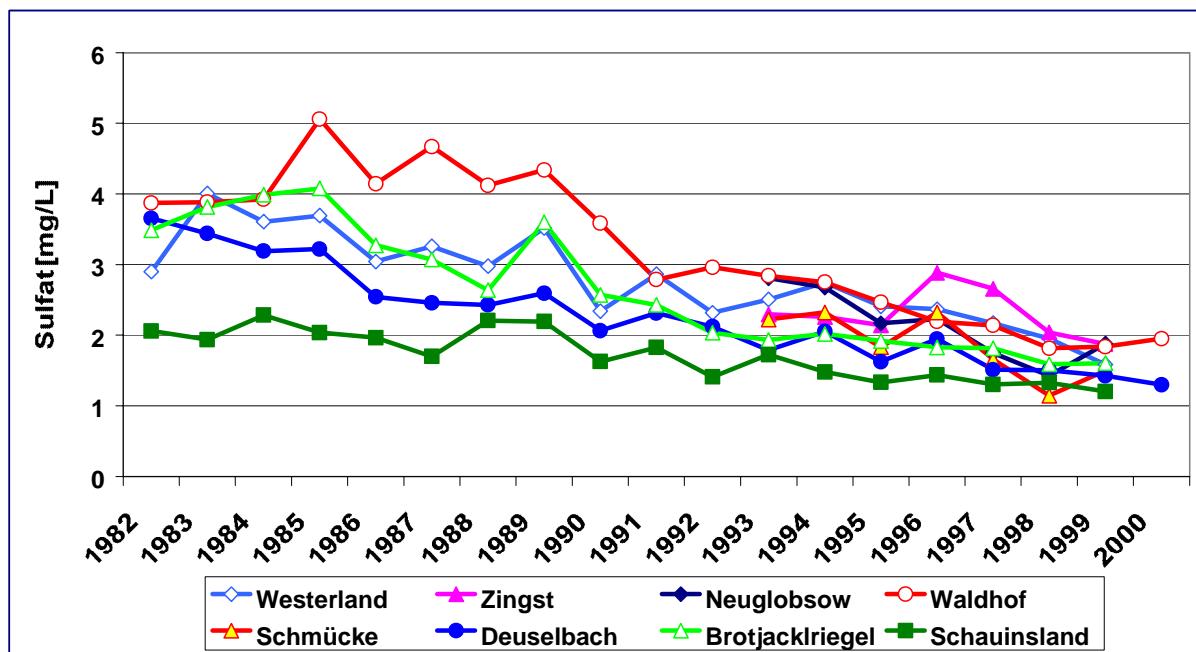


Abbildung 33: Jahresmittel $SO_4^{=}$ -Ionen-Konzentration (seesalzkorrigiert) im Niederschlag von 1982 bis 2000 für die personell besetzten UBA-Messstellen.

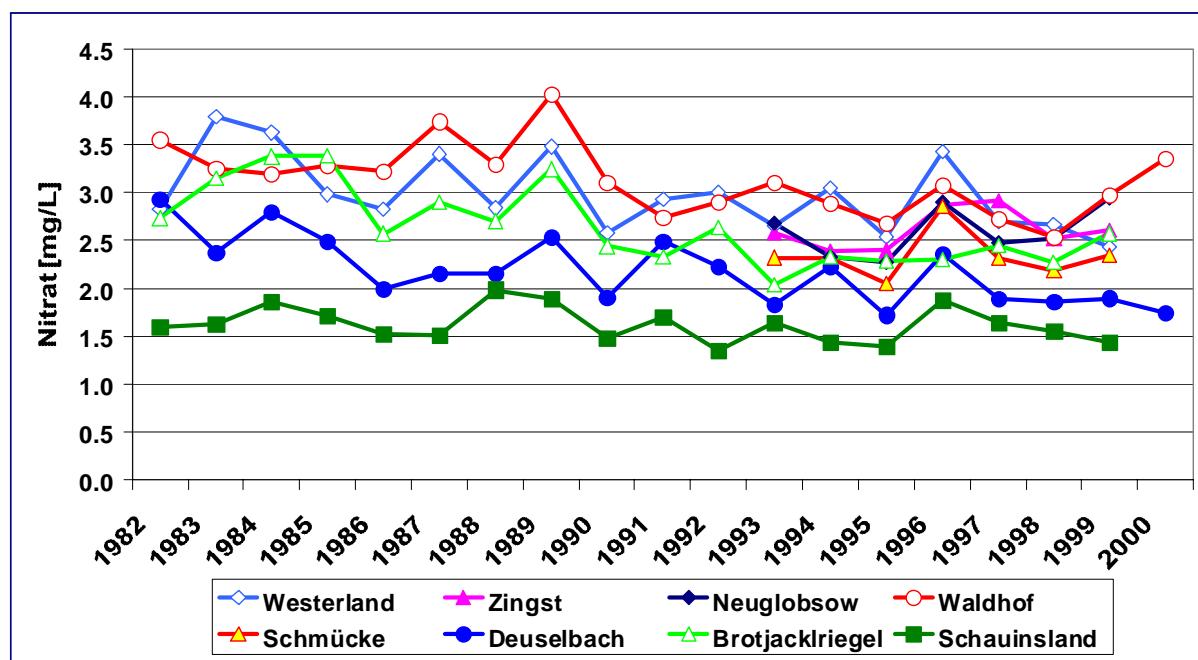


Abbildung 34: Jahresmittel NO₃⁻-Ionen-Konzentration im Niederschlag von 1982 bis 2000 für die personell besetzten UBA-Messstellen.

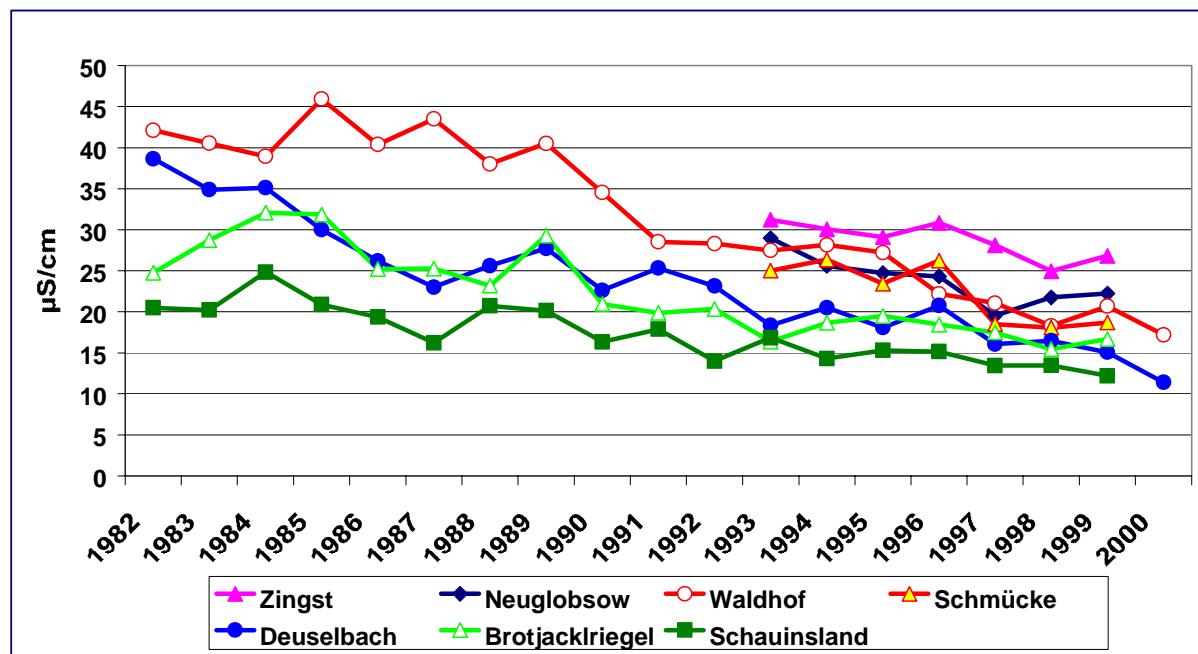


Abbildung 35: Jahresmittel der Leitfähigkeit des Niederschlags von 1982 bis 2000 für die personell besetzten UBA-Messstellen.

Tabelle 58: Monatliche Konzentrationen im Niederschlag für 2000, Waldhof und Deuselbach (daily bulk)

Zeit- raum	Regen l/m ²	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.	39.5	5.23	25.4	0.94	1.60	0.15	0.68	0.15	2.05	3.12	3.15
Feb.	40.3	4.98	31.7	0.99	1.73	0.17	0.70	0.24	2.33	3.90	3.21
Mär.	79.5	5.16	18.8	0.89	0.69	0.11	0.54	0.18	2.06	2.87	1.33
Apr.	26.6	5.33	27.0	1.71	0.18	0.22	1.34	0.15	3.66	6.25	0.38
Mai	17.5	5.50	24.4	1.79	0.32	0.29	0.90	0.18	2.90	5.72	0.75
Jun.	32.4	5.56	16.9	0.91	0.18	0.33	0.77	0.13	2.30	3.01	0.33
Jul.	99.3	4.75	17.1	0.88	0.10	0.10	0.48	0.09	1.81	2.94	0.26
Aug.	63.3	4.72	16.2	0.88	0.15	0.14	0.40	0.10	1.75	3.21	0.31
Sep.	33.5	4.74	19.5	1.07	0.19	0.06	0.68	0.11	2.15	3.83	0.39
Okt.	25.5	5.24	19.0	0.96	0.25	0.17	0.71	0.19	2.11	3.08	0.72
Nov.	21.3	5.72	13.2	0.51	0.29	0.09	1.00	0.24	1.80	2.59	0.63
Dez.	30.4	4.79	19.8	0.65	1.02	0.07	0.65	0.19	1.55	2.44	2.01
DEUSELBACH											
Jan.	31.5	4.82	20.4	0.65	0.81	0.11	0.40	0.08	1.82	2.44	1.49
Feb.	76.9	4.92	13.9	0.29	0.61	0.03	0.30	0.06	1.33	1.46	1.07
Mär.	72.1	4.85	16.5	0.77	0.17	0.06	0.29	0.06	1.68	2.20	0.34
Apr.	39.4	4.87	18.6	1.03	0.20	0.08	0.37	0.09	1.95	3.30	0.42
Mai	80.7	4.73	17.9	0.81	0.13	0.04	0.37	0.07	1.79	2.63	0.29
Jun.	43.9	4.73	16.9	0.69	0.09	0.04	0.26	0.04	1.65	2.10	0.18
Jul.	158.6	4.75	12.8	0.44	0.07	0.03	0.12	0.03	1.17	1.49	0.17
Aug.	44.6	4.89	19.7	0.88	0.14	0.17	0.59	0.08	2.19	2.50	0.28
Sep.	136.1	4.74	12.7	0.45	0.11	0.04	0.18	0.03	1.16	1.55	0.30
Okt.	76.5	5.01	11.3	0.29	0.50	0.05	0.17	0.08	1.00	1.11	0.87
Nov.	119.0	4.89	10.9	0.23	0.42	0.04	0.20	0.06	0.97	1.02	0.79
Dez.	54.3	4.89	16.5	0.34	0.85	0.08	0.26	0.15	1.31	1.40	1.55

Tabelle 59: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima, und -minima, Jahresmittel der Konzentrationen im Niederschlag sowie Summen der Niederschlagsmenge in Waldhof für 1982 bis 2000 (da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben) (daily bulk).

Zeitraum	Regen l/m ²	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											
82-00	151.4	5.96	99.2	-	-	-	-	-	15.66	11.45	8.90
84-00	151.4	5.96	91.5	4.21	4.06	0.52	2.47	0.48	15.66	11.45	8.90
Kleinste Monatswerte											
82-00	0.8	3.84	10.4	-	-	-	-	-	1.19	1.14	0.13
84-00	0.8	3.92	10.4	0.18	0.05	0.03	0.09	0.03	1.19	1.14	0.13
Mittlerer Jahresgang 1984-2000											
Jan.	48.4	4.54	29.5	0.59	1.16	0.12	0.39	0.17	2.48	2.45	2.27
Feb.	39.6	4.55	31.8	0.73	1.40	0.13	0.45	0.20	2.71	2.56	2.70
Mär.	43.1	4.56	31.5	1.13	0.71	0.13	0.46	0.15	3.02	3.31	1.53
Apr.	33.8	4.54	35.1	1.68	0.42	0.18	0.70	0.13	4.20	4.36	0.90
Mai	46.8	4.31	39.3	1.49	0.23	0.21	0.69	0.11	4.83	4.08	0.55
Jun.	53.1	4.38	31.4	0.96	0.23	0.13	0.51	0.10	3.49	3.15	0.56
Jul.	68.0	4.43	28.8	1.02	0.18	0.12	0.48	0.08	3.31	3.07	0.41
Aug.	56.6	4.46	31.8	1.16	0.32	0.20	0.63	0.11	3.68	3.32	0.68
Sep.	49.3	4.43	33.6	1.02	0.57	0.15	0.57	0.13	3.85	3.31	1.16
Okt.	44.4	4.57	26.4	0.78	0.50	0.14	0.51	0.12	2.78	2.77	1.01
Nov.	46.7	4.58	27.1	0.72	0.72	0.13	0.50	0.17	2.76	2.67	1.48
Dez.	50.7	4.55	25.8	0.59	0.63	0.11	0.39	0.12	2.44	2.34	1.32
Jahreswerte											
1982	494.1	4.11	42.1	-	-	-	-	-	4.05	3.55	1.23
1983	627.5	4.28	40.5	-	-	-	-	-	4.03	3.25	1.10
1984	670.5	4.30	39.0	0.92	0.59	0.12	0.43	0.10	4.08	3.19	1.18
1985	545.1	4.18	45.9	1.21	0.69	0.20	0.47	0.10	5.25	3.28	1.53
1986	629.3	4.28	40.4	0.99	0.54	0.15	0.40	0.10	4.27	3.22	1.13
1987	678.0	4.24	43.5	1.22	0.44	0.14	0.57	0.09	4.77	3.74	0.98
1988	562.3	4.31	38.0	1.01	0.50	0.13	0.57	0.12	4.24	3.29	1.10
1989	443.6	4.31	40.5	1.26	0.54	0.17	0.67	0.14	4.47	4.02	1.19
1990	587.6	4.49	34.5	1.07	0.77	0.20	0.60	0.18	3.78	3.11	1.58
1991	454.5	4.49	28.5	0.87	0.55	0.22	0.57	0.14	2.82	2.74	1.11
1992	546.0	4.50	28.3	0.93	0.54	0.16	0.52	0.14	3.09	2.90	1.13
1993	652.7	4.50	27.5	0.93	0.50	0.15	0.51	0.12	2.97	3.11	1.04
1994	706.9	4.51	28.2	0.86	0.70	0.13	0.52	0.13	2.92	2.88	1.40
1995	531.8	4.60	27.2	0.93	0.73	0.12	0.45	0.15	2.65	2.67	1.51
1996	487.8	4.78	22.2	0.97	0.23	0.10	0.38	0.08	2.25	3.07	0.52
1997	584.7	4.87	21.0	0.87	0.43	0.12	0.44	0.13	2.24	2.72	0.87
1998	772.4	5.08	18.1	0.81	0.43	0.12	0.51	0.13	1.92	2.53	0.83
1999	506.0	5.30	20.7	0.87	0.84	0.11	0.62	0.19	2.05	2.98	1.63
2000	509.1	4.95	17.2	0.96	0.54	0.14	0.65	0.15	2.09	3.35	1.07

Tabelle 60: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima, und -minima, Jahresmittel der Konzentrationen im Niederschlag sowie Summen der Niederschlagsmenge in Deuselbach für 1982 bis 2000 (da die Anionen nur an 2 Stationen seit 1982 gemessen wurden, sind für die größten und kleinsten Monatswerte 2 verschiedene Bezugszeiträume angegeben) (daily bulk).

Zeit- raum	Regen l/m ²	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											
82-00	197.7	5.76	72.5	-	-	-	-	-	8.75	9.01	6.05
84-00	197.7	5.76	72.5	3.52	3.23	0.56	1.43	0.41	8.75	9.01	6.05
Kleinste Monatswerte											
82-00	3.6	3.90	10.3	-	-	-	-	-	0.75	0.50	0.11
84-00	3.6	3.96	10.3	0.11	0.07	0.02	0.09	0.02	0.75	0.50	0.11
Mittlerer Jahresgang 1984-2000											
Jan.	57.9	4.73	17.6	0.27	0.69	0.08	0.24	0.10	1.47	1.23	1.34
Feb.	49.7	4.63	20.8	0.46	0.63	0.10	0.29	0.09	1.78	1.74	1.18
Mär.	55.3	4.66	23.8	0.95	0.40	0.10	0.36	0.08	2.42	2.46	0.82
Apr.	46.8	4.44	31.0	1.04	0.31	0.10	0.43	0.09	3.17	3.36	0.69
Mai	59.2	4.37	31.6	1.01	0.17	0.13	0.41	0.07	3.29	3.33	0.36
Jun.	64.5	4.43	28.0	0.77	0.16	0.10	0.42	0.06	2.98	2.69	0.36
Jul.	67.9	4.54	23.3	0.69	0.15	0.10	0.40	0.05	2.57	2.26	0.35
Aug.	51.8	4.66	20.8	0.75	0.20	0.12	0.39	0.06	2.26	2.23	0.39
Sep.	73.0	4.60	20.4	0.53	0.24	0.07	0.35	0.05	1.95	2.00	0.48
Okt.	70.3	4.75	14.9	0.31	0.32	0.08	0.28	0.06	1.52	1.38	0.62
Nov.	58.6	4.62	18.8	0.41	0.40	0.07	0.28	0.07	1.64	1.68	0.79
Dez.	64.9	4.74	16.1	0.26	0.51	0.06	0.23	0.08	1.35	1.31	1.00
Jahreswerte											
1982	704.6	4.15	38.7	-	-	-	-	-	3.77	2.93	0.80
1983	657.6	4.22	34.9	-	-	-	-	-	3.54	2.37	0.67
1984	789.0	4.26	35.1	0.73	0.31	0.14	0.33	0.06	3.27	2.80	0.70
1985	572.1	4.36	30.0	0.75	0.41	0.14	0.38	0.07	3.33	2.49	0.94
1986	695.7	4.42	26.2	0.59	0.42	0.09	0.25	0.07	2.65	1.99	0.93
1987	923.4	4.46	23.0	0.65	0.24	0.09	0.25	0.04	2.52	2.15	0.53
1988	752.1	4.55	25.6	0.63	0.52	0.10	0.27	0.08	2.56	2.16	1.09
1989	625.7	4.46	27.7	0.72	0.33	0.12	0.35	0.07	2.68	2.54	0.66
1990	691.3	4.64	22.6	0.59	0.48	0.19	0.29	0.08	2.18	1.90	0.81
1991	506.4	4.55	25.3	0.66	0.49	0.12	0.40	0.10	2.43	2.49	0.81
1992	780.6	4.62	23.1	0.58	0.28	0.08	0.48	0.07	2.19	2.22	0.55
1993	716.0	4.79	18.3	0.47	0.34	0.08	0.43	0.07	1.84	1.83	0.65
1994	668.8	4.69	20.5	0.68	0.32	0.06	0.43	0.08	2.13	2.22	0.70
1995	885.7	4.75	18.1	0.54	0.29	0.05	0.33	0.07	1.70	1.72	0.56
1996	531.7	4.67	20.8	0.68	0.27	0.08	0.37	0.08	2.01	2.36	0.57
1997	670.2	4.81	16.1	0.60	0.27	0.06	0.28	0.06	1.58	1.89	0.56
1998	760.1	4.75	16.5	0.52	0.33	0.07	0.37	0.08	1.58	1.85	0.66
1999	733.9	4.85	15.1	0.49	0.26	0.05	0.35	0.08	1.49	1.90	0.53
2000	933.6	4.82	11.4	0.51	0.29	0.05	0.25	0.06	1.37	1.74	0.56

2.2.2 Depositionen von Ionen mit dem Niederschlag

In ++ Tabelle 61 sind die monatlichen Depositionen der Ionen im Niederschlag für das Jahr 2000 zusammengestellt. Tabelle 62 und Tabelle 63 enthalten die mittleren Jahresgänge der Depositionen sowie deren Jahreswerte. Heute wird die nasse Deposition in erster Linie durch die Regenmenge bestimmt, die auf Grund der orographischen und klimatologischen Gegebenheiten sehr große Unterschiede aufweist. Das bedeutet, dass die räumliche Verteilung der nassen Deposition wesentlich inhomogener ist als die entsprechende Verteilung der Konzentrationen. Wegen der hohen jährlichen Regenmengen treten hohe nasse Depositionen vor allem an den Bergstationen auf (siehe auch Kapitel 3.4).

Aus den Tabellen ist ersichtlich, dass die jährlichen Regenmengen zwar von Jahr zu Jahr erheblichen Schwankungen unterliegen, zwischen 1982 und 2000 aber keinen systematischen Trend aufweisen. Das bedeutet, dass die Langzeitrends der Deposition den entsprechenden Trends der Konzentrationen sehr ähnlich sind. Der stärkste Rückgang der nassen Deposition wurde bei den Ionen H^+ und $SO_4^{=}$ beobachtet.

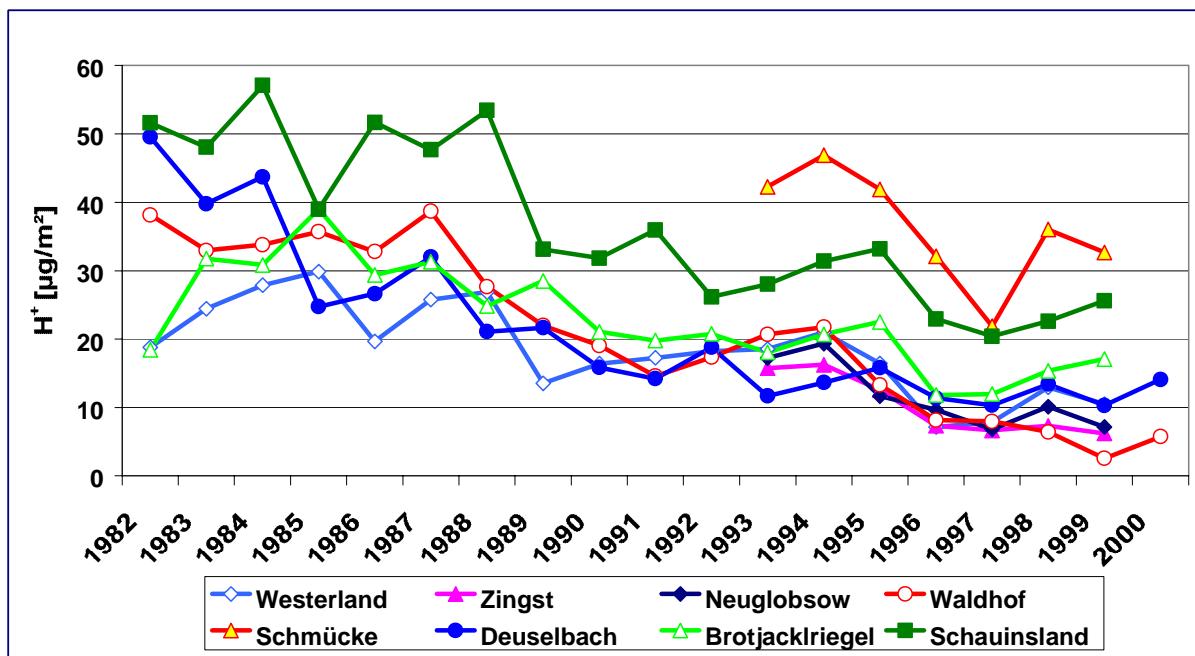


Abbildung 36: Jährliche Depositionen von H^+ an den Messstellen des UBA zwischen 1982 bis 2000.

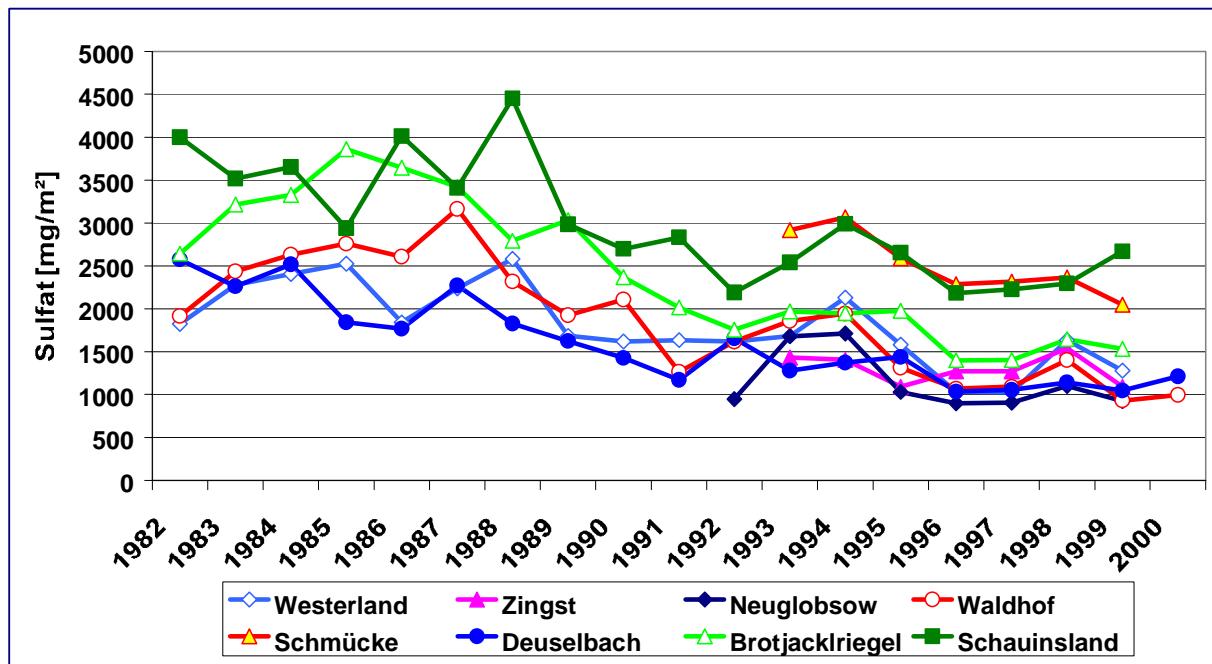


Abbildung 37: Jährliche Depositionen von SO_4^{2-} (seesalzkorrigiert) an den Messstellen des UBA zwischen 1982 bis 2000.

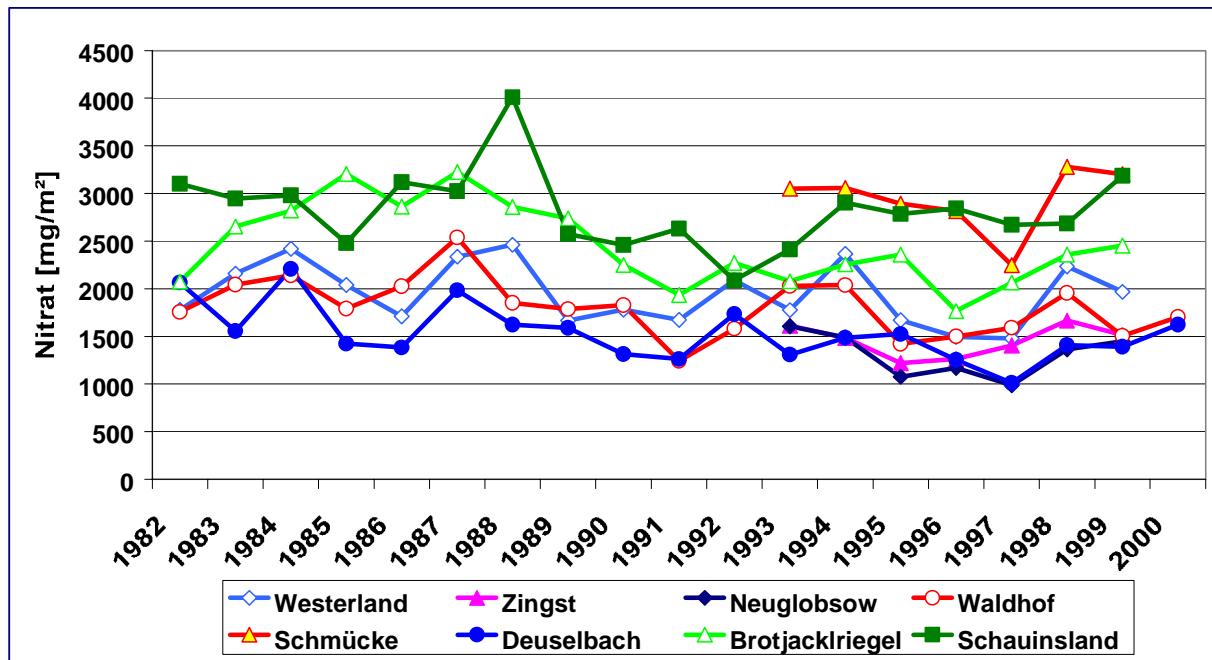


Abbildung 38: Jährliche Depositionen von NO_3^- an den Messstellen des UBA zwischen 1982 bis 2000.

+ + Tabelle 61: Monatliche Depositionen im Niederschlag für 2000, Waldhof und Deuselbach

Zeit- raum	NH_4^+ mg/m^2	Na^+ mg/m^2	K^+ mg/m^2	Ca^{++} mg/m^2	Mg^{++} mg/m^2	$\text{SO}_4^{=}$ mg/m^2	NO_3^- mg/m^2	Cl^- mg/m^2	H^+ mg/m^2	Regen l/m^2
WALDHOF										
Jan.	37.2	63.0	5.9	26.7	6.0	80.8	123.1	124.3	0.23	39.5
Feb.	39.8	69.7	6.7	28.2	9.7	93.7	157.2	129.3	0.42	40.3
Mär.	70.7	54.8	9.1	42.7	14.0	164.0	228.1	105.8	0.55	79.5
Apr.	45.5	4.8	5.9	35.7	4.1	97.4	166.3	10.1	0.13	26.6
Mai	31.3	5.6	5.1	15.7	3.2	50.7	100.0	13.2	0.06	17.5
Jun.	29.3	5.8	10.6	24.8	4.2	74.4	97.5	10.6	0.09	32.4
Jul.	87.0	10.4	9.7	47.5	8.5	179.8	291.8	25.9	1.77	99.3
Aug.	55.9	9.4	9.0	25.2	6.2	110.9	203.2	19.7	1.22	63.3
Sep.	35.9	6.5	2.2	22.8	3.7	72.1	128.3	13.1	0.62	33.5
Okt.	24.6	6.5	4.4	18.2	4.8	53.9	78.5	18.3	0.15	25.5
Nov.	10.9	6.1	1.9	21.4	5.0	38.4	55.2	13.4	0.04	21.3
Dez.	19.8	31.1	2.2	19.8	5.7	47.3	74.3	61.1	0.49	30.4
DEUSELbach										
Jan.	20.6	25.5	3.4	12.5	2.4	57.4	77.0	47.1	0.48	31.5
Feb.	22.6	46.7	2.3	23.1	4.9	102.7	111.9	81.9	0.92	76.9
Mär.	55.4	12.2	4.5	20.8	4.2	120.8	158.6	24.2	1.02	72.1
Apr.	40.7	8.1	3.2	14.5	3.4	76.8	129.8	16.7	0.53	39.4
Mai	65.7	10.2	3.3	29.8	5.4	144.2	211.9	23.1	1.50	80.7
Jun.	30.5	3.8	1.8	11.3	1.7	72.6	92.3	8.0	0.81	43.9
Jul.	70.1	11.0	5.2	19.8	4.2	185.8	235.9	26.9	2.83	158.6
Aug.	39.2	6.4	7.8	26.2	3.8	97.9	111.5	12.3	0.58	44.6
Sep.	61.3	14.4	6.0	25.0	3.8	157.8	210.8	40.8	2.48	136.1
Okt.	22.3	38.1	4.1	13.1	6.2	76.4	85.3	66.5	0.74	76.5
Nov.	27.5	49.4	5.1	23.4	6.6	115.7	121.8	94.3	1.52	119.0
Dez.	18.3	46.3	4.3	14.3	8.2	71.0	75.9	84.3	0.70	54.3

Tabelle 62: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima, und -minima, Jahresmittel der Depositionen im Niederschlag sowie Summen der Niederschlagsmenge in Waldhof für 1982 bis 2000 (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/m ²	Na ⁺ mg/m ²	K ⁺ mg/m ²	Ca ⁺⁺ mg/m ²	Mg ⁺⁺ mg/m ²	SO ₄ ⁼ mg/m ²	NO ₃ ⁻ mg/m ²	Cl ⁻ mg/m ²	H ⁺ mg/m ²	Regen l/m ²
Größte Monatswerte										
82-00	-	-	-	-	-	667	549	451.2	11.68	151.4
84-00	151.9	240.8	26.4	72.8	31.9	667	426	451.2	8.87	151.4
Kleinste Monatswerte										
82-00	-	-	-	-	-	0	0	0.0	0.00	0.8
84-00	47.2	27.2	7.0	25.1	6.2	159	150	56.1	1.61	0.8
Mittlerer Jahresgang 1984-2000										
Jan.	28.6	56.1	5.7	18.6	8.3	120	118	109.8	1.40	48.4
Feb.	29.0	55.6	5.1	17.7	7.9	107	102	106.9	1.11	39.6
Mär.	48.8	30.6	5.6	19.6	6.3	130	143	65.8	1.19	43.1
Apr.	56.8	14.3	6.1	23.8	4.2	142	148	30.6	0.98	33.8
Mai	69.5	11.0	9.6	32.1	5.0	226	191	25.7	2.28	46.8
Jun.	51.0	12.0	7.0	27.0	5.2	186	168	29.5	2.22	53.1
Jul.	69.1	12.4	8.2	32.8	5.3	225	209	28.2	2.50	68.0
Aug.	65.6	17.9	11.3	35.5	6.1	208	188	38.7	1.96	56.6
Sep.	50.4	28.0	7.4	27.9	6.3	190	164	57.2	1.83	49.3
Okt.	34.4	22.2	6.1	22.4	5.4	123	123	45.0	1.21	44.4
Nov.	33.5	33.8	6.2	23.4	7.9	129	125	69.3	1.23	46.7
Dez.	29.9	32.1	5.6	19.9	6.2	124	119	66.8	1.41	50.7
Jahreswerte										
1982	-	-	-	-	-	2000	1755	605.3	38.17	494.1
1983	-	-	-	-	-	2526	2042	692.7	32.96	627.5
1984	616.0	395.2	82.8	288.8	69.1	2733	2142	792.7	33.82	670.5
1985	660.5	378.0	110.2	258.8	57.1	2860	1789	833.3	35.71	545.1
1986	623.8	340.0	95.5	252.7	60.9	2689	2026	712.3	32.77	629.3
1987	826.5	296.8	95.9	385.7	59.6	3237	2537	667.0	38.70	678.0
1988	568.6	280.7	75.2	322.9	65.3	2386	1852	618.6	27.66	562.3
1989	558.1	239.5	74.5	298.4	63.0	1984	1785	529.7	21.97	443.6
1990	630.1	450.8	115.5	351.8	103.7	2220	1828	928.8	19.08	587.6
1991	394.5	250.4	101.7	257.2	62.7	1284	1244	506.6	14.58	454.5
1992	508.7	294.6	84.9	283.2	74.8	1688	1581	617.6	17.35	546.0
1993	607.8	328.2	96.1	334.1	77.8	1938	2029	676.6	20.69	652.7
1994	608.7	494.2	94.4	369.3	91.2	2067	2038	988.0	21.75	706.9
1995	492.7	390.3	64.8	238.0	80.1	1408	1422	802.6	13.31	531.8
1996	471.9	114.4	47.4	183.4	41.3	1098	1500	255.2	8.13	487.8
1997	511.3	253.3	71.3	257.9	77.5	1311	1591	509.6	7.95	584.7
1998	623.5	332.9	90.4	390.8	102.1	1483	1955	641.8	6.43	772.4
1999	442.6	426.5	53.1	312.9	96.9	1038	1506	826.2	2.56	506.0
2000	487.9	273.8	72.7	328.9	75.1	1063	1703	544.8	5.75	509.1

Tabelle 63: Mittlere Jahresgänge, Monatsmaxima, und -minima, Jahresmittel der Depositionen im Niederschlag sowie Summen der Niederschlagsmenge in Deuselbach für 1982 bis 2000 (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/m ²	Na ⁺ mg/m ²	K ⁺ mg/m ²	Ca ⁺⁺ mg/m ²	Mg ⁺⁺ mg/m ²	SO ₄ ⁼ mg/m ²	NO ₃ ⁻ mg/m ²	Cl ⁻ mg/m ²	H ⁺ mg/m ²	Regen l/m ²
Größte Monatswerte										
82-00	-	-	-	-	-	721	645	265.7	13.56	197.7
84-00	155.1	138.1	23.5	56.4	16.9	721	645	265.7	13.56	197.7
Kleinste Monatswerte										
82-00	-	-	-	-	-	6	8	1.2	0.03	3.6
84-00	1.1	0.5	0.1	1.8	0.2	6	8	1.2	0.03	3.6
Mittlerer Jahresgang 1984-2000										
Jan.	15.8	39.7	4.8	13.9	5.6	85	71	77.6	1.08	57.9
Feb.	22.8	31.1	5.1	14.4	4.5	89	86	58.8	1.16	49.7
Mär.	52.6	22.1	5.4	19.9	4.2	134	136	45.4	1.20	55.3
Apr.	48.7	14.3	4.9	20.0	4.0	149	157	32.3	1.69	46.8
Mai	59.9	9.8	7.7	24.2	4.0	194	197	21.5	2.51	59.2
Jun.	49.4	10.3	6.4	26.8	4.0	192	174	23.1	2.39	64.5
Jul.	46.7	10.3	6.5	26.9	3.6	175	153	23.7	1.96	67.9
Aug.	38.8	10.3	6.2	20.2	3.0	117	116	20.1	1.14	51.8
Sep.	38.5	17.2	5.4	25.5	3.9	142	146	35.0	1.85	73.0
Okt.	21.9	22.7	5.3	19.6	4.2	107	97	43.6	1.25	70.3
Nov.	24.0	23.4	3.8	16.2	4.1	96	98	46.3	1.39	58.6
Dez.	16.6	32.8	3.9	14.9	5.1	88	85	65.1	1.18	64.9
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
1999	361.7	193.7	39.7	255.7	59.6	1093	1392	385.9	10.32	733.9
2000	474.2	272.1	51.0	233.6	54.7	1279	1623	526.1	14.11	933.6

2.2.3 Weekly wet-only Messungen

In Tabelle 64 bis Tabelle 69 sind die Jahresmittel der Konzentrationen im Niederschlag für die weekly wet-only Messstellen für 1995 bis 2000 und in Tabelle 70 bis Tabelle 75 sind die jeweiligen Depositionen für die gleichen Zeiträume dargestellt. In Kapitel 3.4 dieses Jahresberichtes wird die Optimierung dieser Standorte beschrieben.

Ein Vergleich der daily bulk Messungen mit den weekly wet-only Messungen für die 8 personell besetzten Messstellen des UBA, an denen zwischen 1994/95 bis 1999 Parallelmessungen durchgeführt wurden, zeigte, dass sowohl die Niederschlagsmengen als auch die Hauptionen wie $\text{SO}_4^{=}$, NO_3^- und NH_4^+ sowie die Leitfähigkeit eine gute Übereinstimmung beim Median und nur eine geringe Streuung zeigen. Für H^+ sind die Messergebnisse bei weekly wet-only niedriger – d.h. die pH-Werte höher. Die Werte weisen auch eine größere Streuung auf. Vergleiche bei Na^+ und Cl^- zeigen eine gute Übereinstimmung aber eine große Streuung, bei Ca^{++} , Mg^{++} und K^+ sind die Abweichungen und die Streuungen z.T. recht erheblich. Insgesamt zeigen die Werte der daily bulk Messungen eine Tendenz zu höheren Ergebnissen. Für diese Berechnung wurden aus den daily bulk Werten gewichtete Wochenmittel berechnet, so dass sie mit den Ergebnissen der weekly wet-only Messungen verglichen werden konnten (*Ref. 13, sowie neuere Auswertungen 1999*)

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

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

Tabelle 64: Jahresmittel der Konzentrationen im Niederschlag für 1995, weekly wet-only Messnetz. XSO_4^- = seesalzkorrigiertes Sulfat

Stat.	Regen [mm]	pH-Wert	Leitf. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	NH_4^+ [mg/l]	Na^+ [mg/l]	K^+ [mg/l]	Ca^{++} [mg/l]	Mg^{++} [mg/l]	$\text{SO}_4=$ [mg/l]	$XSO_4=$ [mg/l]	NO_3^- [mg/l]	Cl^- [mg/l]
BR	1045.7	4.77	18.43	0.93	0.14	0.04	0.17	0.02	2.10	2.07	2.10	0.35
DE	884.7	4.59	19.18	0.54	0.25	0.03	0.15	0.04	1.78	1.72	1.61	0.59
DU												
FA												
HI	1151.0	4.49	28.17	0.81	0.59	0.05	0.16	0.08	2.48	2.33	2.35	1.15
KL												
LM	1010.1	4.43	30.22	1.05	0.33	0.12	0.27	0.07	3.70	3.62	2.41	0.68
MP	518.0	4.49	29.52	1.17	0.26	0.05	0.35	0.05	3.69	3.62	2.51	0.60
NG	497.9	4.48	26.47	0.82	0.37	0.06	0.27	0.05	2.60	2.50	2.44	0.78
RE	587.7	4.50	24.08	0.87	0.13	0.04	0.17	0.03	2.57	2.54	2.21	0.36
SC	1973.7	4.68	15.26	0.49	0.20	0.02	0.09	0.02	1.40	1.35	1.31	0.44
SG	1121.0	4.51	26.06	0.89	0.62	0.05	0.13	0.08	2.40	2.25	2.30	1.22
SH												
SM	1396.4	4.51	23.04	0.74	0.26	0.04	0.15	0.03	2.20	2.14	2.12	0.57
WA	549.8	4.54	27.14	0.94	0.89	0.05	0.19	0.11	2.50	2.28	2.44	1.70
WE	455.7	4.47	67.66	0.63	7.08	0.25	0.35	0.72	3.73	2.03	2.37	12.23
ZG	546.8	4.49	29.75	0.71	1.19	0.06	0.15	0.12	2.44	2.14	2.19	2.04

Tabelle 65: Jahresmittel der Konzentrationen im Niederschlag für 1996, weekly wet-only Messnetz. XSO_4^- = seesalzkorrigiertes Sulfat

Stat.	Regen [mm]	pH-Wert	Leitf. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	NH_4^+ [mg/l]	Na^+ [mg/l]	K^+ [mg/l]	Ca^{++} [mg/l]	Mg^{++} [mg/l]	$\text{SO}_4=$ [mg/l]	$XSO_4=$ [mg/l]	NO_3^- [mg/l]	Cl^- [mg/l]
BR	840.3	4.78	17.21	0.90	0.15	0.04	0.20	0.03	1.92	1.88	2.19	0.29
DE	533.5	4.61	21.81	0.80	0.29	0.04	0.19	0.05	2.09	2.02	2.09	0.59
DU												
FA												
HI	885.5	4.54	25.37	0.92	0.47	0.04	0.12	0.07	2.31	2.19	2.49	0.82
KL												
LM	607.0	4.54	31.66	1.46	0.33	0.08	0.38	0.09	3.98	3.90	3.24	0.57
MP	358.0	4.49	33.58	1.54	0.26	0.12	0.35	0.08	4.01	3.94	3.43	0.54
NG	433.3	4.63	23.80	1.06	0.31	0.05	0.25	0.04	2.31	2.24	2.77	0.61
RE	476.2	4.64	24.14	1.21	0.26	0.10	0.22	0.03	2.87	2.80	2.57	0.50
SC	1474.9	4.73	14.47	0.55	0.17	0.03	0.11	0.02	1.44	1.40	1.48	0.29
SG	814.9	4.61	22.78	0.90	0.40	0.06	0.14	0.05	2.11	2.02	2.41	0.76
SH												
SM	1000.2	4.54	25.62	1.03	0.24	0.05	0.16	0.03	2.41	2.35	2.68	0.47
WA	497.9	4.63	23.38	1.07	0.33	0.05	0.17	0.05	2.26	2.18	2.77	0.68
WE	375.6	4.62	75.19	1.12	7.81	0.29	0.45	0.81	4.30	2.34	3.04	13.69
ZG	431.2	4.57	29.49	0.96	1.13	0.09	0.20	0.13	2.60	2.32	2.64	1.91

Tabelle 66: Jahresmittel der Konzentrationen im Niederschlag für 1997, weekly wet-only Messnetz. XSO_4^- = seesalzkorrigiertes Sulfat

Stat.	Regen [mm]	pH-Wert	Leitf. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	NH_4^+ [mg/l]	Na^+ [mg/l]	K^+ [mg/l]	Ca^{++} [mg/l]	Mg^{++} [mg/l]	SO_4^- [mg/l]	XSO_4^- [mg/l]	NO_3^- [mg/l]	Cl^- [mg/l]
BR	863.6	4.84	15.41	0.90	0.16	0.04	0.23	0.03	1.68	1.64	2.27	0.29
DE	612.7	4.76	16.08	0.68	0.29	0.09	0.19	0.06	1.58	1.50	1.82	0.54
DU												
FA												
HI	928.9	4.54	25.20	1.02	0.48	0.06	0.16	0.08	2.33	2.21	2.71	0.80
KL												
LM	721.2	4.68	22.91	1.17	0.34	0.07	0.24	0.06	2.53	2.44	2.61	0.56
MP	452.8	4.78	22.77	1.41	0.32	0.06	0.36	0.08	2.62	2.54	3.11	0.57
NG	412.9	4.76	18.83	0.86	0.41	0.06	0.27	0.07	1.80	1.69	2.40	0.71
RE	442.3	4.71	17.72	0.94	0.17	0.04	0.26	0.05	1.95	1.90	2.44	0.30
SC	1639.2	4.85	11.88	0.52	0.15	0.03	0.14	0.03	1.17	1.14	1.48	0.27
SG	952.0	4.69	19.83	0.89	0.45	0.06	0.15	0.07	1.82	1.71	2.22	0.75
SH												
SM	898.1	4.73	17.76	0.82	0.22	0.05	0.14	0.04	1.67	1.61	2.26	0.39
WA	569.5	4.72	22.16	1.00	0.56	0.06	0.24	0.08	2.12	1.98	2.48	0.99
WE	488.1	4.63	51.12	0.79	5.31	0.15	0.33	0.53	2.67	1.36	2.44	9.31
ZG	468.9	4.55	26.77	0.90	1.04	0.05	0.24	0.13	2.26	2.00	2.60	1.78

Tabelle 67: Jahresmittel der Konzentrationen im Niederschlag für 1998, weekly wet-only Messnetz. XSO_4^- = seesalzkorrigiertes Sulfat

Stat.	Regen [mm]	pH-Wert	Leitf. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	NH_4^+ [mg/l]	Na^+ [mg/l]	K^+ [mg/l]	Ca^{++} [mg/l]	Mg^{++} [mg/l]	SO_4^- [mg/l]	XSO_4^- [mg/l]	NO_3^- [mg/l]	Cl^- [mg/l]
BR	1028.1	4.64	13.60	0.79	0.19	0.05	0.23	0.03	1.77	1.73	2.20	0.30
DE	764.2	4.51	16.40	0.56	0.33	0.04	0.20	0.06	1.69	1.61	1.77	0.63
DU	980.6	4.59	28.39	0.68	2.16	0.10	0.22	0.25	2.16	1.61	1.95	3.73
FA	27.6	4.83	22.15	0.92	0.70	0.11	0.55	0.11	2.13	1.96	3.31	1.19
HI	1476.0	4.47	21.78	0.78	0.47	0.05	0.16	0.07	2.33	2.21	2.17	0.79
KL	759.3	4.65	16.40	0.75	0.23	0.08	0.33	0.06	2.00	1.94	1.93	0.45
LM	900.7	4.47	21.16	1.00	0.26	0.06	0.22	0.05	2.47	2.40	2.37	0.48
MP	520.2	4.52	20.11	0.87	0.26	0.03	0.29	0.06	2.28	2.22	2.42	0.47
NG	551.3	4.50	21.64	0.88	0.49	0.05	0.21	0.06	2.15	2.03	2.52	0.80
RE	626.3	4.59	17.50	0.80	0.22	0.08	0.19	0.04	1.90	1.84	2.19	0.43
SC	1777.2	4.61	12.62	0.38	0.18	0.04	0.15	0.04	1.30	1.26	1.39	0.32
SG	1317.8	4.46	20.52	0.80	0.40	0.05	0.13	0.07	2.03	1.93	2.34	0.70
SH												
SM	1470.4	4.55	17.81	0.73	0.23	0.05	0.13	0.04	1.72	1.66	2.15	0.38
WA	751.0	4.56	20.74	0.92	0.49	0.04	0.16	0.07	2.02	1.90	2.48	0.83
WE	703.0	4.43	60.56	0.58	6.97	0.20	0.38	0.81	3.35	1.60	2.46	11.89
ZG	695.0	4.50	24.15	0.67	0.95	0.05	0.24	0.13	2.04	1.80	2.24	1.66

Tabelle 68: Jahresmittel der Konzentrationen im Niederschlag für 1999, weekly wet-only Messnetz. XSO_4^- = seesalzkorrigiertes Sulfat

Stat.	Regen [mm]	pH-Wert	Leitf. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	NH_4^+ [mg/l]	Na^+ [mg/l]	K^+ [mg/l]	Ca^{++} [mg/l]	Mg^{++} [mg/l]	SO_4^- [mg/l]	XSO_4^- [mg/l]	NO_3^- [mg/l]	Cl^- [mg/l]
BR	924.1	4.82	16.39	0.81	0.18	0.06	0.24	0.04	1.65	1.60	2.67	0.25
DE	695.3	4.81	15.19	0.59	0.29	0.06	0.24	0.06	1.54	1.47	1.77	0.46
DU	755.0	5.05	35.92	0.93	3.56	0.20	0.35	0.42	2.42	1.53	2.14	6.00
FA	401.5	4.79	19.74	0.94	0.29	0.07	0.20	0.04	1.99	1.92	2.45	0.50
HI	1206.2	4.68	21.69	0.76	0.57	0.10	0.26	0.09	2.06	1.92	2.43	0.92
KL	784.9	4.74	15.50	0.55	0.19	0.06	0.29	0.04	1.55	1.50	1.78	0.35
LM	757.4	4.68	23.50	0.94	0.33	0.14	0.59	0.11	2.88	2.80	2.71	0.53
MP	330.8	4.80	24.45	1.43	0.28	0.10	0.40	0.07	2.86	2.79	3.51	0.47
NG	493.3	4.76	21.98	1.01	0.52	0.09	0.26	0.08	2.00	1.88	2.49	0.87
RE	504.4	4.82	20.57	1.11	0.23	0.13	0.33	0.05	2.35	2.30	2.89	0.35
SC	2096.2	4.85	11.29	0.38	0.14	0.07	0.12	0.02	1.03	1.00	1.28	0.24
SG	1036.0	4.66	21.14	0.77	0.60	0.09	0.16	0.09	1.84	1.69	2.39	1.05
SH	266.9	4.61	20.90	0.81	0.37	0.08	0.21	0.05	2.05	1.95	2.34	0.66
SM	1295.3	4.66	22.18	0.71	0.26	0.06	0.14	0.04	1.68	1.62	2.28	0.40
WA	480.2	4.72	23.74	0.93	0.86	0.07	0.21	0.11	2.04	1.82	2.78	1.50
WE	766.2	4.78	77.21	0.64	10.43	0.46	0.46	1.19	3.72	1.33	2.03	16.71
ZG	611.0	4.67	22.90	0.66	0.85	0.06	0.19	0.11	1.78	1.57	2.22	1.46

Tabelle 69: Jahresmittel der Konzentrationen im Niederschlag für 2000, weekly wet-only Messnetz. XSO_4^- = seesalzkorrigiertes Sulfat

Stat.	Regen [mm]	pH-Wert	Leitf. [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	NH_4^+ [mg/l]	Na^+ [mg/l]	K^+ [mg/l]	Ca^{++} [mg/l]	Mg^{++} [mg/l]	SO_4^- [mg/l]	XSO_4^- [mg/l]	NO_3^- [mg/l]	Cl^- [mg/l]
BR	1158.6	4.99	11.51	0.78	0.15	0.08	0.34	0.04	1.73	1.70	2.11	0.21
DE	929.8	4.81	12.10	0.49	0.27	0.06	0.24	0.05	1.60	1.53	1.54	0.44
DU	638.3	4.83	26.23	1.19	1.96	0.26	0.37	0.28	2.94	2.45	3.16	3.30
FA	457.2	4.71	17.92	0.98	0.30	0.11	0.25	0.05	2.32	2.24	2.64	0.51
HI	1274.0	4.63	18.88	0.80	0.48	0.10	0.25	0.07	2.48	2.36	2.31	0.81
KL	855.7	4.86	12.82	0.63	0.15	0.06	0.37	0.03	1.87	1.84	1.74	0.28
LM	797.3	4.75	17.60	1.06	0.28	0.14	0.37	0.06	2.29	2.22	2.38	0.47
MP	368.6	4.96	16.56	1.23	0.27	0.12	0.40	0.06	2.40	2.33	2.72	0.41
NG	500.6	4.77	16.62	0.86	0.40	0.09	0.35	0.07	2.25	2.15	2.49	0.71
RE	550.4	4.83	14.61	0.90	0.15	0.10	0.29	0.03	2.18	2.14	2.34	0.26
SC	1779.9	4.91	11.53	0.46	0.13	0.05	0.24	0.03	1.37	1.34	1.38	0.21
SG	1094.0	4.73	16.60	0.83	0.47	0.10	0.26	0.08	2.21	2.09	2.18	0.81
SH	436.3	4.68	19.03	1.04	0.41	0.14	0.25	0.07	2.32	2.22	2.65	0.71
SM	1195.4	4.66	16.17	0.75	0.29	0.07	0.21	0.04	2.04	1.96	2.30	0.47
WA	520.0	4.75	19.11	1.00	0.66	0.07	0.32	0.10	2.42	2.25	2.71	1.14
WE	604.3	4.74	60.52	0.79	8.49	0.36	0.56	1.03	4.25	2.17	2.94	14.13
ZG	559.9	4.62	20.53	0.78	0.82	0.11	0.23	0.12	2.29	2.09	2.52	1.44

*Tabelle 70: Jahresmittel der Depositionen im Niederschlag für 1995, weekly wet-only
Messnetz. XSO_4^- = seesalzkorrigiertes Sulfat*

Stat.	Regen [mm]	H^+ [mg/m ²]	NH_4^+ [mg/m ²]	Na^+ [mg/m ²]	K^+ [mg/m ²]	Ca^{++} [mg/m ²]	Mg^{++} [mg/m ²]	SO_4^- [mg/m ²]	XSO_4^- [mg/m ²]	NO_3^- [mg/m ²]	Cl^- [mg/m ²]
BR	1045.7	1.68	967.6	142.4	43.8	179.7	25.3	2195.3	2164.1	2197.3	366.3
DE	884.7	2.58	481.0	220.0	22.4	131.4	31.1	1577.3	1523.4	1424.7	518.8
DU											
FA											
HI	1151.0	3.27	932.4	673.7	57.5	182.3	89.4	2849.3	2683.5	2705.7	1323.2
KL											
LM	1010.1	3.73	1058.2	334.5	123.4	268.1	65.6	3741.0	3659.8	2429.4	688.0
MP	518.0	3.27	607.6	136.6	26.1	182.1	26.4	1909.9	1876.4	1298.7	308.1
NG	497.9	3.34	409.0	185.7	31.8	134.2	24.8	1293.1	1246.8	1212.5	386.1
RE	587.7	3.13	513.5	78.9	21.7	98.8	15.2	1510.0	1492.3	1298.8	212.7
SC	1973.7	2.07	968.7	399.6	46.4	174.2	40.6	2761.5	2662.5	2592.2	868.2
SG	1121.0	3.08	994.3	698.3	55.5	145.6	86.7	2691.5	2518.8	2580.8	1364.8
SH											
SM	1396.4	3.06	1038.6	368.6	53.9	206.3	47.7	3077.5	2989.8	2955.7	789.3
WA	549.8	2.86	515.4	488.8	27.8	105.1	60.2	1374.6	1254.7	1339.5	933.2
WE	455.7	3.36	288.9	3226.2	113.2	158.1	327.2	1701.6	926.5	1080.3	5574.5
ZG	546.8	3.21	389.3	649.5	33.9	83.9	66.6	1334.4	1172.6	1198.6	1117.5

*Tabelle 71: Jahresmittel der Depositionen im Niederschlag für 1996, weekly wet-only
Messnetz. XSO_4^- = seesalzkorrigiertes Sulfat*

Stat.	Regen [mm]	H^+ [mg/m ²]	NH_4^+ [mg/m ²]	Na^+ [mg/m ²]	K^+ [mg/m ²]	Ca^{++} [mg/m ²]	Mg^{++} [mg/m ²]	SO_4^- [mg/m ²]	XSO_4^- [mg/m ²]	NO_3^- [mg/m ²]	Cl^- [mg/m ²]
BR	840.3	1.66	754.6	126.4	36.6	163.9	22.4	1612.2	1582.5	1838.1	246.0
DE	533.5	2.45	425.0	155.0	20.8	102.6	24.0	1116.1	1077.6	1113.6	314.5
DU											
FA											
HI	885.5	2.91	811.7	418.4	37.7	108.7	61.5	2046.3	1941.5	2208.6	724.2
KL											
LM	607.0	2.89	885.3	197.2	48.6	227.5	53.1	2413.2	2364.8	1964.1	342.9
MP	358.0	3.27	550.2	93.0	42.2	125.3	27.0	1435.3	1411.8	1228.1	193.2
NG	433.3	2.37	458.3	132.1	21.5	107.7	18.9	1002.7	971.4	1201.5	266.2
RE	476.2	2.32	574.8	123.5	45.8	106.0	14.0	1364.2	1333.8	1223.8	239.2
SC	1474.9	1.85	811.7	248.1	43.4	167.7	29.1	2121.5	2059.4	2177.0	427.1
SG	814.9	2.48	729.8	327.4	45.0	114.4	41.8	1722.3	1643.0	1962.0	618.8
SH											
SM	1000.2	2.86	1025.3	243.9	53.5	155.7	32.7	2409.9	2354.3	2680.0	465.5
WA	497.9	2.37	532.8	163.6	22.5	82.5	26.1	1124.5	1084.2	1376.5	338.2
WE	375.6	2.42	420.7	2931.7	108.1	168.8	305.7	1614.7	878.7	1142.9	5141.4
ZG	431.2	2.70	413.2	486.2	40.6	86.2	56.9	1120.8	1001.3	1136.4	822.1

Tabelle 72: Jahresmittel der Depositionen im Niederschlag für 1997, weekly wet-only-Messnetz. XSO_4^- = seesalzkorrigiertes Sulfat

Stat.	Regen [mm]	H^+ [mg/m ²]	NH_4^+ [mg/m ²]	Na^+ [mg/m ²]	K^+ [mg/m ²]	Ca^{++} [mg/m ²]	Mg^{++} [mg/m ²]	SO_4^- [mg/m ²]	XSO_4^- [mg/m ²]	NO_3^- [mg/m ²]	Cl^- [mg/m ²]
BR	863.6	1.43	776.7	138.8	35.6	195.9	24.8	1454.1	1419.6	1960.9	245.9
DE	612.7	1.73	418.8	177.3	55.6	117.2	38.3	964.8	918.7	1114.1	328.7
DU											
FA											
HI	928.9	2.88	947.6	443.4	53.1	150.9	69.6	2164.0	2054.0	2515.7	741.8
KL											
LM	721.2	2.09	841.6	248.0	47.4	176.1	45.1	1823.0	1761.0	1882.5	405.5
MP	452.8	1.64	637.2	144.6	24.7	164.2	37.7	1184.9	1148.9	1409.0	255.6
NG	412.9	1.74	353.7	170.4	25.5	113.0	28.6	741.3	699.6	992.8	293.1
RE	442.3	1.97	414.3	74.1	17.9	114.0	23.0	860.8	842.0	1079.0	133.3
SC	1639.2	1.42	853.6	251.3	52.6	234.8	46.3	1924.1	1863.1	2419.7	449.3
SG	952.0	2.06	843.0	424.9	52.2	143.4	66.4	1735.3	1631.0	2112.7	715.7
SH											
SM	898.1	1.88	734.3	199.8	42.3	124.5	34.4	1495.1	1446.4	2028.9	346.9
WA	569.5	1.91	566.9	320.2	35.2	133.7	47.5	1204.6	1125.2	1410.1	562.4
WE	488.1	2.35	384.3	2591.5	72.6	160.1	258.7	1303.2	662.2	1192.9	4542.2
ZG	468.9	2.80	420.6	487.9	22.0	111.9	60.8	1058.7	937.5	1220.8	832.6

Tabelle 73: Jahresmittel der Depositionen im Niederschlag für 1998, weekly wet-only-Messnetz. XSO_4^- = seesalzkorrigiertes Sulfat

Stat.	Regen [mm]	H^+ [mg/m ²]	NH_4^+ [mg/m ²]	Na^+ [mg/m ²]	K^+ [mg/m ²]	Ca^{++} [mg/m ²]	Mg^{++} [mg/m ²]	SO_4^- [mg/m ²]	XSO_4^- [mg/m ²]	NO_3^- [mg/m ²]	Cl^- [mg/m ²]
BR	1028.1	2.29	813.3	191.4	46.7	235.0	35.3	1823.5	1775.6	2258.1	303.1
DE	764.2	3.09	427.6	253.4	31.2	149.3	47.1	1294.4	1233.6	1351.3	483.8
DU	980.6	2.59	667.2	2114.7	101.8	217.9	247.7	2113.7	1582.7	1908.5	3660.8
FA	27.6	1.48	25.4	19.2	2.9	15.3	3.1	58.9	54.1	91.4	32.7
HI	1476.0	3.42	1151.2	686.9	74.4	239.9	107.2	3431.5	3259.4	3199.3	1171.9
KL	759.3	2.23	567.4	173.0	62.9	253.8	44.7	1515.7	1472.2	1468.3	340.2
LM	900.7	3.40	897.3	234.5	54.2	198.5	47.1	2221.4	2164.8	2138.5	435.5
MP	520.2	3.02	450.0	137.2	17.0	148.3	29.9	1188.2	1153.9	1259.0	242.6
NG	551.3	3.18	484.9	268.5	29.9	116.8	34.2	1183.8	1117.9	1388.1	442.5
RE	626.3	2.57	500.1	139.4	47.1	120.7	27.8	1189.8	1153.9	1373.8	266.7
SC	1777.2	2.45	677.1	323.1	75.3	257.2	67.7	2316.0	2239.9	2470.9	575.6
SG	1317.8	3.47	1047.3	523.2	61.2	172.4	85.9	2675.4	2546.1	3081.5	921.8
SH											
SM	1470.4	2.83	1077.9	343.8	65.6	184.7	56.2	2521.9	2437.4	3156.6	556.2
WA	751.0	2.78	693.7	370.5	30.1	123.5	50.4	1517.0	1424.7	1864.1	619.6
WE	703.0	3.75	410.3	4898.6	137.6	265.3	566.0	2352.5	1123.1	1729.1	8356.5
ZG	695.0	3.19	465.0	660.9	37.5	168.0	90.6	1418.2	1253.4	1558.0	1151.0

Tabelle 74: Jahresmittel der Depositionen im Niederschlag für 1999, weekly wet-only-Messnetz. XSO_4^- = seesalzkorrigiertes Sulfat

Stat.	Regen [mm]	H^+ [mg/m ²]	NH_4^+ [mg/m ²]	Na^+ [mg/m ²]	K^+ [mg/m ²]	Ca^{++} [mg/m ²]	Mg^{++} [mg/m ²]	SO_4^- [mg/m ²]	XSO_4^- [mg/m ²]	NO_3^- [mg/m ²]	Cl^- [mg/m ²]
BR	924.1	1.51	744.0	167.8	54.0	219.8	32.1	1520.5	1481.4	2466.5	233.8
DE	695.3	1.56	412.5	201.0	41.0	169.0	39.5	1072.8	1022.3	1228.9	319.2
DU	755.0	0.90	700.9	2683.8	151.0	265.1	318.7	1825.9	1154.4	1616.9	4525.9
FA	401.5	1.61	375.5	114.9	29.1	79.2	17.7	799.4	771.8	984.2	202.5
HI	1206.2	2.09	911.3	685.8	117.1	314.0	104.4	2487.6	2316.5	2930.1	1112.3
KL	784.9	1.84	430.8	147.6	43.6	228.5	32.5	1212.3	1176.6	1393.0	273.8
LM	757.4	2.09	710.6	247.7	104.0	447.4	80.3	2182.7	2121.1	2050.5	402.8
MP	330.8	1.58	473.1	92.5	32.6	133.0	21.6	945.1	922.8	1161.9	155.0
NG	493.3	1.74	497.9	256.5	44.4	128.1	38.8	987.4	925.1	1228.9	430.5
RE	504.4	1.51	560.5	113.4	66.3	166.1	26.1	1187.0	1157.9	1457.6	178.7
SC	2096.2	1.42	795.9	291.2	155.8	250.1	49.6	2160.7	2086.6	2674.8	510.7
SG	1036.0	2.17	795.3	619.1	94.0	162.4	88.3	1906.5	1753.7	2476.1	1091.9
SH	266.9	2.44	215.0	97.7	21.1	54.6	13.0	545.8	521.5	625.1	175.9
SM	1295.3	2.19	914.5	337.0	75.1	180.5	46.6	2176.7	2095.6	2946.2	518.5
WA	480.2	1.89	445.1	413.3	33.5	100.5	54.8	977.3	876.0	1336.6	719.0
WE	766.2	1.66	488.4	7993.3	350.8	354.0	913.9	2853.7	1020.3	1555.9	12804.1
ZG	611.0	2.14	402.1	519.5	39.3	115.3	69.0	1088.0	957.9	1356.9	893.6

Tabelle 75: Jahresmittel der Depositionen im Niederschlag für 2000, weekly wet-only-Messnetz. XSO_4^- = seesalzkorrigiertes Sulfat

Stat.	Regen [mm]	H^+ [mg/m ²]	NH_4^+ [mg/m ²]	Na^+ [mg/m ²]	K^+ [mg/m ²]	Ca^{++} [mg/m ²]	Mg^{++} [mg/m ²]	SO_4^- [mg/m ²]	XSO_4^- [mg/m ²]	NO_3^- [mg/m ²]	Cl^- [mg/m ²]
BR	1158.6	1.03	901.9	173.5	91.7	393.5	40.3	2008.2	1966.0	2441.5	247.9
DE	929.8	1.56	453.5	247.4	55.7	219.3	45.0	1486.4	1422.0	1432.8	409.7
DU	638.3	1.50	756.8	1247.8	162.7	235.5	177.3	1876.3	1561.5	2018.6	2109.1
FA	457.2	1.94	448.1	137.8	52.3	114.0	24.1	1059.1	1025.1	1205.5	233.4
HI	1274.0	2.37	1021.7	614.9	128.9	313.8	94.5	3153.8	3001.4	2941.2	1035.0
KL	855.7	1.37	537.0	126.5	52.8	313.2	28.1	1600.8	1569.9	1491.2	236.6
LM	797.3	1.77	844.4	222.0	114.7	290.8	50.9	1827.2	1771.8	1894.2	371.8
MP	368.6	1.10	453.2	98.4	43.2	148.7	22.0	885.2	860.4	1001.4	152.7
NG	500.6	1.68	428.1	201.7	42.5	172.5	33.5	1126.5	1075.1	1246.2	354.3
RE	550.4	1.48	495.1	81.8	52.1	160.0	18.1	1200.2	1178.1	1290.3	144.9
SC	1779.9	1.23	809.0	232.6	79.7	427.9	49.5	2439.7	2377.0	2462.4	375.9
SG	1094.0	1.85	902.8	511.4	105.6	278.7	84.2	2413.0	2284.1	2387.4	890.1
SH	436.3	2.10	451.7	178.4	62.7	108.5	29.1	1013.6	968.2	1155.3	308.7
SM	1195.4	2.21	892.6	350.1	88.7	245.9	46.8	2434.4	2346.8	2743.0	564.5
WA	520.0	1.77	518.5	340.7	36.9	167.4	54.0	1257.4	1170.3	1411.4	590.5
WE	604.3	1.83	478.4	5128.7	215.8	339.1	621.3	2565.2	1292.3	1778.6	8538.1
ZG	559.9	2.42	436.0	458.8	63.1	131.3	67.3	1282.7	1169.3	1408.3	805.4

2.3 Literatur zu Kapitel 2

- (1) UBA (1998)
Emissionen nach Emittentengruppen in der ehemaligen DDR/den neuen Bundesländern 1970 bis 1995, Strogies, Umweltbundesamt II 6.4, Februar 1998
- (1) UBA (2000)
Emissionsdaten für Deutschland 1990 bis 1999, Strogies, Umweltbundesamt II 6.4, Dez. 2000
- (3) Abraham, J. et al, (2000)
Common Report on Air Quality in the Black Triangle Region 1999, Jelenia Gora, Polen, 2000, pp3 43-45
- (4) Beilke S. und M. Wallasch (2000)
Die Ozonbelastung in Deutschland nach 1990 und Prognose der zukünftigen Entwicklung. Immissionsschutz 4, 5. Jahrgang. Dezember 2000, S. 149-155.
- (5) UBA Jahresbericht 1999, Berlin 2000
- (6) Lutz, M. (2000)
Europäische Minderungsstrategie und Ozon-Tochterrichtlinie. Tagungsband: Symposium Troposphärisches Ozon, Braunschweig, 8.-10. Februar 2000, Schriftenreihe des KRD im VDI und DIN, Band 32, S. 281-298
- (7) EU (2000)
EU-ENV/00/86, Brüssel
- (8) UBA (1999)
Staub- und Feinstaubemissionen in Deutschland, Strogies, Umweltbundesamt II 6.4
- (9) Fricke, W. and S. Beilke (1993)
Changing concentrations and deposition of sulfur and nitrogen compounds in Central Europe between 1980 and 1992. In: Proceedings Joint Workshop CEC/BIATEX of EUROTRAC, Aveiro, Portugal, May 4-7 1993, pp. 9-30. CEC Air Pollution Research Report 47, Editors: J. Slanina, G. Angeletti and S. Beilke
- (10) Müller, J. (1986)
Invariant properties of atmospheric aerosol. J. Aerosol Science, Vol. 17, No. 3, pp. 277-282
- (11) Jahresbericht 1998 aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes, Langen, Oktober 1999
- (12) Fricke et al. (1997)
Ergebnisse täglicher Niederschlagsanalysen in Deutschland von 1982 bis 1995, UBA-Texte, Berlin, 1997
- (13) Wallasch, M., K. Uhse, E. Bieber and D. Kallweit (1997)
Precipitation analysis at German EMEP stations: Comparison between bulk and wet-only sampling. In: Proceddings EMEP-WMO Workshop on data analysis, validation and reporting, Usti nad Labem, Czech Republic, April 27-30, 1997, pp. 89-93. EMEP/CCC-Report 6/97, Editor: J. Schaug
- (14) Uhse, K. (1997)
Influence of Periods without Rainfall on the Concentration Levels of Ions in Precipitation. In: Proceddings EMEP-WMO Workshop on data analysis, validation and reporting, Usti nad Labem, Czech Republic, April 27-30, 1997, pp. 89-93. EMEP/CCC-Report 6/97, Editor: J. Schaug

3. SPEZIELLE UMWELTPROBLEME

3.1 Bodennahes Ozon auf Sylt

S. Beilke; C. Stick***; K. Uhse*; M. Wallasch*; A. Adolphsen** und E. Hundhausen*****

* Umweltbundesamt, Außenstelle Langen

** Umweltbundesamt, Messstelle Westerland

*** Institut für Pathophysiologie und Medizinische Klimatologie der Christian-Albrechts-Universität Kiel

**** Forschungsstation Medizinische Klimatologie Westerland e. V.

3.1.1 Einleitung

Ozon spielt in der Erdatmosphäre eine Doppelrolle. In den oberen Luftsichten, der Stratosphäre (10 bis 50 km Höhe), befinden sich etwa 90 % dieses Gases. Dort hat Ozon die lebenswichtige Funktion eines Filters gegen den schädlichen ultravioletten Anteil (UV-B und UV-C) der Sonnenstrahlung. Das hier behandelte bodennahe Ozon befindet sich dagegen in den unteren Luftsichten der Atmosphäre, wo es bei höheren Konzentrationen eine Reihe von schädlichen Eigenschaften entfalten kann.

In zwei im Rahmen eines Kooperationsprojektes zwischen dem Institut für Medizinische Klimatologie der Christian-Albrechts-Universität Kiel, der Forschungsstation für Medizinische Klimatologie Westerland und dem Umweltbundesamt durchgeführten Studien (*Ref. 8, 9*) wurde die lufthygienische Situation auf Sylt im Hinblick auf Schwefeldioxid (SO_2), Stickstoffdioxid (NO_2) sowie Ozon (O_3) untersucht. Dabei hatte sich gezeigt, dass die Konzentrationen der Verbrennungsindikatoren SO_2 und NO_2 insbesondere bei Seewind, aber auch bei Landwind, wesentlich geringere Werte als im Binnenland aufwiesen. Ein völlig anderes Bild ergab sich dagegen beim Ozon. Hier lagen die mittleren Konzentrationen auf Sylt höher als an vielen Stationen des Binnenlandes. Gerade bei Seewind, also unter solchen Bedingungen, bei denen SO_2 und NO_2 die geringsten Konzentrationen aufweisen, waren die Ozon-Konzentrationen konstant erhöht. Wegen der erheblichen Unterschiede werden die Besonderheiten der Ozonkonzentrationen deshalb ausführlich in einer gesonderten Arbeit veröffentlicht (*Ref. 10*), deren Ergebnisse hier zusammen mit neueren Erkenntnissen präsentiert werden.

Die heutigen sommerlichen Ozonwerte in Deutschland liegen in einem Bereich, in dem bei Menschen, Tieren, Pflanzen und Materialien schädigende Wirkungen auftreten können (*Ref. 7, 11*). Um einen ausreichenden Schutz vor den negativen Wirkungen des bodennahen Ozons zu gewährleisten, hat die EU-Kommission im Jahre 2000 folgende, auf den neuesten Erkenntnissen der Wirkungsforschung basierende Schwellenwerte für die Beurteilung der Luftqualität in Bezug auf die Ozonbelastung vorgeschlagen (*Ref. 2, 4*):

Tabelle 76: Ozon-Schwellenwerte zum Schutz von menschlicher Gesundheit und Vegetation

Schutz der menschlichen Gesundheit:	Langfristziel:	120 µg/m ³ (8-h-Mittel)
	Informationsschwelle:	180 µg/m ³ (1-h-Mittel)
	Alarmschwelle:	240 µg/m ³ (1-h-Mittel)
Schutz der Vegetation:	Langfristziel:	6000 µg/m ³ *h (AOT40, von Mai bis Juli)

Im Folgenden soll die Ozonbelastung auf Sylt während des letzten Jahrzehnts dargelegt und mit der Situation im Binnenland verglichen werden. Von besonderem Interesse ist dabei, ab wann die in der EU-Richtlinie von 2000 definierten Ozon-Schwellenwerte (Tabelle 76) voraussichtlich eingehalten werden können. Die hier für Sylt präsentierten Ozonbelastungen wurden an der UBA-Station Westerland gemessen, deren Ergebnisse als repräsentativ für die Verhältnisse auf dieser Insel angesehen werden können (Ref. 8).

3.1.2 Die Ozonbelastung auf Sylt

Um die Besonderheiten der Ozonbelastung auf Sylt herauszustellen, ist es von Vorteil, die Ozonkonzentrationen in Abhängigkeit von der Wind- und Transportrichtung darzustellen.

Die Windrichtungsabhängigkeit aller auf Sylt zwischen 1993 und 2000 gemessenen mittleren täglichen Ozonkonzentrationen ist in Abbildung 39 in Form eines Polardiagramms dargestellt: Die UBA-Messstelle Westerland befindet sich im Zentrum der konzentrischen Kreise, die Windrichtungen sind in Grad auf dem Umfang, die Konzentrationen sind auf den Radien aufgetragen.

Deutlich sind einige Besonderheiten zu erkennen: Während bei Landwind vom europäischen Kontinent alle Konzentrationen von nahe Null bis zu maximalen Werten durchgehend vertreten sind, fällt beim Seewindsektor eine weiße Fläche auf, in welcher zwischen Null und etwa 50 µg/m³ so gut wie keine Werte beobachtet werden.

Die Besonderheiten beim Ozon auf Sylt werden noch deutlicher in Abbildung 40. In dieser Abbildung sind mittlere monatliche Ozon-Tagesgänge für die Windrichtungen aus zwei entgegengesetzten Sektoren, nämlich die Windrichtungen aus dem Sektor Nordwest (Seewind, Antransport von Ozon über den Atlantik und die Nordsee nach Sylt) zum einen und die Richtungen aus dem Sektor Südost (Landwind, Antransport von Ozon vom europäischen Kontinent) zum anderen, dargestellt. Während die Ozonkonzentrationen bei Seewind nur geringe Schwankungen auf einem vergleichsweise hohem Niveau (60 bis 90 µg/m³) zeigen, sind die Änderungen bei Landwind sowohl im Tages-, als auch im Jahresverlauf (20 bis 100 µg/m³) stärker. Das Verhalten der Konzentrationen bei Landwind ähnelt dem Muster, welches auch im europäischen Binnenland beobachtet wird (Ref. 8).

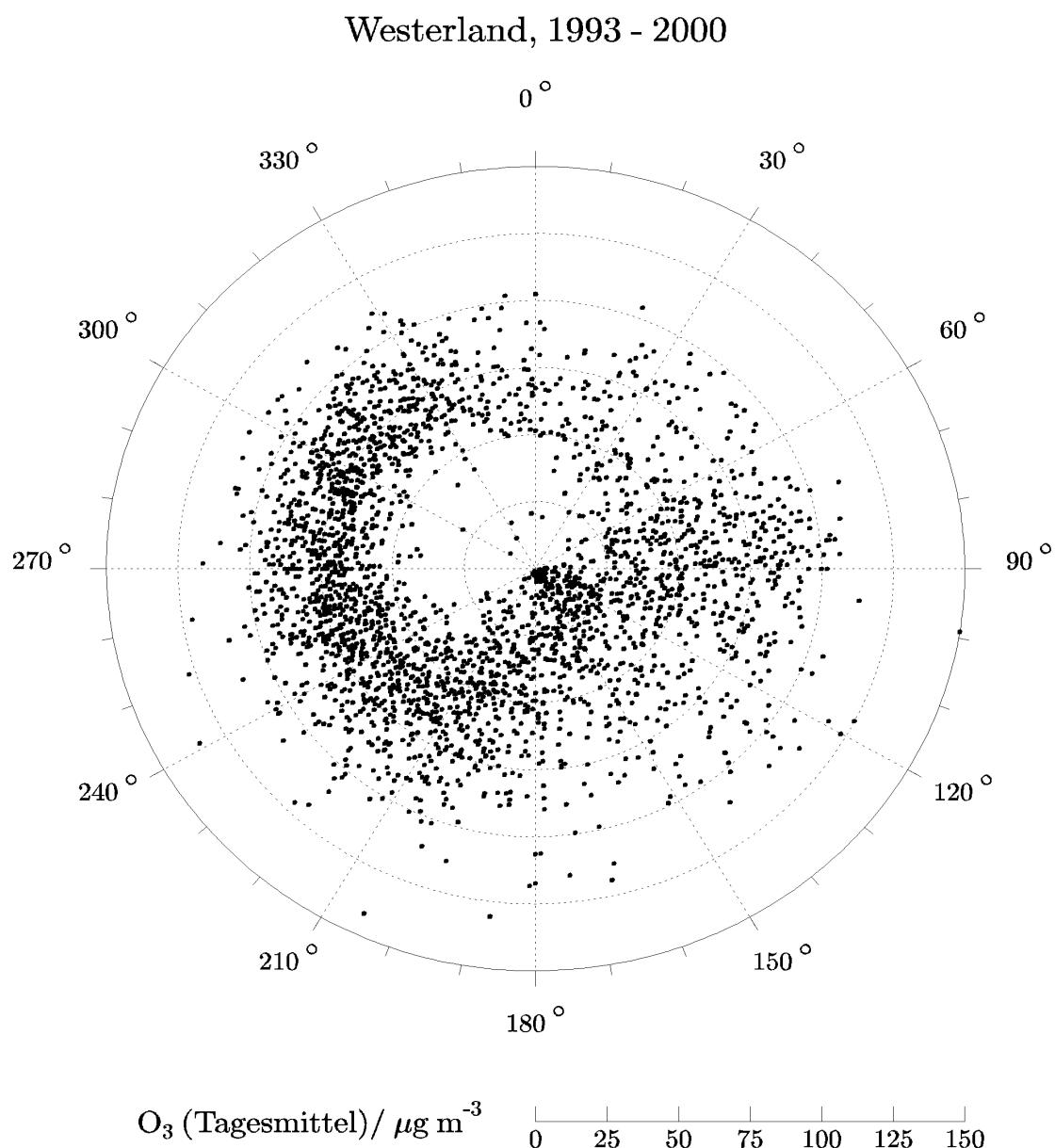


Abbildung 39: An der Messstelle Westerland gemessene Ozon-Tagesmittel zwischen 1993 und 2000 in Abhängigkeit von der Windrichtung.

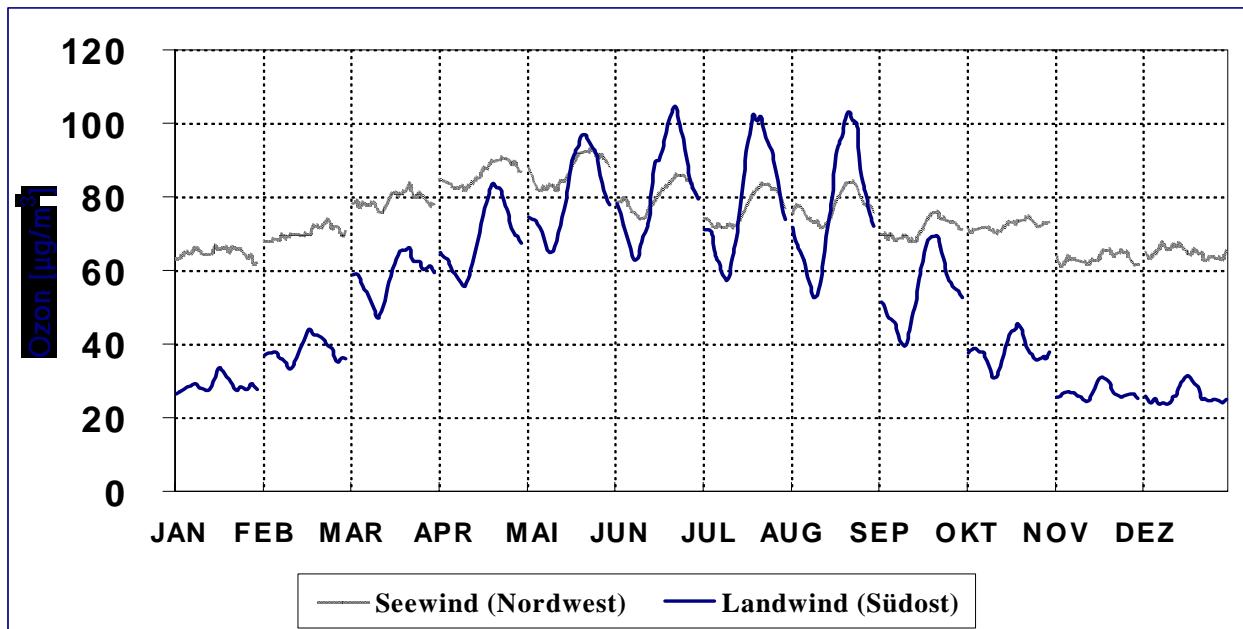


Abbildung 40: Mittlere monatliche Tagesgänge von Ozon in Westerland für 1992 bis 2000 für Land- und Seewind.

Die in Abbildung 39 und Abbildung 40 gezeigten Zusammenhänge zwischen Ozonwerten und lokaler Windrichtung an der Messstelle Westerland erlauben streng genommen keine Aussage über die weiträumige Herkunft der Luftmassen, weil der Luftmassentransport in der Regel auf gekrümmten Bahnen erfolgt. Um Aussagen über die Herkunft der Ozonbelastung auf Sylt machen zu können, wurden anhand sogenannter Rückwärtstrajektorien die Zugbahnen der Luftmassen über einen Zeitraum von zwei Tagen vor Eintreffen auf Sylt zurückverfolgt (Ref. 6, 10). In Abbildung 41 und Abbildung 42 sind tägliche Rückwärtstrajektorien für Westerland für Tage zwischen 1993 und 1997 mit Unterschreitungen der Ozonstundenmittel von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Abbildung 41) sowie Überschreitungen von Ozonstundenmittel von $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Abbildung 42) dargestellt. Diese Trajektorienanalyse bestätigt weitgehend die in Abbildung 39 und Abbildung 40 aufgrund der lokalen Windrichtungen nur vermuteten Zusammenhänge zwischen Ozonbelastung und deren Herkunft. Danach zeigt sich, dass auf Sylt ungewöhnlich hohe (Stundenmittel über $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$) als auch sehr geringe Ozonkonzentrationen (1-h-Mittel unter $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in Luftmassen gemessen wurden, welche zuvor dichtbesiedelte Gebiete des europäischen Festlandes oder der britischen Inseln überquert haben. Für die in Abbildung 42 über der Nordsee abbrechende Trajektorie zeigt eine über 5 Tage zurückreichende Analyse, dass die Luftmassen ebenfalls den europäischen Kontinent überquert hatten. Andererseits treten in maritimen Luftmassen, die keinen Kontakt zum Land hatten (Abbildung 43), gehäuft Ozonwerte zwischen 70 und $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf.

Einen Überblick über die maximalen und mittleren Ozonkonzentrationen auf Sylt im Vergleich zum Binnenland gibt Abbildung 44, in der die jährlichen Ozonmaxima (1-Stundenmittel) zusammen mit den Jahresmittelwerten zwischen 1992 und 2000 dargestellt sind. Während bei den Ozonmaxima auf Sylt erheblich niedrigere Konzentrationen als an einigen Stationen im Binnenland beobachtet werden, liegen die Jahresmittelwerte höher als die Mittelwerte aller Ozonstationen im Binnenland.

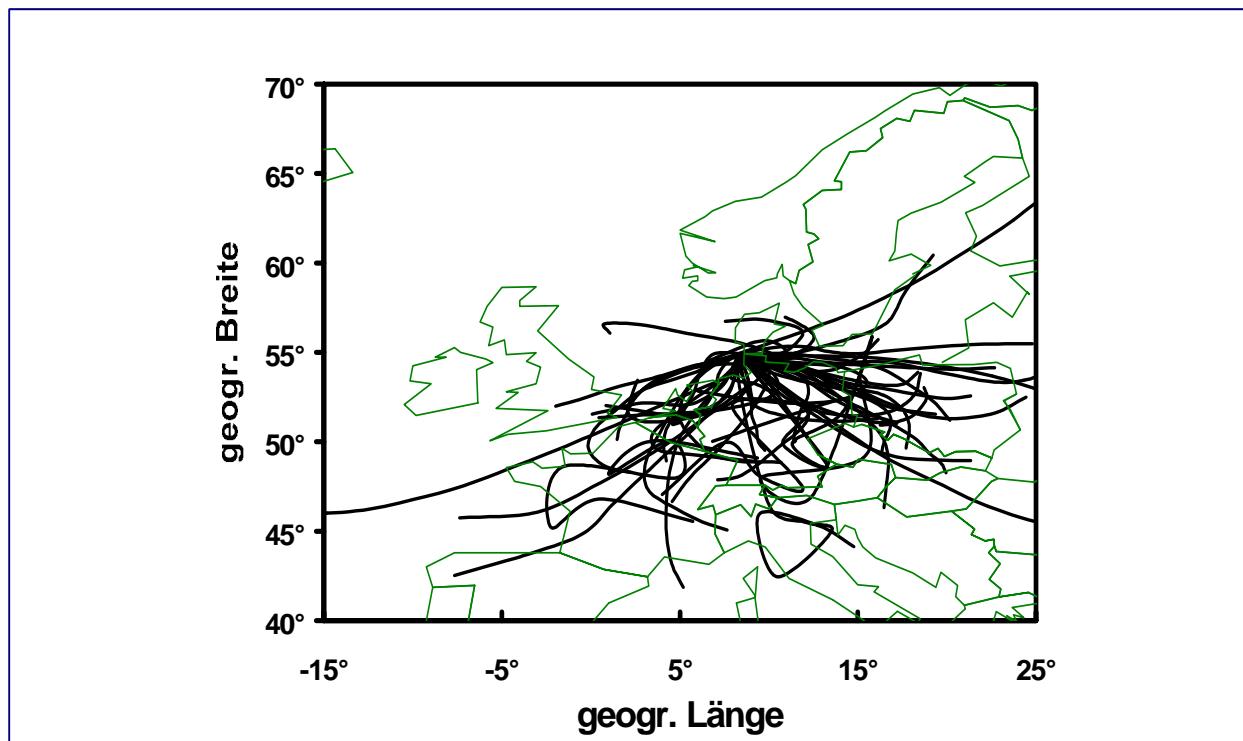


Abbildung 41: Rückwärtstrajektorien über 2 Tage nach Westerland für Tage mit Ozon-1-Stundenmitteln unter $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zwischen 1993 und 1997

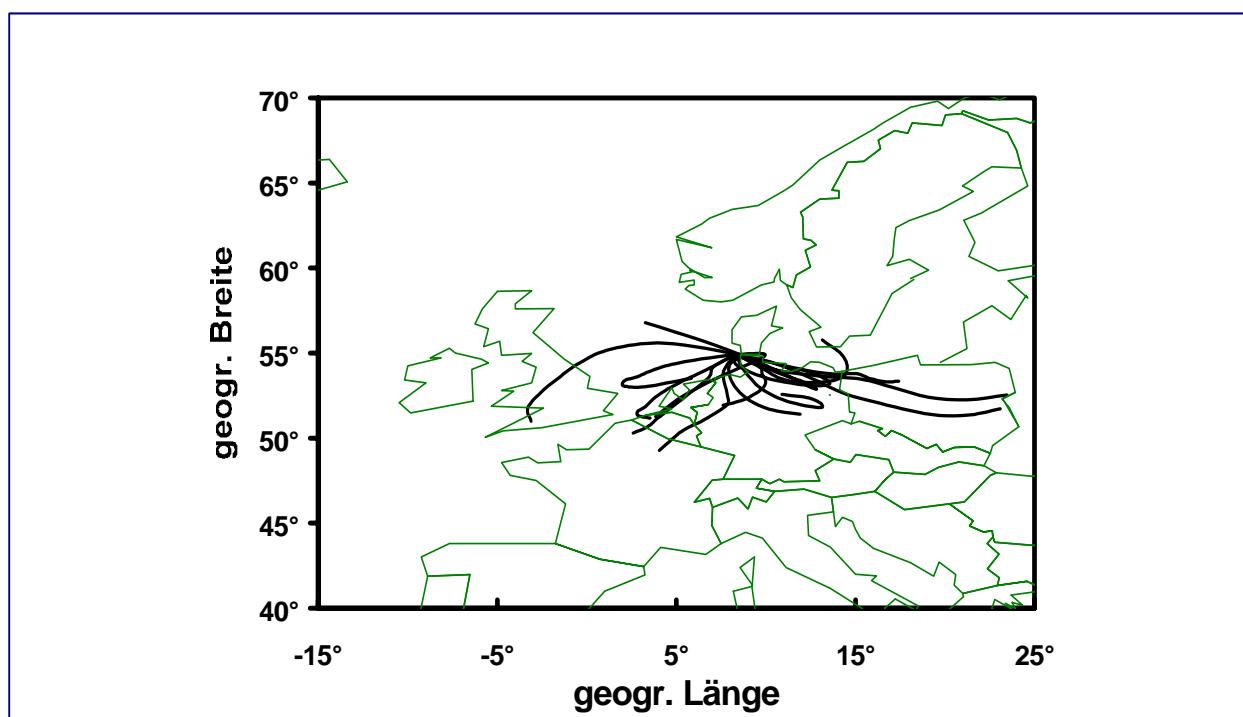


Abbildung 42 Rückwärtstrajektorien über 2 Tage nach Westerland für Tage mit Ozon-1-Stundenmitteln über $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zwischen 1993 und 1997. Für die über der Nordsee abbrechende Trajektorie zeigt eine über 5 Tage zurückreichende Analyse, dass die Luftmassen ebenfalls den europäischen Kontinent überquert hatten.

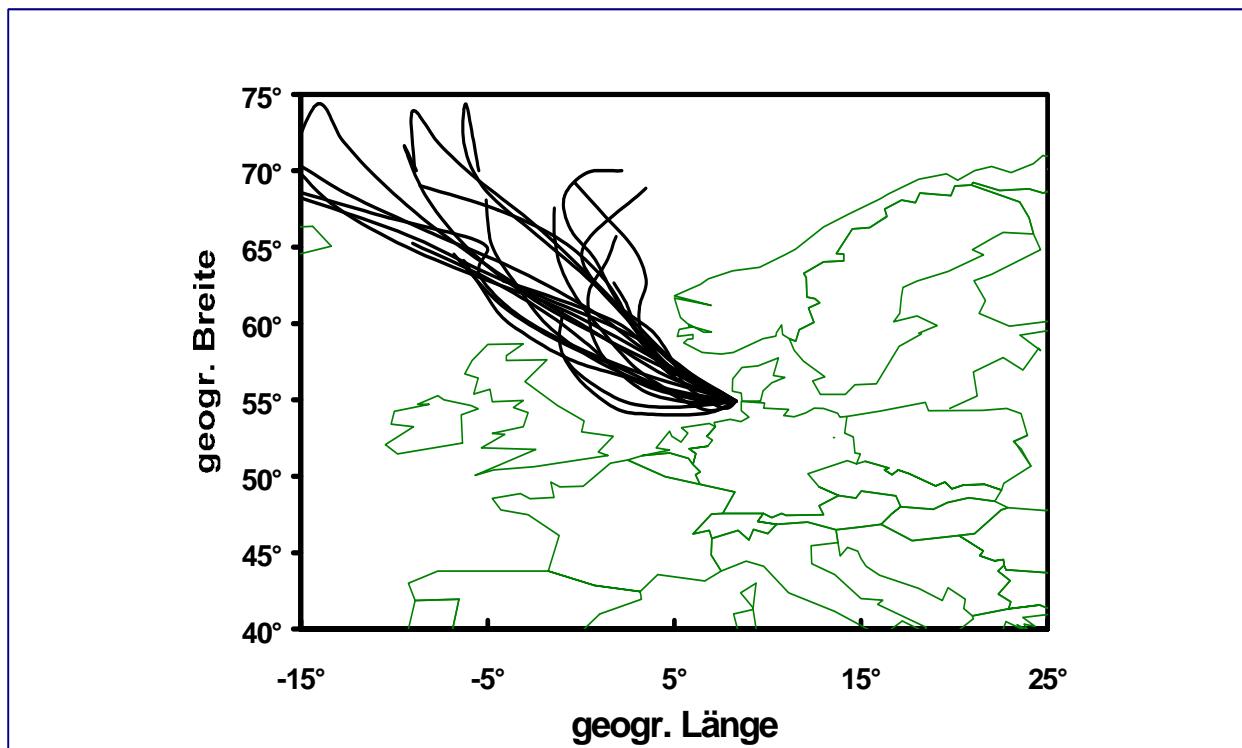


Abbildung 43 Rückwärtstrajektorien über 2 Tage nach Westerland ohne vorherige Landberührung für 1995. Diese Luftmassen führen zu Ozon-1-Stundenmitteln zwischen 70 und 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

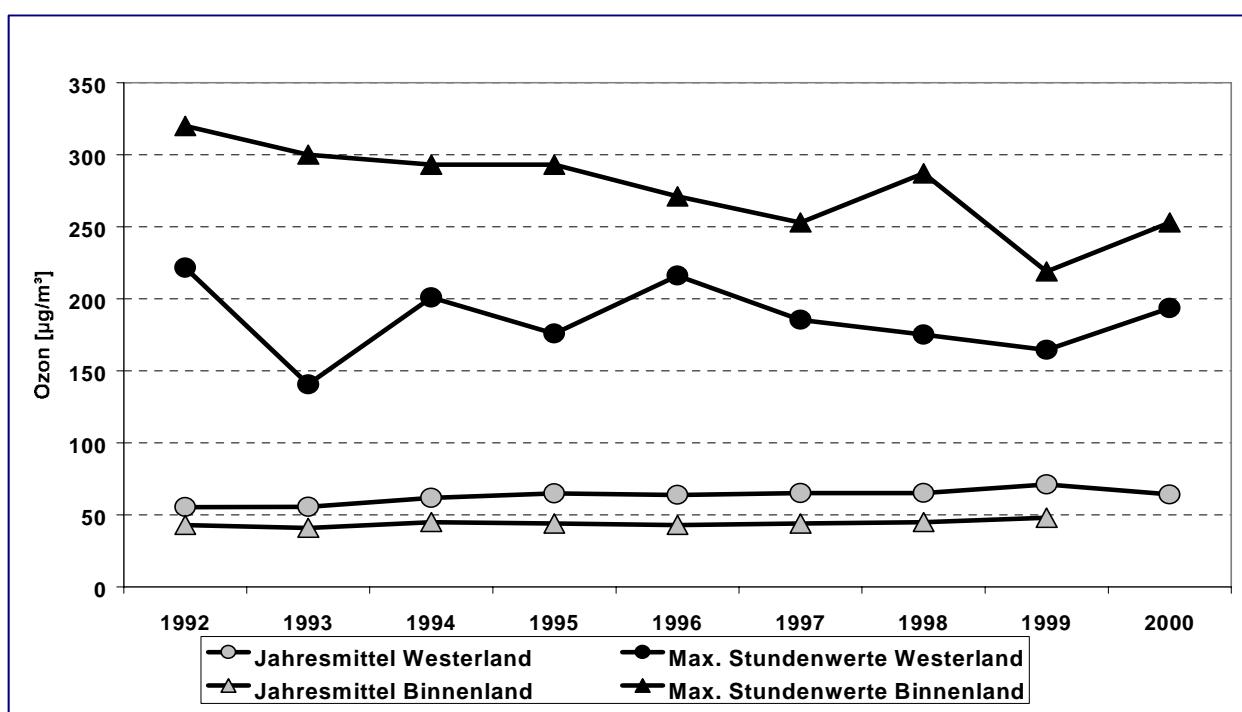


Abbildung 44: Maximale jährliche 1-Stundenmittel und Jahresmittelwerte von Ozon von 1992 bis 2000 in Westerland und im Binnenland. Die Jahresmittelwerte im Binnenland sind Mittelwerte aller deutschen Stationen.

Die in Abbildung 39 bis Abbildung 44 gezeigten Ergebnisse lassen sich wie folgt interpretieren:

Ozon ist ein sekundärer Schadstoff, der in Bodennähe über komplizierte photochemische Reaktionen aus Stickoxiden (NO_x) und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) erst innerhalb der Atmosphäre gebildet wird. Bei Seewind wird der Ozongehalt auf Sylt von der nordhemisphärischen Hintergrundkonzentration (engl. NHMLB, Northern Hemisphere Mid-Latitude Background) geprägt. Der nordhemisphärische Hintergrund setzt sich aus einem natürlichen und einem anthropogenen Anteil zusammen. Von den etwa 70 bis 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, die im Frühling und Sommer bei Seewind beobachtet werden, entfallen etwa 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf einen Beitrag aus der Stratosphäre und etwa 50 bis 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ auf photochemisch gebildetes troposphärisches Ozon (Ref. 1). Das photochemische Ozon wird aus den in den Industrieländern Amerikas, Asiens und Europas überwiegend anthropogen emittierten Ozonvorläufern NO_x und VOC gebildet. Eine Minderung der Ozonbelastung auf Sylt bei Seewind erfordert demnach vor allem Emissionsminderungen in den Industrieländern auf den gemäßigten Breiten der Nordhalbkugel (Ref. 5), wobei Reduktionen in Deutschland nur einen geringen Einfluss auf das nordhemisphärische Hintergrundozon haben.

Im Gegensatz dazu wirken sich im europäischen Binnenland auch die lokalen bis regionalen Emissionen der Ozonvorläufer stark auf die Ozon-Konzentrationsverteilung aus. Durch Ozon bildende- und abbauende chemische Reaktionen dieser Vorläufer können die Ozonkonzentrationen gegenüber dem Ozonhintergrund sowohl erhöht als auch erniedrigt werden. Diese Ozon aufbauenden und abbauenden Prozesse, die im Binnenland lokal bis regional wirksam sind, spielen auf Sylt selbst nur eine untergeordnete Rolle. Die auf dieser Insel gemessenen Ozonkonzentrationen sind im Wesentlichen auf den Ferntransport entweder vom europäischen Binnenland oder aus Richtung Atlantik und Nordsee zurückzuführen. Dagegen haben die geringen lokalen Vorläufer-Emissionen (z.B. durch den Autoverkehr) so gut wie keinen Einfluss auf die auf Sylt gemessenen Ozonkonzentrationen.

3.1.3 Überschreitung von Ozon-Schwellenwerten auf Sylt

3.1.3.1 Schutz der menschlichen Gesundheit

In Tabelle 76 ist die Anzahl der Stunden pro Jahr mit Überschreitungen der EU-Schwellenwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit von 240 bzw. 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-h-Mittel) auf Sylt für den Zeitraum von 1990 bis 2000 aufgelistet. Ebenfalls enthalten ist die Zahl der Tage mit Überschreitungen von 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8-h-Mittel).

Man erkennt deutlich, dass Ozon-Spitzenkonzentrationen auf Sylt - im Gegensatz zum Binnenland – so gut wie nicht vorkommen. So kamen beispielsweise während des letzten Jahrzehnts keine Überschreitungen des EU-Alarmwertes von 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vor, in 5 von 11 Jahren auch keine Überschreitungen des EU-Informationswertes von 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In den übrigen Jahren lag die Zahl der Überschreitungen nur zwischen 2 und 8 Stunden pro Jahr. Die Zahl der Tage mit Überschreitungen von 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (gleitende 8-Stunden-Mittel) lag mit durchschnittlich 10 Tagen pro Jahr zwischen 1990 und 2000 ebenfalls deutlich unter der

durchschnittlichen Zahl von Überschreitungen von etwa 25 Tagen pro Jahr im Mittel über alle Messstellen im UBA-Messnetz im Binnenland.

Tabelle 77: Anzahl der Stunden pro Jahr mit Überschreitungen der EU-Schwellenwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1-h-Mittel) auf Sylt. Ebenfalls angegeben ist die Zahl der Tage mit Überschreitungen von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (8-h-Mittel)

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anzahl	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
240	Std.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	Std.	2	0	7	0	4	0	8	2	0	0	5
120	Tag	6	1	9	4	17	12	14	18	9	17	7

3.1.3.2 Schutz der Vegetation

Als Maß für die Schädigung von Pflanzen werden oft sogenannte AOT40-Werte angegeben (AOT40: Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb). Zur Bestimmung dieses Wertes werden alle Überschreitungen eines Stundenmittels von 40 ppb (entspricht $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) während der Hauptwachstumsphase summiert. Bezuglich des EU-Langfristziels von $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ (entspricht $3000 \text{ ppb} \cdot \text{h}$, AOT40, Ref. 2, 4) für den Schutz der Vegetation ist festzustellen, dass dieser Wert in Deutschland großräumig und zum Teil um ein Mehrfaches überschritten wird.

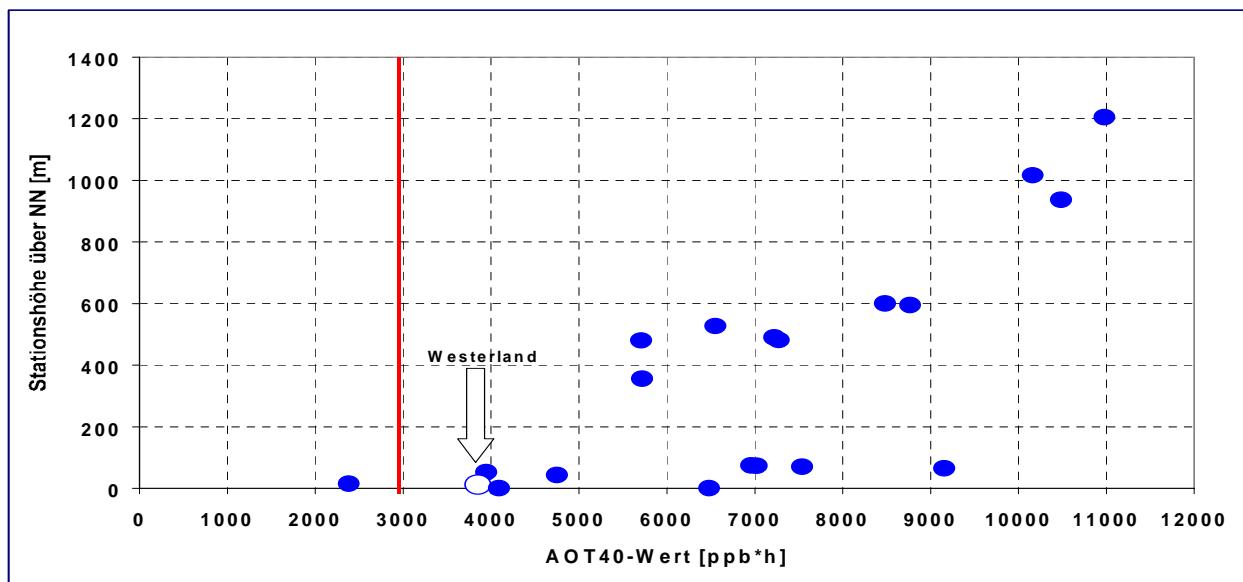


Abbildung 45: AOT40-Werte für den Schutz der Vegetation für das Jahr 2000 an den Ozon-Messstellen im Messnetz des Umweltbundesamtes.

Abbildung 45 zeigt beispielhaft die AOT40-Werte für die Ozonstationen im Messnetz des Umweltbundesamtes für das Jahr 2000. Man erkennt eine deutliche Zunahme der AOT40-Werte mit zunehmender Stationshöhe sowie eine z.T. erhebliche Überschreitung des EU-Langfristzielwertes von $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ ($3000 \text{ ppb} \cdot \text{h}$) auch an der Station Westerland.

Abbildung 46 zeigt den jährlichen Verlauf der AOT40-Werte auf Sylt zwischen 1992 und 2000 sowie die windrichtungsabhängigen Beiträge zu jedem einzelnen AOT40-Jahreswert. Bemerkenswert ist der hohe Beitrag bei Seewind (N-W) mit durchschnittlich 40% an den gesamten AOT40-Werten. Bezogen auf den EU-Langfristzielwert von $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ ($3000 \text{ ppb} \cdot \text{h}$) beträgt der über den Zeitraum von 1992 bis 2000 gemittelte Beitrag aus dem Seewindsektor im Mittel sogar 50%.

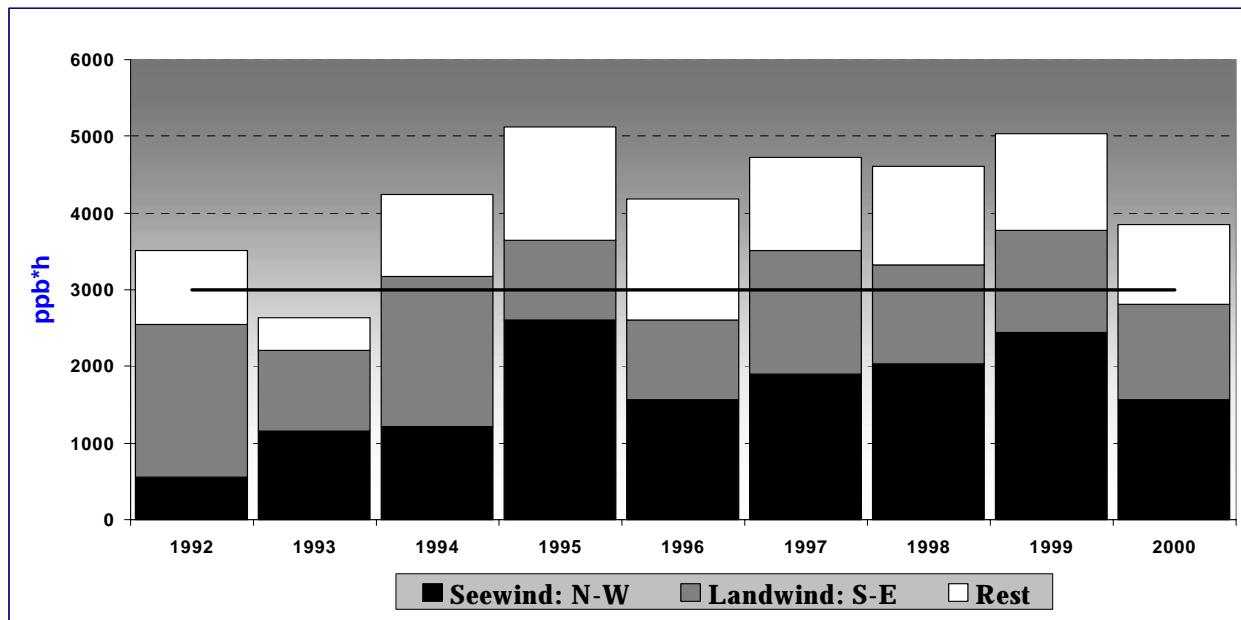


Abbildung 46: Ozonanteile am AOT40-Wert für Land- und Seewind in Westerland für den Zeitraum 1992 bis 2000.

3.1.4 Zukünftige Entwicklung der Ozonbelastung auf Sylt

Wie sich die Ozonkonzentrationen auf Sylt in der Zukunft entwickeln werden, hängt von der Entwicklung der Emissionen der Ozon-Vorläufer in Deutschland, Europa und den außereuropäischen Industrieländern auf den gemäßigten Breiten der Nordhalbkugel ab. In Deutschland haben die Emissionen zwischen 1990 und 1999 um etwa 40% (NO_x) bzw. 48% (VOC) abgenommen (Ref. 13), bis zum Jahr 2010 werden die mittelfristigen Emissionsminderungen bei 60% (NO_x) bzw. 69% (VOC) liegen. (Basisjahr 1990, Ref. 14). Bezüglich der Entwicklung in Europa ist das Emissionsziel der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa eine etwa 40 prozentige Reduzierung beider Vorläufer in den europäischen ECE-Staaten bis zum Jahre 2010 (Basisjahr 1990, Ref. 14).

Dagegen werden die Vorläuferemissionen in Nordamerika in den kommenden zehn Jahren nur leicht abnehmen, die Emissionen in Asien hingegen möglicherweise erheblich zunehmen (Ref. 3, 5, 15). Entsprechend der sehr unterschiedlichen Emissionsentwicklung in Deutschland, Europa sowie den außereuropäischen Industrieländern auf den gemäßigten Breiten der Nordhalbkugel wird sich die Ozonbelastung auf Sylt - abhängig von der Wind- und Transportrichtung - ebenfalls unterschiedlich entwickeln:

- Bezüglich der Konzentrationen bei Seewind wird es in den kommenden Jahrzehnten keine merklichen Änderungen geben.
- Dagegen werden sich die Ozon-Konzentrationen bei Landwind ähnlich entwickeln wie im Binnenland, wenn auch weniger stark ausgeprägt. Im Binnenland werden sehr niedrige Ozonwerte und sehr hohe Werte bis 2010 insgesamt seltener auftreten. Dieser scheinbar paradoxe Sachverhalt einer Verschiebung der hohen und der niedrigen Ozonwerte hin zu mittleren Werten ist durch die Beteiligung der Stickoxide sowohl bei der Bildung als auch beim Abbau von Ozon erklärbar. Durch die Reduzierung der Emissionen der Ozonvorläufer wird die photochemische Ozonproduktion geringer, wodurch Spitzenwerte seltener auftreten. Andererseits führen geringere NO-Konzentrationen in Emittentennähe zu einem weniger effektiven Abbau von O₃ durch NO (Titrationseffekt), wodurch die niedrigen Werte ansteigen (*Ref. 1*).

Bezüglich der Überschreitung der Ozon-Schwellenwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit lässt sich zusammenfassend feststellen, dass Episoden mit hohen Ozonkonzentrationen, die zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen können, auf Sylt im Gegensatz zum Binnenland so gut wie nicht vorkommen. Wenn auch die Ozon-Spitzenwerte im Binnenland heute noch höher liegen als auf Sylt, so ist trotzdem festzustellen, dass diese Spitzenwerte (> 180 µg/m³) im Binnenland während des letzten Jahrzehnts als Folge der Emissionsreduzierung von VOC und NO_x deutlich zurückgegangen sind (*Ref. 1*).

Die gegenüber dem Binnenland ohnehin schon sehr geringe Zahl an Überschreitungen des EU-Schwellenwertes von 180 µg/m³ (1-h-Mittel) wird während der kommenden Jahre weiter zurückgehen, so dass spätestens ab 2010 auch diese Konzentrationen auf Sylt nicht mehr erreicht werden. Die für Sylt typischen mittleren Konzentrationen zwischen 50 und 100 µg/m³ liegen aber deutlich unter den strengen EU-Zielwerten zum Schutz der menschlichen Gesundheit und sind damit gesundheitlich unbedenklich.

Im Gegensatz zu der erfreulichen Entwicklung der gesundheitsrelevanten Ozon-Spitzenwerte werden die dosisbezogenen Schwellenwerte wie beispielsweise der AOT40-Wert für den Pflanzenschutz im kommenden Jahrzehnt auch auf Sylt kaum zurückgehen, da diese Ozon-Schwellenwerte vor allem durch die mittleren Konzentrationen bestimmt werden und nicht durch die seltenen Spitzenwerte (*Ref. 12*). Die mittleren Ozonkonzentrationen werden aber zum überwiegenden Teil durch das nordhemisphärische Hintergrundozon (NHMLB) bestimmt, dessen Konzentration in den kommenden Jahrzehnten kaum zurückgehen wird.

Aufgrund ihrer geographischen Lage ist die Station Westerland von allen deutschen Ozon-Messstationen am besten geeignet, den nordhemisphärischen Ozon-Hintergrund zu bestimmen. Da die Kenntnis dieses Hintergrundes für die Beurteilung der Wirksamkeit von ozonmindernden Maßnahmen wichtig ist, kommt den Ozonmessungen auf Sylt eine besondere umweltpolitische Bedeutung zu.

3.1.5 Literatur zu Kapitel 3.1

- (1) Beilke S, Wallasch M. (2000). *Die Ozonbelastung in Deutschland seit 1990 und Prognose der zukünftigen Entwicklung. Immissionsschutz 5, Heft 4, S.149 - 155.*
- (2) EU (2000), EU-ENV/00/86, Brüssel
- (3) Lelieveld J, Thompson A M, (1998). *Tropospheric Ozone and Related Processes Chapter 8 in: Scientific Assessment of Ozone Depletion in 1998. WMO-Report 44.*
- (4) Lutz M (2000): *Europäische Ozonminderungsstrategie und Ozon-Tochterrichtlinie, Tagungsband: Symposium Troposphärisches Ozon, Braunschweig, 8.-10.Februar 2000. Schriftenreihe der KRdL im VDI und DIN, Band 32, S.281-298.*
- (5) New York (2001): *Workshop on „Photooxidants, Fine Particles and Haze across the Arctic and North Atlantic: Transport Observations and Models, Palisades, New Jersey, USA, 9.-16. June 2001*
- (6) Olson M P, Oikawa K K, Macafee A W. (1978)
A trajectory model applied to the long-range transport of air pollutants: a technical description and some model intercomparisons. Tech. Rep. LRTAP 78 - 4, Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario, Canada.
- (7) Ozon-Symposium München, 2.-4.Juli 1991.
Herausgeber: TÜV-Akademie Bayern/Hessen GmbH, München, S.1-45.
- (8) Stick C, Beilke S, Adolphsen A, Hundhausen E, Pielke L, Uhse K. (1998)
Die lufthygienische Charakterisierung des Seeklimas an der Deutschen Nordseeküste im Vergleich zum Binnenland. Phys. Rehab Kur Med 8, S.75-83
- (9) Stick C, Beilke S, Uhse K, Adolphsen A, Hundhausen E, Wallasch M. (2000).
Die lufthygienische Situation an der deutschen Nordseeküste im Hinblick auf SO₂ und NO₂. Phys. Rehab Kur Med. 10, S. 176 - 183.
- (10) Stick C, Beilke S, Uhse K, Adolphsen A, Hundhausen E, Wallasch M. (2001)
Ist Ozon ein geeignetes Maß, die Luftqualität zu charakterisieren? Analyse der Ozon-Konzentrationen an der deutschen Nordseeküste in Abhängigkeit von Jahreszeit, Windrichtung und Luftmassenherkunft. Eingereicht zur Veröffentl. in Phys. Rehab Kur Med.
- (11) Symposium Troposphärisches Ozon, Braunschweig, 8.-10. Feb.2000. Schriftenreihe der KRdL im VDI und DIN, Band 32, S.93-248.
- (12) UBA (1998): *Jahresbericht 1998 aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes, Texte 66/99*
- (13) UBA (2000a). *Emissionen nach Emittentengruppen in Deutschland 1990 bis 1999, Berlin, Dezember 2000.*
- (14) UBA (2000b). *Hintergrundinformation Sommersmog, Berlin, Juni 2000.*
- (15) US-EPA (1996). *National air quality and emission trend report. EPA-454/R-005. Res .Triangle Park, N.C.*

3.2 Die Ozon-Episode vom 18. bis 22. Juni 2000 in Deutschland

*Siegfried Beilke, Manfred Jäschke, Karin Uhse, Markus Wallasch, Umweltbundesamt, FG II 6.5,
Außenstelle Langen*

Susanne Grittner, Wolfgang Bräuniger und Angela Weikinn, Umweltbundesamt, FG II 6.4, Berlin

*Hans Claude und Wolfgang Fricke, Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium,
Hohenpeissenberg*

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

3.2.1 Einleitung

Die Ozon-Spitzenkonzentrationen in Deutschland haben zwischen 1990 und 2000 deutlich abgenommen (siehe Abbildung 47 und Abbildung 48). Diese Abnahme ist im Wesentlichen auf die erhebliche Reduzierung der Emissionen der Ozonvorläufer (NOx und VOC) und nicht auf meteorologische Einflüsse zurückzuführen (Ref. 1).

Als Beispiel für den generellen Rückgang der Spitzenwerte zeigt Abbildung 47 die Anzahl der Tage, an denen an mindestens einer der insgesamt einige Hundert Stationen umfassenden Messnetze von Bund und Ländern die Ozon-Schwellenwerte für den Schutz der menschlichen Gesundheit (Ref. 2, 3) von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Stundenmittel) in den Jahren 1990 bis 2000 überschritten worden sind. Die Zahlen sind auf das Jahr 1990 sowie auf die Zahl der Ozonomessstellen bezogen, die sich von Jahr zu Jahr geändert hat. Dadurch wird berücksichtigt, dass eine Änderung der Zahl der Messstellen auch die Wahrscheinlichkeit ändert, Überschreitungen der Schwellenwerte zu erfassen. Man erkennt eine deutliche Abnahme sowohl der Überschreitungen von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als auch der Überschreitungen von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Wie Abbildung 48 zeigt, haben auch die maximalen Ozon-Stundenwerte in Deutschland zwischen 1990 und 2000 abgenommen. Ozonkonzentrationen über $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden seit 1993 in Deutschland nicht mehr beobachtet. Die in Abbildung 47 und Abbildung 48 gezeigten, im Wesentlichen auf den Rückgang der Emissionen von NOx und VOC zurückzuführenden Langfrist-Ozontrends sind durch meteorologisch bedingte Schwankungen überlagert, die zu erheblichen Schwankungen der Ozon-Spitzenwerte von Jahr zu Jahr führen können.

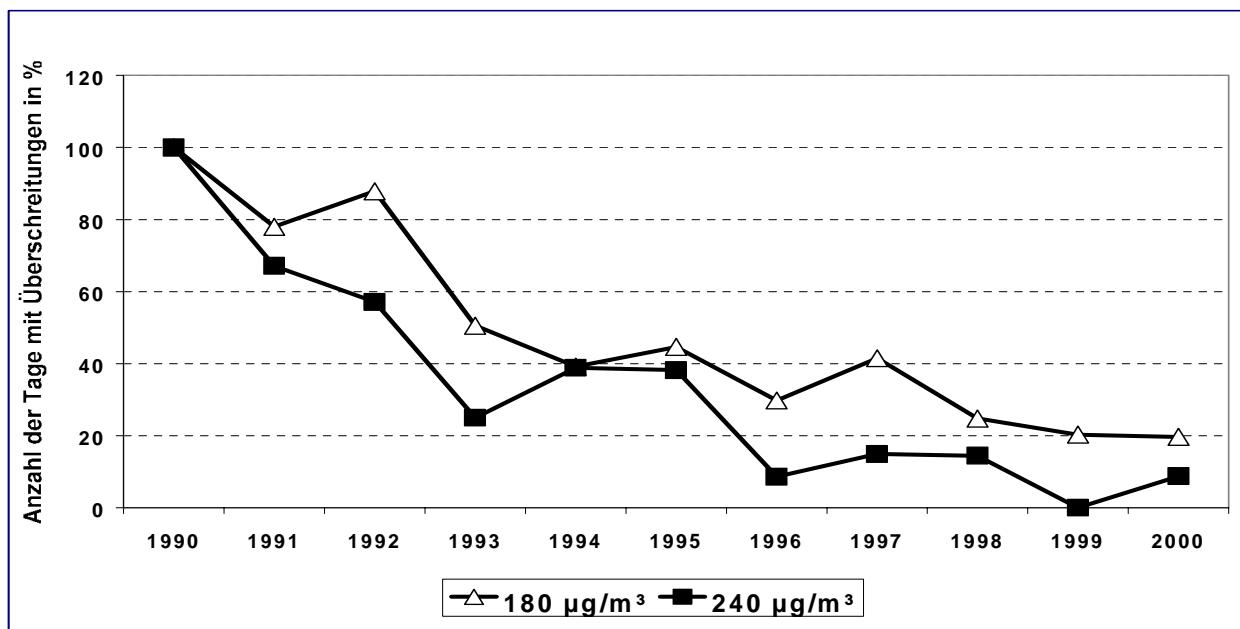


Abbildung 47: Prozentuale Änderung der Anzahl der Tage, an denen an mindestens einer deutschen Station die Ozonschwellenwerte von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Dreiecke) bzw. $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Quadrate) überschritten worden sind (Bezugsjahr 1990). Die Werte sind außerdem auf die Zahl der Ozonmessstellen im Jahre 1990 normiert. Bezugswerte von 1990: 24 Tage/Jahr Überschreitungen von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 64 Tage/Jahr Überschreitungen von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Zahl der Ozonmessstellen = 194. Zum Vergleich: Zahl der Stationen im Jahr 2000: 370

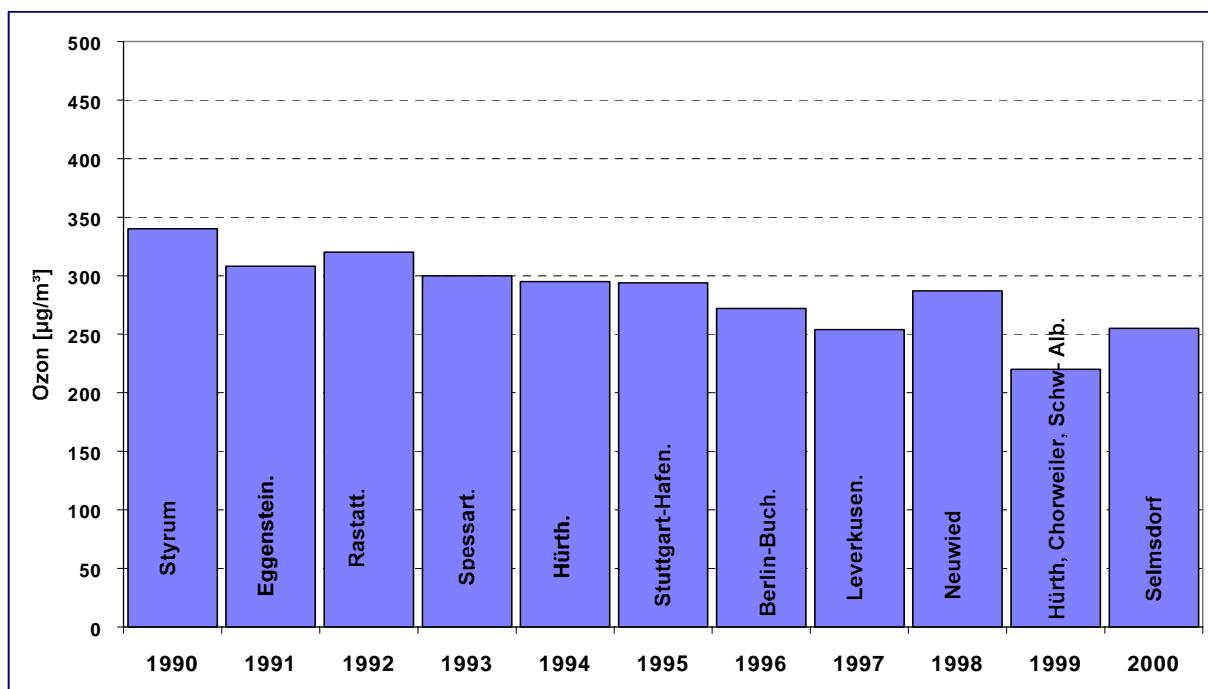


Abbildung 48: Verlauf der maximalen Ozon-Stundenwerte in Deutschland zwischen 1990 und 2000.

So ist beispielsweise der hohe Ozon-Maximalwert von $287 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Neuwied) im Jahre 1998 neben der noch immer hohen Emission der Ozonvorläufer NOx und VOC auch auf die extreme Wettersituation um den 11. August zurückzuführen. Möglicherweise haben die hohen biogenen VOC-Emissionen während dieser Ozonepisode in Verbindung mit den anthropogenen NO_x-Emissionen erheblich zur Ozonbildung und zu den hohen Ozonwerten beigetragen. So zeigte beispielsweise eine im Rahmen des BMBF-Troposphärenforschungsprogramms durchgeführte Untersuchung, dass während der Smogepisode vom 10. bis 12. August 1998 mit extrem hohen Temperaturen die mittleren täglichen biogenen VOC-Emissionen in Deutschland die anthropogenen Emissionen um den Faktor 2 überstiegen (Ref. 4). Am 11. und 12. August 1998 wurden an vielen Stationen des Deutschen Wetterdienstes Höchsttemperaturen gemessen, die über den seit Beginn der meteorologischen Messungen in der jeweiligen Monatsdekade aufgetretenen Rekordwerten lagen (Ref. 5).

Während im Jahre 1999 mit $219 \mu\text{g}/\text{m}^3$ der niedrigste maximale Stundenwert seit mindestens 1990 gemessen wurde, trat im Jahre 2000 mit maximal $253 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Selmsdorf bei Lübeck) erneut ein relativ hoher Spitzenwert auf, der auch auf die extremen Wetterbedingungen um den 20. Juni zurückzuführen ist (Ref. 6). Vom 18. bis 22. Juni 2000 trat in Deutschland eine Ozonepisode auf, die im Folgenden näher untersucht werden soll.

3.2.2 Analyse der Ozonepisode vom 18. bis 22. Juni 2000

3.2.2.1 Zeitliche und räumliche Verteilung der Ozonkonzentrationen

Abbildung 49 und Abbildung 50 zeigen die zeitliche Verteilung der Häufigkeit der Schwellenwertüberschreitungen von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Abbildung 49) und $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Abbildung 50) im Jahre 2000 auf der Basis der Daten aus den Messnetzen von UBA und Bundesländern (insgesamt 370 Ozon-Messstellen). Angegeben ist die Zahl der Stationen, an denen in mindestens einem Fall pro Tag die Schwellenwerte (1-h-Mittel) überschritten worden sind. An insgesamt 24 Tagen wurde der Schwellenwert von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2000 überschritten, an insgesamt 4 Tagen der Wert von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Herausragend ist die Ozonepisode vom 18. bis 22. Juni mit den weitaus meisten Überschreitungen (Ref. 6).

Die Ozonepisode vom 18. - 22. Juni war durch großräumige Überschreitungen des EU-Schwellenwertes für die Information der Bevölkerung von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-h-Mittel, Ref. 1) vor allem zwischen dem 19. und 21. Juni gekennzeichnet. Vereinzelt traten an diesen Tagen auch Überschreitungen der EU-Alarmschwelle von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-h-Mittel) auf.

Bemerkenswert an dieser Smogepisode war, dass die Ozon-Spitzenwerte nicht nur wie üblich im Binnenland, sondern besonders in der Nordhälfte bis zur Nord- und Ostsee auftraten, wie auch die hohen Stundenwerte an den UBA-Stationen Helgoland ($238 \mu\text{g}/\text{m}^3$ am 20. Juni) sowie Zingst ($229 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $223 \mu\text{g}/\text{m}^3$ am 21. Juni) beispielhaft zeigen.

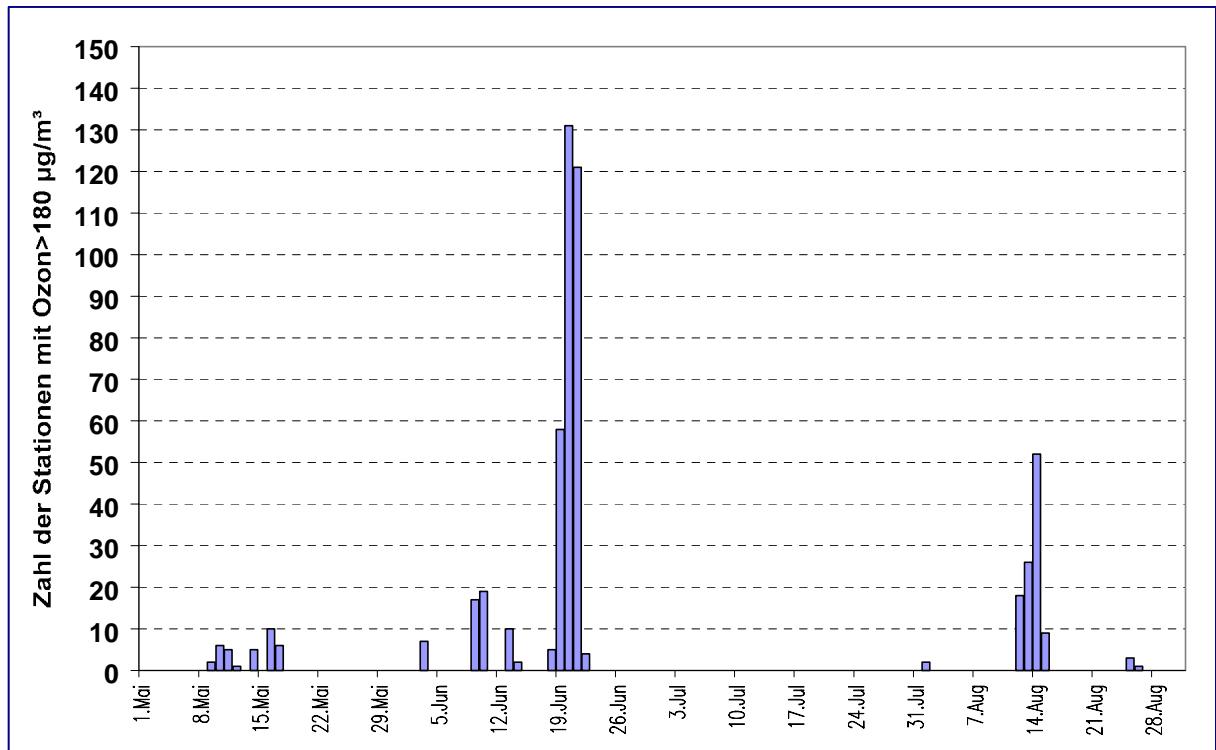


Abbildung 49: Zahl der Tage und Stationen mit Überschreitungen von 180 µg/m³ (Stundenmittel)

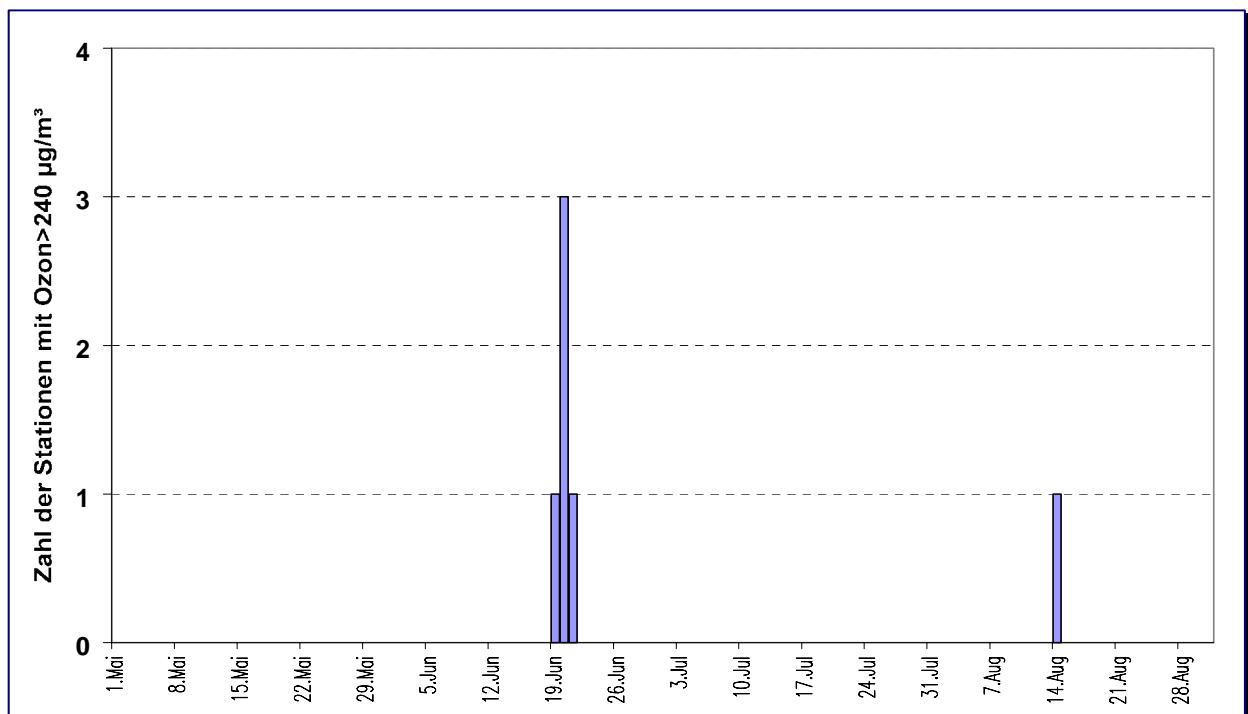


Abbildung 50: Zahl der Tage und Stationen mit Überschreitungen von 240 µg/m³ (Stundenmittel)

Ozonüberschreitungen am 19.6.2000 in Deutschland

(Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

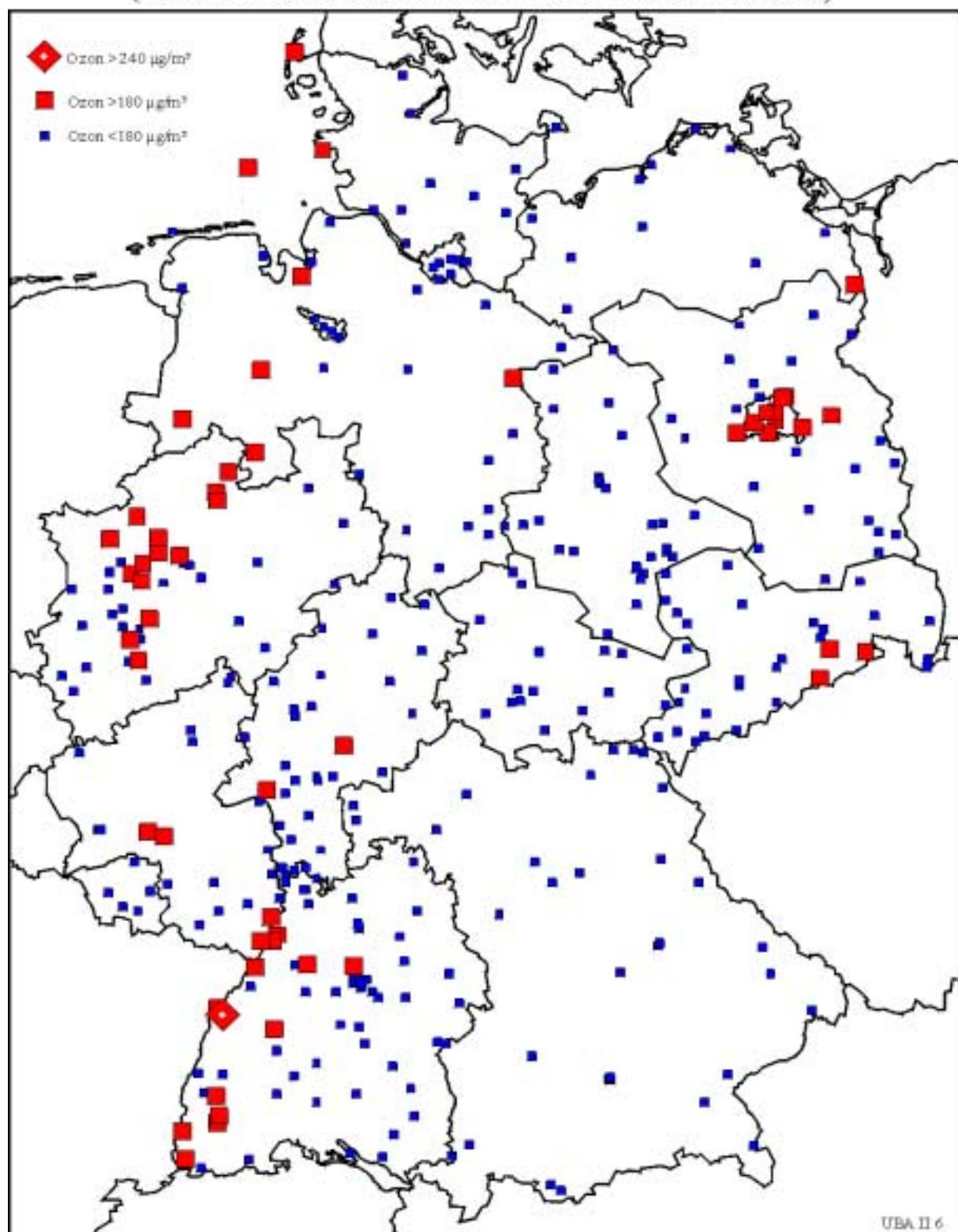


Abbildung 51: Ozonschwellenwert-Überschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 19. Juni 2000.

Ozonüberschreitungen am 20.6.2000 in Deutschland
(Meßnetze der Bundesländer und des Umweltbundesamtes)

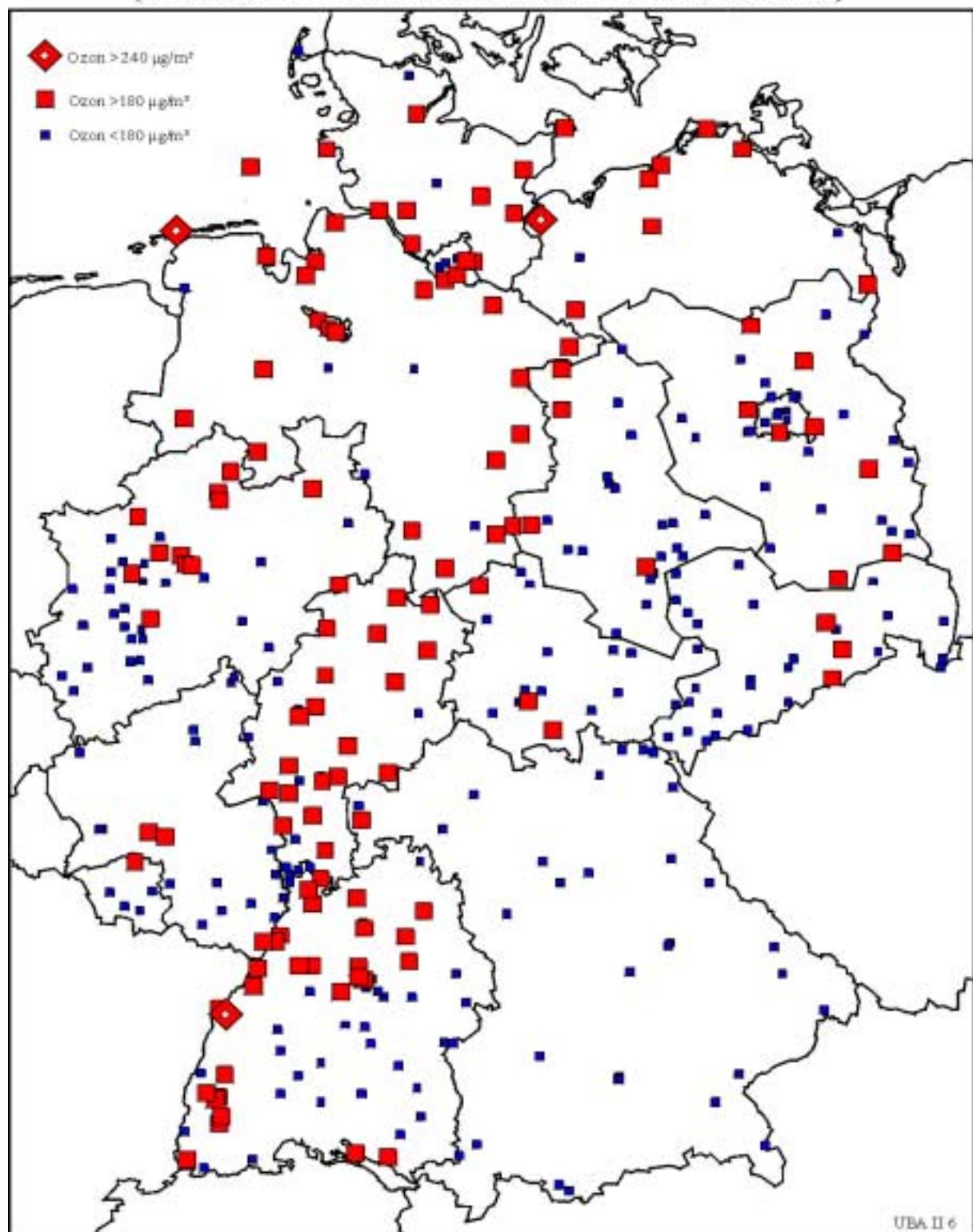


Abbildung 52: Ozonschwellenwert-Überschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 20. Juni 2000.

UBA II 6

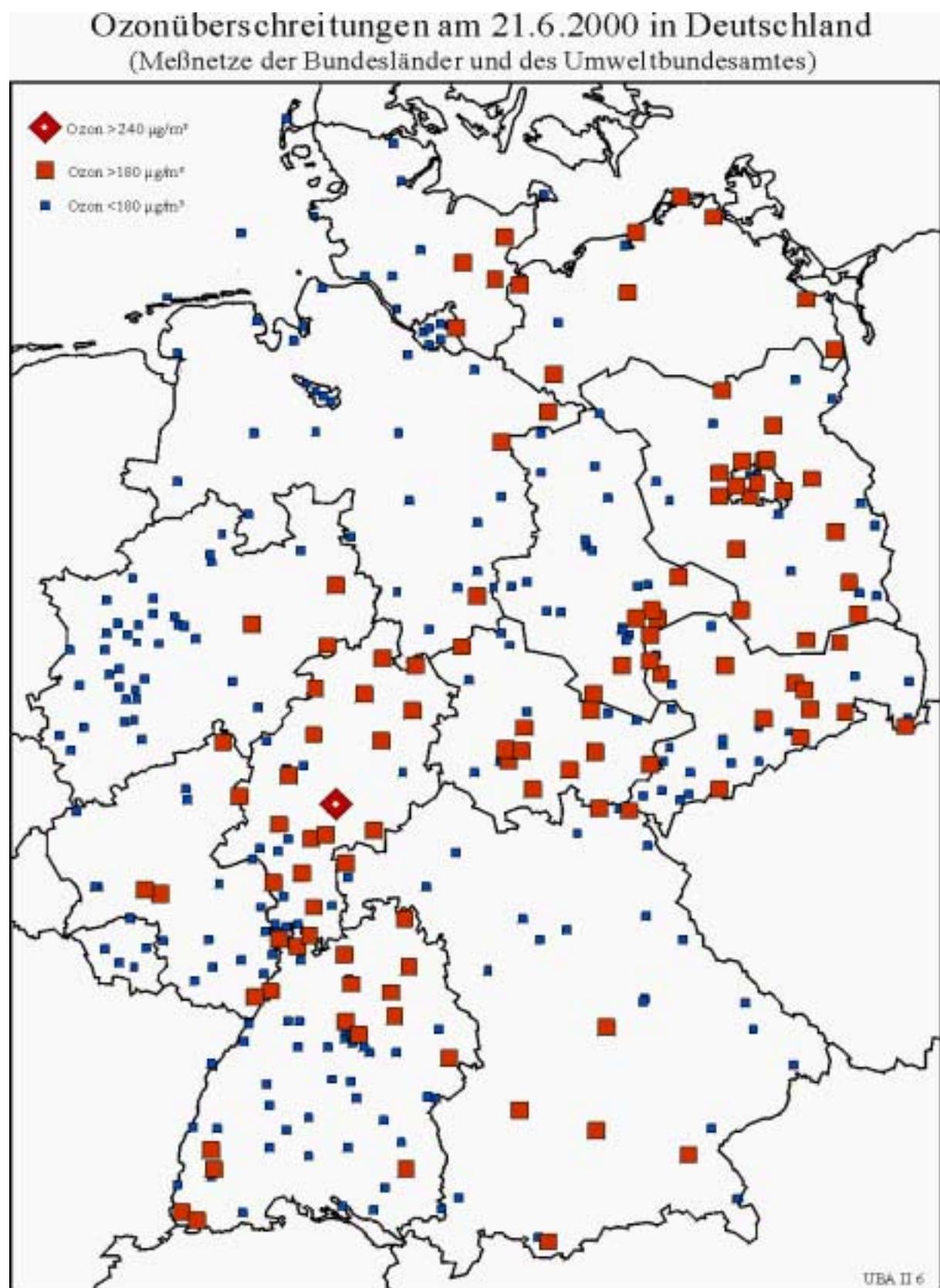


Abbildung 53: Ozonschwellenwert-Überschreitungen an deutschen Ozon-Messstellen am 21. Juni 2000.

3.2.2.2 Meteorologische Situation

Die entscheidende Wetterentwicklung für die Herausbildung der Smogepisode vollzog sich vom 17. zum 18. Juni. Am 17. befanden sich das Bodenhoch über der Nordsee und der Höhenkeil über den Britischen Inseln. An der Ostflanke des Hochs floss mit nördlichen bis nordwestlichen Winden wenig mit Ozonvorläufern belastete Luft nach Deutschland. Die Sonne schien zwar deutschlandweit 10 bis 15 Stunden, die Tageshöchsttemperaturen erreichten aber nur Werte zwischen um 15 °C an der Küste und bis zu 24 °C im Oberrheingraben. Die deutschlandweit höchsten Stundenwerte der Ozonkonzentrationen wurden dementsprechend an diesem Tag an den Stationen Weil am Rhein und Schwarzwald-Süd gemessen, allerdings betrugen die Werte nur 148 µg/m³.

Innerhalb von 24 Stunden hatte sich das Hochdruckgebiet nach Mitteleuropa verlagert, so dass es sich am 18. mit seinem Zentrum über dem Böhmerwald befand. Die Verlagerung war insbesondere in der unteren Troposphäre in einer vom Boden bis 3 km Höhe reichenden Schicht mit einer sehr kräftigen Erwärmung sowie einer Winddrehung und –abnahme in den bodennahen Luftsichten verbunden ([siehe Abbildung 54](#)) Die Folge dieser drastischen Wetteränderung führte bei einer Sonnenscheindauer von 10 bis 15 Stunden zu maximalen Tagestemperaturen zwischen 20 °C im Küstenbereich und örtlich 30 °C in den Gebieten entlang des Ober- und Mittelrheins. Im Vergleich zum Vortag kam es bereits am 18. zu einem markanten Anstieg der Ozonwerte. Das vor allem über Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen gebildete Ozon wurde mit der inzwischen auf Süd eingestellten Strömung langsam in Richtung Norden transportiert, was Stundenwerte in den Abendstunden in Selmsdorf von 201 µg/m³ und in Neuss von 200 µg/m³ zur Folge hatte.

Am 19. setzte sich die Erwärmung der unteren Troposphäre bis etwa 1,5 km Höhe weiter fort; und am Westrand des geringfügig nach Osten gezogenen Hochs stellte sich allmählich in allen Teilen Deutschlands eine südliche Luftströmung ein. Die Sonne schien weiterhin den ganzen Tag über und erhitzte den Boden verbreitet bis über 30 °C, den Raum von der Kölner Tieflandsbucht bis nach Hamburg sogar bis nahe 35 °C. Stellenweise bedeuteten für jene Gebiete diese Tageshöchsttemperaturen Rekordwerte seit Beginn der Messungen für den Zeitraum vom 11. bis 30. Juni. Am 19. stiegen die Ozonkonzentrationen allgemein weiter an, wobei der höchste Stundenwert in Kehl mit 242 µg/m³ auftrat. Gleichzeitig dehnte sich das Gebiet hoher Ozonkonzentrationen immer mehr nordostwärts aus.

Am 20. Juni erreichte die Ozon-Episode ihren Höhepunkt. Der Hochdruckeinfluss über Mitteleuropa hielt am Boden nicht nur weiter an, sondern wurde durch den Höhenkeil, dessen Achse sich in der 500-hPa-Fläche genau über Deutschland befand, kräftig unterstützt. Gleichzeitig hatte sich in der gesamten unteren Troposphäre über ganz Deutschland eine südliche bis südwestliche Strömung durchgesetzt. Die Sonne schien wiederum den ganzen Tag (13 bis 15 Stunden) über, was vor allem in der nördlichen Hälfte Deutschlands verbreitet zu Temperaturrekorden führte. In Teterow (Mecklenburg) z. B. wurde ein Temperaturmaximum von 36.1 °C gemessen, während der bisherige, seit 1947 für die dritte Junidekade bestehende Höchstwert bei 33.3 °C lag. Die Ozonkonzentrationen stiegen großräumig weiter an und erreichten mit 253 µg/m³ in Selmsdorf und 248 µg/m³ auf der Insel Norderney die höchsten Stundenwerte der Ozonepisode. Dass diese hohen Ozonkonzentrationen besonders im Küstenbereich und erst gegen 20 Uhr MEZ auftraten, ist auf den strömungsbedingten Transport aus den vorgelagerten Ozon-Entstehungsgebieten zurückzuführen.

Mit der allmählichen Verlagerung des Hochs in Richtung Balkan und Schwarzes Meer verschob sich am 21. Juni der Schwerpunkt der Einstrahlung und Erwärmung nach Ost- und Südostdeutschland. Dort traten teilweise Temperaturmaxima von bis zu 36°C auf, während an der deutsch-holländischen Grenze keine 30 °C mehr erreicht wurden. Wie anhand des Radiosondenaufstiegs von Essen zu erkennen ist, setzte in der unteren Troposphäre über Westdeutschland bereits eine deutliche Abkühlung ein ([siehe Abbildung 55](#)). In ganz Deutschland herrschte aber noch eine süd- bis südwestliche Luftströmung vor. Die höchsten Ozonwerten wurden in Nidda (Hessen, 242 µg/m³), in Löcknitz (Mecklenburg-Vorpommern, 234 µg/m³) und in Zinnwald (Sachsen, 233 µg/m³) registriert.

Am 22. überquerten die bereits am Vortage über Westeuropa angelangten Tiefausläufer Deutschland und beendeten die Ozonepisode. Abbildung 54 und Abbildung 55 zeigen anhand der vertikalen Temperaturprofile an der Station Essen die dramatische Erwärmung besonders der bodennahen Troposphäre zwischen dem 17. und 20. Juni (Abbildung 54) sowie die danach erfolgte Abkühlung zwischen dem 20. und 22. Juni (Abbildung 55).

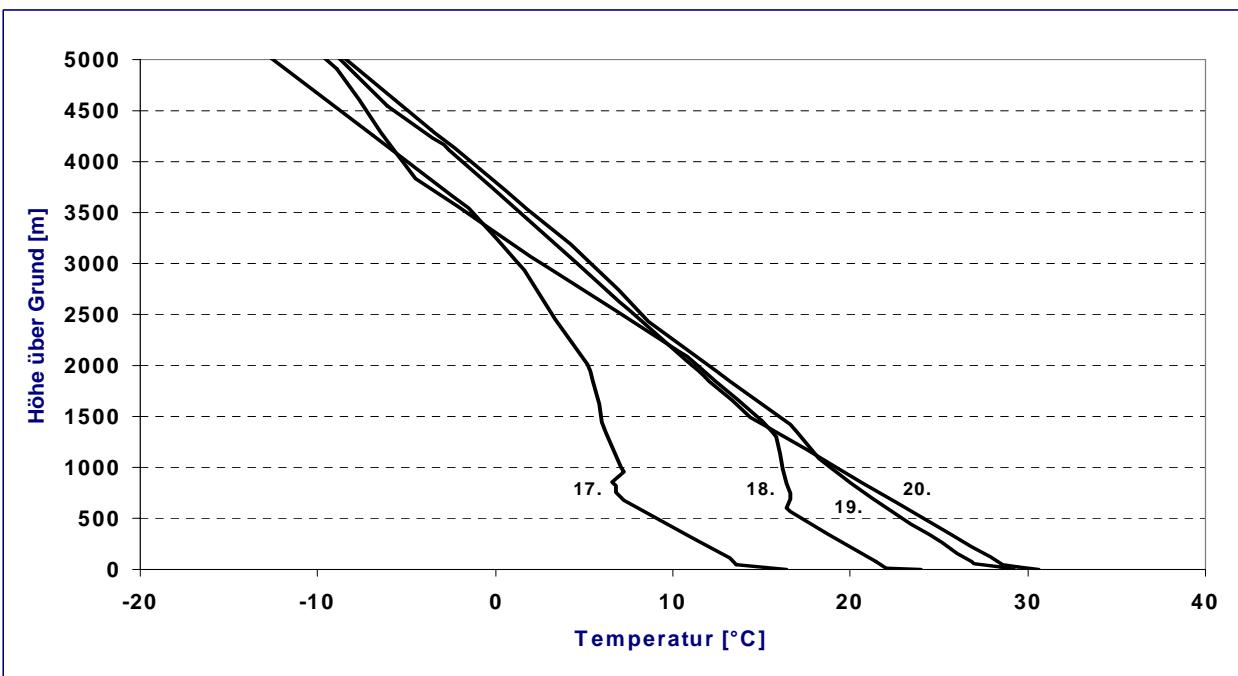


Abbildung 54: Temperaturprofile in der unteren Troposphäre über Essen vom 17. bis 20. Juni 2000 (Radiosondenaufstiege, jeweils um 13:00 Uhr MEZ), (Ref. 7)

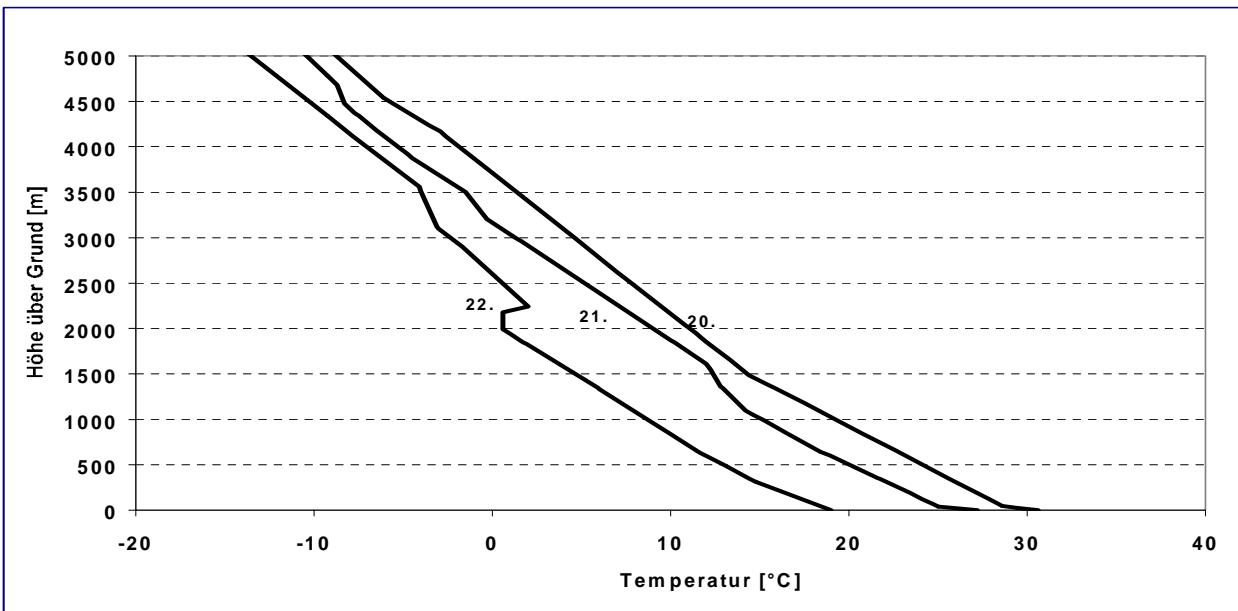


Abbildung 55: Temperaturprofile in der unteren Troposphäre über Essen vom 20. bis 22. Juni 2000 (Radiosondenaufstiege, jeweils um 13:00 Uhr MEZ), (Ref. 7)

3.2.2.3 Interpretation der hohen Ozonwerte

Voraussetzung für die Entstehung hoher bodennaher Ozonkonzentrationen (Sommersmog) in Deutschland ist neben dem Vorhandensein von Ozonvorläufern (NO_x, VOC) eine meteorologische Situation, die durch hohe Sonneneinstrahlung sowie durch eine stabile Schichtung der unteren Troposphäre charakterisiert ist (Ref. 8). Eine hohe Einstrahlung von kurzwelliger UV-Strahlung ist dabei für die Ausbildung hoher bodennaher Ozonkonzentrationen notwendig, aber nicht hinreichend.

Langjährige Ozonmessungen in Deutschland haben gezeigt, dass der Jahresgang der Ozon-Konzentrationen mit einem gehäuften Auftreten von Spitzenwerten in den Monaten Juli und August nicht symmetrisch zur UV-Strahlungskurve verläuft, die zum Sonnenhöchststand um den 21. Juni ihr Maximum aufweist. Der Grund liegt darin, dass neben der intensiven Sonneneinstrahlung die zusätzlich dafür notwendigen Bedingungen (hochsommerliche Temperaturen, stabile Schichtung der Troposphäre) in den Wochen und Monaten vor dem 21. Juni in der Regel seltener vorkommen als in den entsprechenden Zeiten danach. Beispielsweise treten im Mittel (1961-1990) in Deutschland die maximalen Temperaturwerte im Juli und August auf (Ref. 9). Die Jahresgänge der Temperatur sind in der Regel um etwa einen Monat, an Küsten- und hohen Bergstationen um etwa zwei Monate gegenüber den Sonnenhöchstständen verschoben (Ref. 9). Das bedeutet, dass maximale Sonneneinstrahlung und maximale Temperaturen in der Regel nicht gleichzeitig auftreten.

Zwischen dem 18. und 22. Juni 2000 trat nun das seltene Ereignis ein, dass beide für die Ausbildung von Sommersmog wichtigen meteorologischen Einflussgrößen in weiten Teilen Deutschlands gleichzeitig maximale Werte annahmen, wobei die wegen des Sonnenhöchststandes ohnehin schon hohe UV-Einstrahlung noch durch das stratosphärische Ozon-

Defizit gegenüber dem um diese Zeit normalerweise gemessenen Ozonsäulen verstärkt wurde.

In weiten Teilen Mitteleuropas wurden im Juni 2000 die niedrigsten Monatsmittelwerte des Gesamtozons gemessen (Ref. 10). So lagen beispielsweise am Meteorologischen Observatorium des DWD am Hohenpeißenberg die mittleren täglichen Gesamtozongehalte während der Sommersmog-Episode vom 18. bis 22. Juni 2000 um etwa 30 DU (DU = Dobson Units) niedriger als der entsprechende langjährige Mittelwert von 346 DU für den Zeitraum zwischen 1968 und 1999.

Dieses stratosphärische Ozondefizit führte zu einer Zunahme der UV-Strahlung am Erdboden und damit zu höheren Photolyseraten einer Reihe photoaktiver Spezies. Die Ozon-Photolyseraten waren bei der hier betrachteten Sommersmog-Episode bei Sonnenhöhen zwischen 30° und 60° um 15 bis 25% gegenüber den langjährigen mittleren Verhältnissen erhöht (siehe Abbildung 58)

Modellrechnungen haben gezeigt, dass zunehmende UV-Strahlung zu höheren bodennahen Ozonkonzentrationen führt, wenn die NO_x-Konzentrationen hinreichend hoch sind, was in Mitteleuropa praktisch immer der Fall ist (Ref. 11, 12). Eine genaue Quantifizierung der Zunahme der bodennahen Ozonkonzentrationen aufgrund der höheren UV-B-Strahlung infolge des stratosphärischen Ozondefizits ist wegen der hochgradig nichtlinearen Natur der troposphärischen Chemie schwierig und deshalb mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

Dieses gleichzeitige Auftreten maximaler UV-Einstrahlung und hoher Stabilität der bodennahen Troposphäre mit großräumigen Temperaturen von über 30° C führte schließlich zu den außerordentlich hohen Ozonwerten zwischen dem 18. und 22. Juni 2000.

Dass die Ozonspitzenwerte nicht wie üblich im Westen bzw. Südwesten, sondern besonders in Norddeutschland bis hin zur Nord- und Ostsee auftraten, lag an der besonderen Wetterkonstellation mit großräumigen Ozontransporten von Südsüdwest in Richtung Nordost. Um Aussagen über die Herkunft der Ozonbelastung machen zu können, wurden anhand von sog. Rückwärtstrajektorien die Zugbahnen der Luftmassen über einen Zeitraum von drei Tagen vor Eintreffen an den Stationen zurückverfolgt, an denen die Ozonkonzentrationen von 240 µg/m³ (1-h-Mittel, EU-Alarmschwelle, Tabelle 78) überschritten worden sind.

Tabelle 78: Stationen mit Überschreitungen von 240 µg/m³ (1-h-Mittel) während der Ozon-Episode vom 19. bis 21. Juni 2000.

Datum	Ort	Uhrzeit	Ozon-Maximum
19.6.2000	Kehl (bei Straßbourg)	18 Uhr MEZ	242 µg/m ³
20.6.2000	Selmsdorf (bei Lübeck)	20 Uhr MEZ	253 µg/m ³
	Norderney	20 Uhr MEZ	248 µg/m ³
	Kehl	15 Uhr MEZ	245 µg/m ³
21.6.2000	Nidda (Hessen)	16 Uhr MEZ	242 µg/m ³

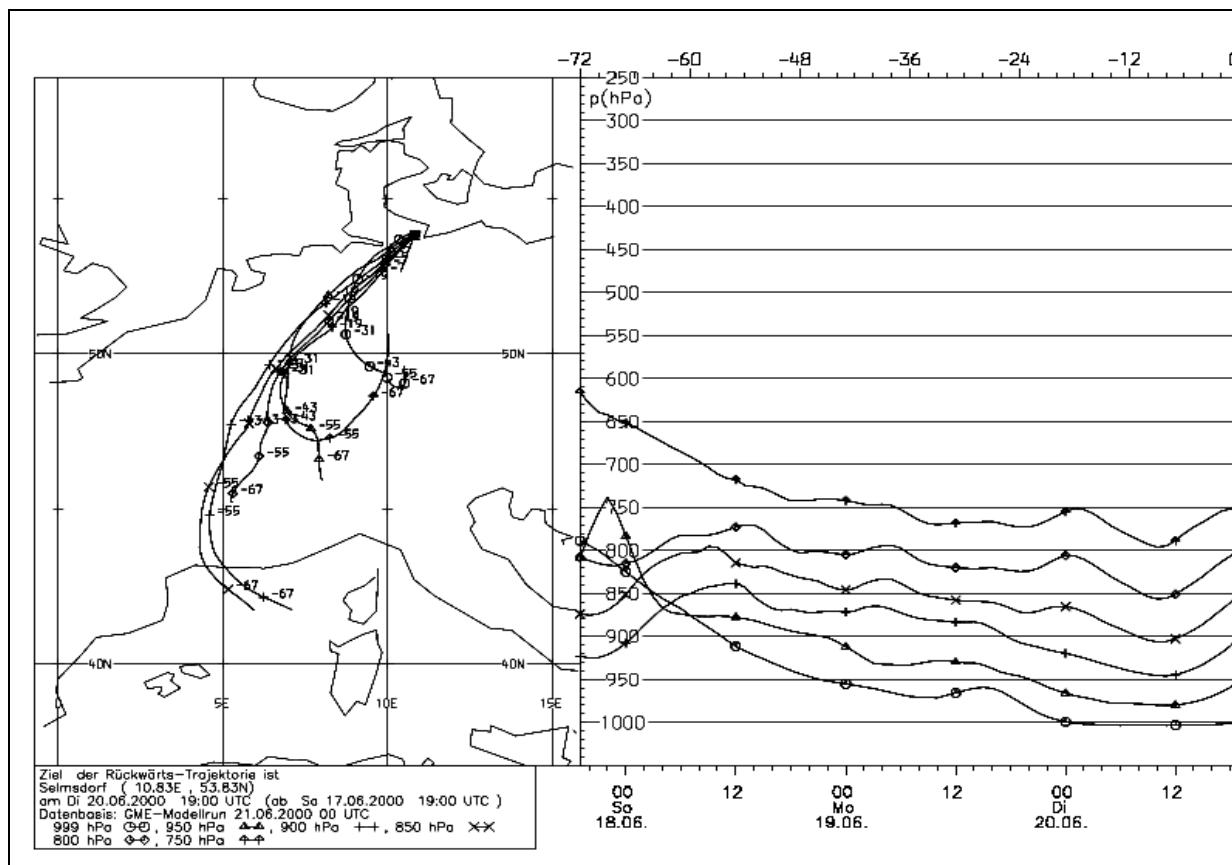


Abbildung 56. Rückwärtstrajektorien nach Selmsdorf am 20. Juni 2000, 19:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhenniveaus: 999 hPa \triangle ca. 10m, 950 hPa \blacksquare \cong 540m, 900 hPa \blacklozenge \cong 1000m, 850 hPa \blacktriangle \cong 1500m, 800 hPa \blacktriangleleft \cong 2000m, 750 \cong 3000m, linke Abb.: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abb.: vertikaler Verlauf der Trajektorien

In Abbildung 56 und Abbildung 57 ist der Verlauf der Rückwärtstrajektorien über einen Zeitraum von 3 Tagen beispielhaft für Selmsdorf (bei Lübeck, Abbildung 56) sowie für Kehl (Baden-Württemberg, Abbildung 57) für den 20. Juni 2000 in unterschiedlichen Höhenniveaus dargestellt:

Selmsdorf: 999 hPa (ca. 10 m über NN, Bodenwind), 950 hPa (ca. 540 m ü. NN), 900 hPa (ca. 1000 m ü. NN), 850 hPa (ca. 1500 m ü. NN), 800 hPa (ca. 2000 m ü. NN) und 750 hPa (ca. 3000 m ü. NN).

Kehl: 973 hPa (ca. 50 m ü. NN, Bodenwind), die restlichen Luftdruckniveaus wie bei Selmsdorf.

Die Ankunftszeiten der Trajektorien wurden so gewählt, dass die Luftmassen etwa zum Zeitpunkt der maximalen Ozonkonzentrationen die beiden Orte erreichten: in Kehl um 14:00 Uhr (UTC) und in Selmsdorf um 19:00 Uhr (UTC).

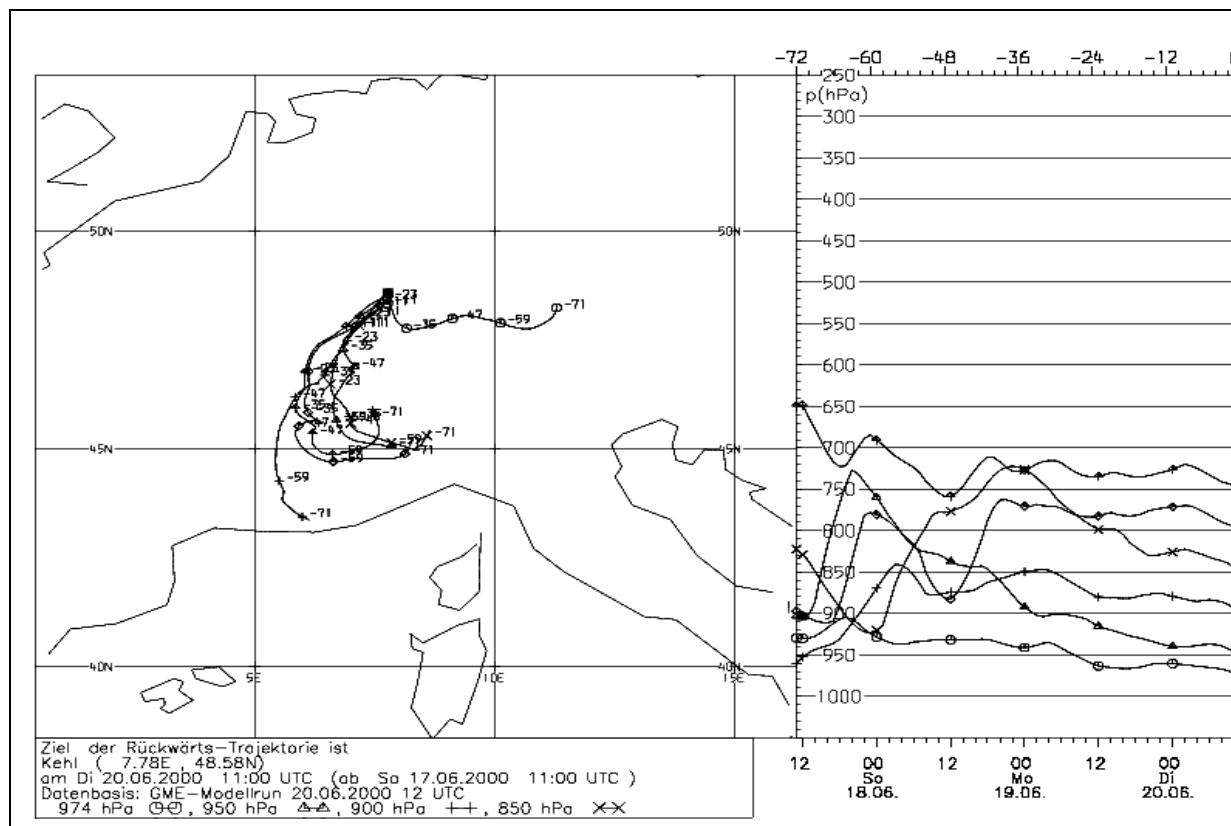


Abbildung 57: Rückwärtstrajektorien nach Kehl am 20. Juni 2000, 19:00 Uhr UTC in unterschiedlichen Höhenniveaus: 999 hPa \triangle ca. 10m, 950 hPa \square 540m, 900 hPa \triangle 1000m, 850 hPa \triangle 1500m, 800 hPa $$ 2000m, 750 \times 3000m, linke Abb.: horizontaler Verlauf der Trajektorien, rechte Abb.: vertikaler Verlauf der Trajektorien*

Deutlich sind einige Unterschiede im Verlauf der Trajektorien für beide Stationen zu erkennen: Wegen der größeren Nähe zum Hochdruckgebiet sind die nach Kehl führenden Trajektorien wesentlich kürzer als die entsprechenden Trajektorien nach Selmsdorf. Das bedeutet, dass die in Selmsdorf ankommenden Luftmassen während der drei zurückliegenden Tage wesentlich weitere Wege zurückgelegt haben. Der maximale Ozon-Stundenwert von 253 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Selmsdorf am Abend des 20. Juni 2000 ist im Wesentlichen auf den Ferntransport zurückzuführen und nur in geringem Maße auf lokale Ozonbildungsprozesse. Ähnliches gilt bezüglich der Ursachen auch für den Ozon-Spitzenwert von 248 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, der ebenfalls am Abend des 20. Juni in Norderney (Nordsee) gemessen worden ist (Trajektorien hier nicht dargestellt). Dagegen ist der maximale Stundenwert von 245 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Kehl am Nachmittag des 20. Juni weitgehend auf lokale bis regionale ozonbildende Prozesse im Oberrheingraben sowie in der benachbarten Schweiz zurückzuführen.

Dass die hohen bodennahen Ozonwerte nicht durch Transport aus großen Höhen verursacht, sondern im Wesentlichen aus bodennah emittierten Ozon-Vorläufern (NO_x und VOC) gebildet worden ist, zeigt der höhenabhängige Verlauf der Trajektorien in den bodennahen Druckniveaus (vom Boden bis zu 850 hPa (ca. 1500m)) während der zurückliegenden 3 Tage. Man erkennt, dass sich die Luft zumindest 2 Tage vor dem Eintreffen an beiden Messorten in den untersten 1500 m der Atmosphäre aufgehalten hat.

Für den dominierenden Beitrag des Ferntransports an den beiden norddeutschen Stationen Selmsdorf und Norderney spricht auch, dass das Ozonmaximum um 20:00 Uhr auftrat, während die entsprechenden Maxima an den Binnenland-Stationen Kehl und Nidda (Hessen) zwischen 15:00 und 18:00 Uhr auftraten.

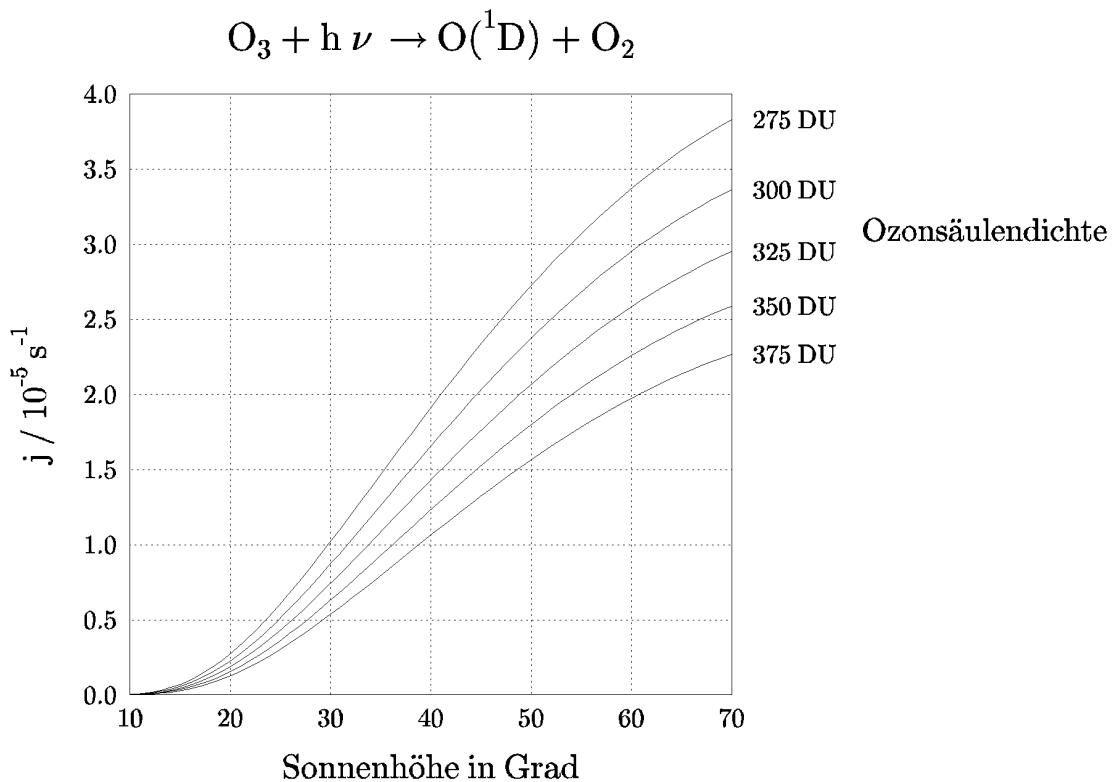


Abbildung 58: Ozon-Photolyseraten bei unterschiedlichen Sonnenhöhen und Ozonsäulen

Wie Abbildung 57 weiter zeigt, sind die Luftmassen sowohl über Gebiete mit einer hohen Emissionsdichte beider Ozonvorläufer NO_x und VOC (z.B. Ruhrgebiet, Rhein-Main-Gebiet, Niederlande) als auch über Gebiete mit einer wesentlich geringeren NO_x-Emissionsdichte, aber über Gebiete mit hohen biogenen VOC-Emissionen gezogen, bevor sie die norddeutschen küstennahen Stationen Norderney und Selmsdorf erreichten.

Die biogenen VOC-Emissionen haben möglicherweise auch einen erheblichen Beitrag zu den hohen Ozonwerten während dieser mehrtägigen Ozonepisode geleistet. Die biogenen VOC-Emissionen waren während der hier untersuchten Ozon-Episode sehr wahrscheinlich wesentlich höher als die anthropogenen VOC-Emissionen (Ref. 4, 14). Wie weitergehende Untersuchungen gezeigt haben (Ref. 13), sind die NO_x-Konzentrationen in Mitteleuropa großräumig noch immer hoch genug, um auch über den Hauptemissionsgebieten der biogenen VOC erheblich zur Ozonbildung beizutragen. Zu bedenken ist aber, dass biogene VOC-Emissionen nur Ozon bilden können, wenn genügend anthropogenes NO_x vorhanden ist.

3.2.3 Zukünftige Entwicklung der Ozonspitzenwerte

Im Zuge der weiteren Reduzierungen der Emissionen von NO_x und VOC in Deutschland und Europa (Tabelle 79) werden die Ozonspitzenwerte in Deutschland im kommenden Jahrzehnt weiter sinken, wenn auch nicht in dem Maße wie zwischen 1990 und 2000. Im Jahr 2010 wird die Wahrscheinlichkeit von Überschreitungen der EU-Schwellenwerte für die Information der Bevölkerung (1-h-Mittel von 180 µg/m³ Ozon) und insbesondere für den Schutz der menschlichen Gesundheit (1-h-Mittel von 240 µg/m³ Ozon) nur noch sehr gering sein, vollständig auszuschließen sind diese Überschreitungen aber nicht (Ref. 1).

Tabelle 79: Von Deutschland zugesagte mittelfristige Emissionsminderungen von NO_x und VOC bis 2010 (Basisjahr 1990, Ref. Protokoll zur Verringerung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon, Göteborg Protokoll)

	NO _x	VOC
ECE insgesamt	-41%	-41%
EU-Staaten	-49%	-57%
Deutschland	-60%	-69%

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die sehr hohen Ozonkonzentrationen während der Ozon-Episode vom 19. bis 21. Juni 2000 den aufgrund der Emissionsminderung der Vorläufer generell abfallenden Trend der Ozon-Spitzenkonzentrationen kaum beeinflusst haben.

3.2.4 Literatur zu Kapitel 3.2

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

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

(2) EU-Tochter-Richtlinie 2000

EU-ENV/00/86, Brüssel

(3) Lutz, M (2000): *Europäische Ozonminderungsstrategie und Ozon-Tochterrichtlinie, Tagungsband: Symposium Troposphärisches Ozon, Braunschweig, 8.-10.Februar 2000. Schriftenreihe der KRDl im VDI und DIN, Band 32, S.281-298.*

(4) Seiler, W., (2000)

BMBF-Troposphärenforschungsprogramm, Ergebnisbericht der Koordinatoren, Leithema 2, Juni 2000

- (5) Deutscher Wetterdienst(1998)
Amtsblatt des DWD, Nr.218-225
- (6) UBA (2000)
Kurzbericht: Ozonsituation 2000 in der Bundesrepublik Deutschland, Oktober 2000,
UBA, II 6.4, Ute Dauert und Susanne Grittner
- (7) Deutscher Wetterdienst (2000)
Europäische Wetterkarte
- (8) 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, S.116-131.
- (9) Deutscher Wetterdienst (1999)
Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland, Teil 1. Autoren: Müller-Westermeier, G.;
Kreis, A. und Dittmann, E.. Herausgeber und Verlag: DWD, Frankfurter Straße 135,
63067 Offenbach/M.
- (10) Claude, H. (2000)
Beitrag zum Klimastatusbericht 2000
- (11) Madronich, S. and Granier, C. (1993)
Tropospheric Chemistry Changes due to increased UV-B Radiation. NATO Advanced Research Workshop on Stratospheric Ozone Depletion/UV-B Radiation in the Biosphere, Gainesville, Florida, June 14-18, 1993
- (12) Madronich, S. (1993)
Tropospheric Photochemistry and its Response to UV Changes, NATO ASI Series,
Vol. 18, The role of the stratosphere in global change, edited by M.L. Chanin,
Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1993
- (13) Stick, C., Beilke, S., Uhse, K., Adolphsen, A., Hundhausen, E. und M. Wallasch (2000)
Die lufthygienische Situation an der deutschen Nordseeküste im Hinblick auf SO₂ und NO₂. Phys. Rehab. Kur Med. 10, S. 176-183
- (14) Steinbrecher et al. (2000)
Development of Biogenic VOC Emission Inventories for Germany. BMBF-Statusseminar, April 2001, Jena

3.3 CO₂-Messkampagne auf dem Feldberg/Schwarzwald

Manfred Jäschke, Karin Uhse

3.3.1 Einleitung

Im Jahre 2000 wurden von März bis November CO₂-Messungen auf dem Feldberg/Schwarzwald durchgeführt. Gemessen wurde auf dem Sendeturm des Südwestrundfunks (SWR) in 1500 m über dem Meeresspiegel. Der Sendeturm befindet sich oberhalb der Baumgrenze und ist von allen Himmelrichtungen frei anströmbar. Als Referenzstation zum Feldberg diente die Messstelle Schauinsland, die nordwestlich zum Feldberg liegt und etwa 10 km Luftlinie entfernt ist. Auf dem Schauinsland werden seit 1972 CO₂-Messungen durchgeführt. Die Station befindet sich 1205 m über NN etwas unterhalb am Hang und ist von Wäldern und landwirtschaftlich genutzten Wiesen umgeben. An beiden Orten wurden Messgeräte gleichen Typs verwendet, die nach dem Messprinzip der Infrarotabsorption arbeiten.

Die Messkampagne auf dem Feldberg sollte klären, ob zwischen beiden Stationen unterschiedliche Beeinflussungen durch lokale/regionale anthropogene und biogene Quellen/Senken auftreten, welcher Art sie sind und in welchen Größenordnungen sie vorkommen. Das Ziel der Vergleichsmessungen war, herauszufinden, ob die Station Feldberg besser als die Station Schauinsland geeignet ist, möglichst ungestörte, großräumig repräsentative Messungen der CO₂-Konzentrationen durchzuführen.

3.3.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Messkampagne sind für die in Frage kommenden Monate als Korrelation der einzelnen Halbstundenwerte zwischen Schauinsland und Feldberg von März bis November 2000 (siehe Abbildung 59) sowie als mittlerer monatlicher Tagesgang (siehe Abbildung 60) grafisch dargestellt. Für die Korrelation der Einzelwerte (Abbildung 59) ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von 0.84 und somit besteht eine relativ enge Beziehung zwischen beiden Messreihen.

In Abbildung 60 ist zu erkennen, dass in dem biologisch aktivitätsarmen Monat März an beiden Messorten kaum unterschiedliche Tagesgänge und CO₂-Mischungsverhältnisse auftreten. Die Monatsmittel der CO₂-Mischungsverhältnisse sowie die Standardabweichungen waren an beiden Stationen gleich, nämlich 376 ppm, bzw. 3 ppm. Sowohl am Feldberg als auch am Schauinsland wurden im März im Wesentlichen die Verhältnisse der freien Atmosphäre wiedergespiegelt. Beide Stationen befinden sich meistens oberhalb der Schicht, die in stärkerem Maße anthropogen und biogen beeinflusst ist. Nur wenn sich die unterhalb des Gipfelniveaus befindenden Inversionen aufgelöst werden, gelangt gegen Mittag CO₂-haltigere Luft bis in diese Höhen und bewirkt einen vorübergehenden Anstieg. Ein Beispiel ist in Abbildung 61 dargestellt. Am 13. März scheint die Sonne sowohl in Freiburg als auch auf dem Feldberg ungefähr 10 Stunden. Die Luft erwärmt sich im Laufe des Tages im

Oberrheingraben bis nahe 15 °C. Der Wind weht am Schauinsland den ganzen Tag über aus Nordwest mit 1 bis 3 m/s. Bis 11 Uhr MEZ registrieren die beiden Messgeräte am Schauinsland (Ultramat und Gaschromatograph) sowie das Messgerät (Ultramat) auf dem Feldberg nahezu identische Werte. Nach 11 Uhr MEZ setzt zunächst am Schauinsland ein markanter Anstieg ein. Eineinhalb Stunden später nimmt auch auf dem Feldberg das CO₂-Mischungsverhältnis zwar nicht so deutliche wie am Schauinsland aber immerhin noch merklich zu.

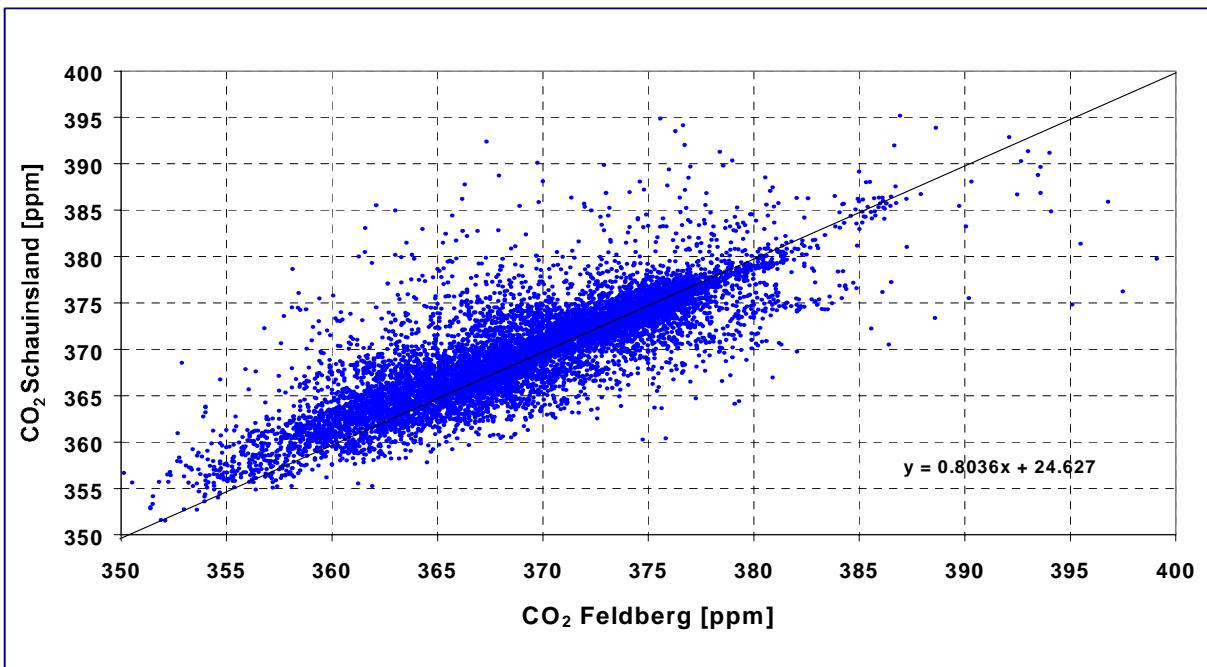


Abbildung 59: Korrelation der Kohlendioxid-Halbstundenwerte von Schauinsland und Feldberg für den Zeitraum März bis November 2000, Korrelationskoeffizient= 0.84

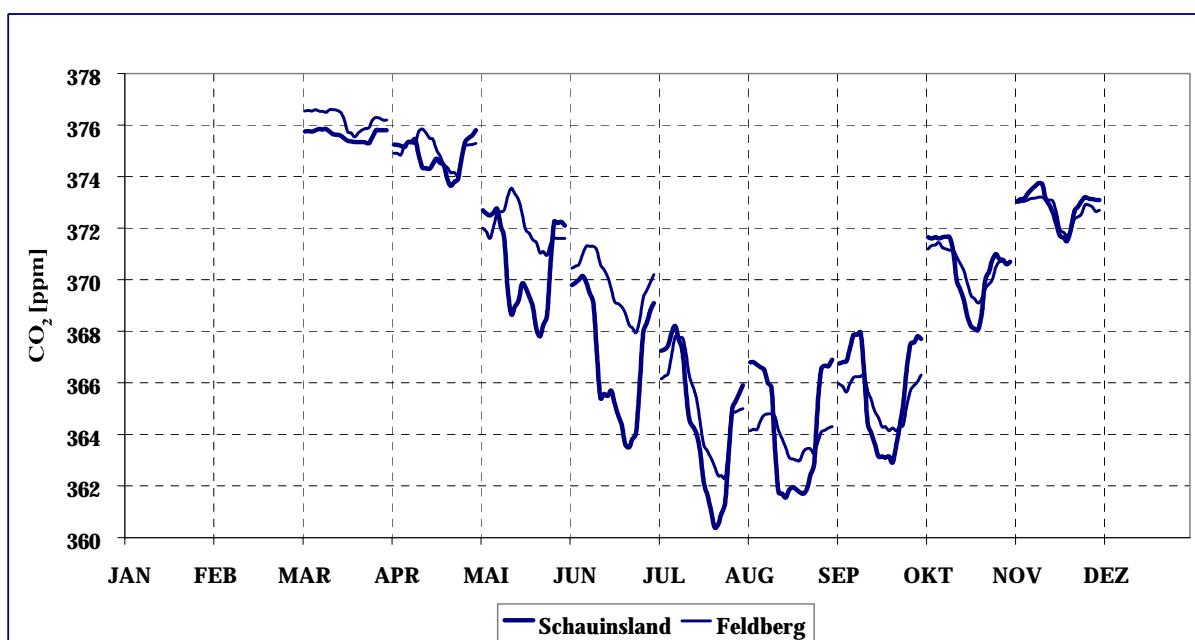


Abbildung 60: Mittlere monatliche Tagesgänge der Kohlendioxid-Konzentration für den Schauinsland und den Feldberg von März bis November 2000

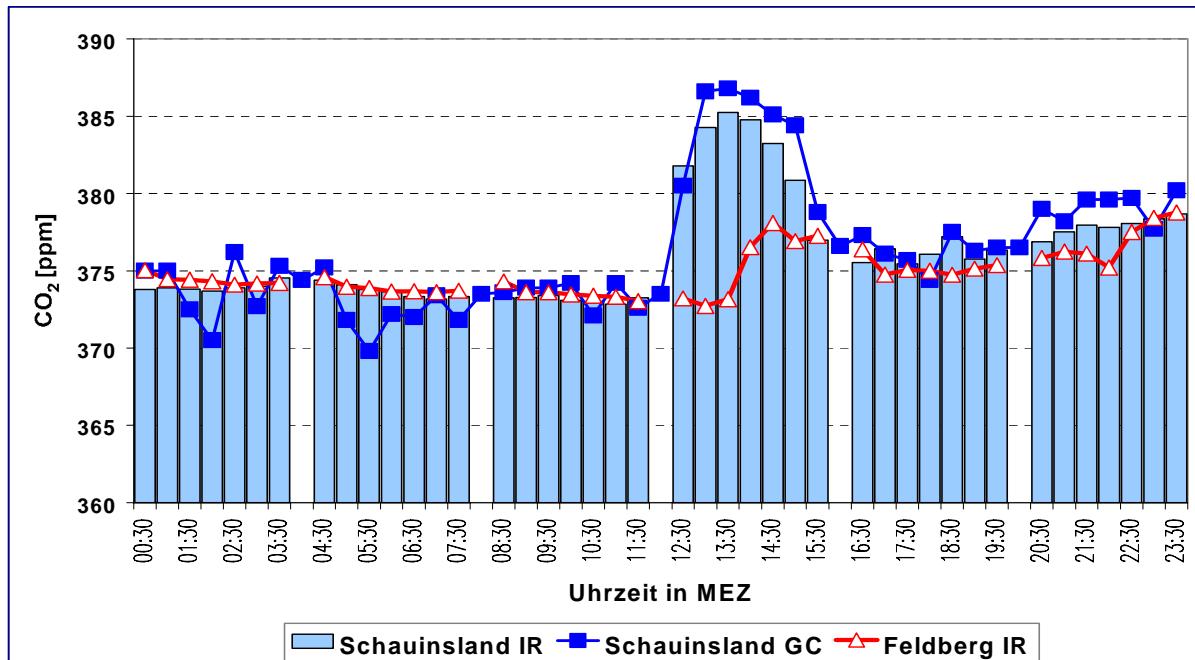


Abbildung 61: Tagesgang der Kohlendioxid-Konzentrationen auf dem Schauinsland und dem Feldberg am 13. März 2000

Mit dem Einsetzen der vegetativen Wachstumsphase kommen zu den in Abhängigkeit von der Wetterlage sich täglich abspielenden meteorologischen Prozesse noch biologische hinzu. Beide gestalten je nach Stärke ihres Einflusses im gegenseitigen Wechselspiel den CO₂-Tagesgang an den Stationen. Am Schauinsland wird im April (Abbildung 60) in den Mittagsstunden der tagszeitlich abnehmende Trend des Mischungsverhältnisses erstmals von einem kurzzeitigen Anstieg („Mittagseffekt“) unterbrochen. Ansonsten gibt es in diesem Monat zwischen beiden Stationen keine deutlichen Unterschiede. Beide Monatsmittel betragen 375 ppm, die Standardabweichungen 3 ppm. Der Grund für das Auftreten des „Mittagseffekts“ am Schauinsland dürfte in erster Linie auf den Durchbruch der unterhalb des Stationsniveaus gelegenen Inversionsschicht zurückzuführen sein, denn die sich im Oberrheingraben angesammelte CO₂-haltigere Luft erreicht mit dem in Gang kommenden Vertikalaustausch Schauinsland. Die von nun an sich weiter vermischtende und aufsteigende Luft erreicht schließlich den Feldberg, wobei beide Stationen von diesem Zeitpunkt ab den nahezu gleichen Kurvenverlauf für den Rest des Tages aufweisen. Die am Schauinsland in den Frühstunden eher und stärker einsetzende CO₂-Abnahme deutet bereits darauf hin, dass der Einfluss der Assimilation der Bäume, Sträucher und Pflanzen schon zur Geltung kommt.

Zunehmend bedeutungsvoller wird die biologische Aktivität im Mai. Die assimilierenden Pflanzen unterhalb vom Schauinsland und in unmittelbarer Umgebung entziehen der Luft derart viel CO₂, dass sich gegenüber dem Feldberg ein tagsüber nicht mehr auszugleichender Unterschied ergibt. Der „Mittagseffekt“ tritt als deutlich sichtbares meteorologisches Phänomen in Erscheinung. Um die Mittagszeit tritt außerdem der pflanzenphysiologisch bedingte Effekt auf, wenn aufgrund zunehmender Sonneneinstrahlung (photonastisch) und abnehmender Luftfeuchtigkeit (hydronastisch) der Regulierungsmechanismus der Pflanzen durch das Schließen der Stomata in Aktion tritt. Sein Beitrag zum „Mittagseffekt“ dürfte

aber nur bescheiden sein. Das Wechselspiel biologischer und atmophärischer Vorgänge ergab im Mai nur im Verlauf des Tagesganges deutliche Unterschiede. Die Monatsmittel (Schauinsland 371 ppm, Feldberg 372 ppm) und Standardabweichungen (Schauinsland 5 ppm, Feldberg 4 ppm) unterschieden sich kaum. Die Fotosynthese der Pflanzen macht sich im Mai erstmals als CO₂-Senke, allerdings geringfügig bemerkbar.

Im Juni wird bei weiter zunehmender biologischer Aktivität der Abstand zwischen beiden Kurven am größten. Der Kurvenverlauf ändert sich dagegen kaum. Der „Mittagseffekt“ bleibt bestehen. Das Monatsmittel ergibt am Schauinsland 367 ppm, auf dem Feldberg 370 ppm. Die biologische Aktivität tritt im Juni gegenüber dem Vormonat noch deutlicher als CO₂-Senke in Erscheinung. Die Standardabweichungen (5 ppm) unterscheiden sich nicht.

Im Juli, der durch rege Tiefdrucktätigkeit und Niederschlagsereignisse gekennzeichnet war, sind beide Stationen gleich stark von der Witterung beeinflusst, so dass kaum Unterschiede bezüglich des Mischungsverhältnisses und des Tagesganges zwischen beiden Stationen vorkommen. Der „Mittagseffekt“ konnte sich bei diesem Witterungsverlauf nicht richtig herausbilden und ist daher am Schauinsland nur schwach angedeutet. Die Monatsmittel waren an beiden Stationen gleich (365 ppm). Die Standardabweichungen betrugen am Schauinsland 5 ppm, auf dem Feldberg 4 ppm. Wie aus der Abbildung 60 zu erkennen ist, traten die niedrigsten Werte des mittleren monatlichen Tagesganges im Juli auf, und zwar an beiden Stationen in den Nachmittagsstunden (Schauinsland ca. 360 ppm, Feldberg 362 ppm).

Im August und September lassen die biologische Aktivität und vertikalen Durchmischungsvorgänge allmählich nach. Die Amplituden des Tagesganges sowie die Abstände der Kurven werden geringer. Die Monatsmittel unterscheiden sich im August nicht (beide Stationen 364 ppm). Es sind die niedrigsten Monatsmittel im Verlaufe des Jahres. Die Standardabweichungen ergeben im August auf dem Schauinsland 5 ppm, auf dem Feldberg 3 ppm. Im September betragen die Monatsmittel auf dem Schauinsland 366 ppm, auf dem Feldberg 365 ppm bei einer Standardabweichung von 6 ppm (Schauinsland) und 5 ppm (Feldberg). Der „Mittagseffekt“ ist in beiden Monaten im Tagesgang noch vorhanden.

Im Oktober kommt es weitestgehend wieder zu einem Angleichen des Kurvenverlaufs und des Mischungsverhältnisses. Die Monatsmittel betragen an beiden Stationen 370 ppm und die Standardabweichungen 4 ppm am Schauinsland bzw. 3 ppm auf dem Feldberg. Der „Mittagseffekt“ ist verschwunden, denn die thermisch bedingte Vertikaldurchmischung der Luft lässt deutlich nach und die Vegetation tritt allmählich in die Phase der Winterruhe ein.

Am 14. November wurde die Messkampagne auf dem Feldberg beendet. Die noch auswertbaren Daten lassen nahezu übereinstimmende Verhältnisse in beiden Höhenniveaus erkennen.

3.3.3 Fazit

1. Eine anthropogen und biogen bedingte Beeinflussung durch lokale/regionale Quellen/Senken liegt an beiden Stationen vor.
2. Die Art der Beeinflussung geschieht aufgrund des Wechselspiels meteorologischer und biologischer Vorgänge.
3. Die Beeinflussung erfolgt im stärkeren Maße auf dem Schauinsland

Die Tagesverläufe des CO₂-Mischungsverhältnisses ergeben sich im Sommerhalbjahr aus dem Wechselspiel biogener Aktivität (Assimilation/Respiration) und vertikaler Durchmischung der Atmosphäre: In den Nachtstunden befinden sich beide Stationen meistens oberhalb der Mischungsschicht, und demzufolge sind nur geringe Unterschiede zwischen beiden Kurven vorhanden. In der Regel werden nachts am Schauinsland geringfügig höhere Mischungsverhältnisse registriert, was auf die Respiration der Pflanzen und die größere Nähe der Station zu den bodennahen Luftschichten zurückzuführen ist. Dass größere Unterschiede aufgrund einer zwischen beiden Stationen befindlichen freien Inversion auftreten, kommt selten vor. Mit der einsetzenden Assimilation nach Sonnenaufgang wird im Verlaufe des Vormittags vor allem am Schauinsland der Luft CO₂ entzogen, was zu einem Auseinanderdriften der beiden Tagesgänge führt. Um die Mittagszeit kommt bei etwas nachlassender biologischer Aktivität beim vertikalen Durchgang der in Bodennähe CO₂-angereicherten Luft der anthropogene Einfluss vorübergehend zur Geltung. Nachmittags setzt sich dann der Assimilationsprozess nochmals deutlich bis in die Abendstunden fort. Nachts gleichen sich die Kurven wieder an.

Neben dem meteorologisch und biologisch verursachten typischen CO₂-Tagesgang kommt es auch aus den gleichen Gründen zu typisch ausgeprägten Jahresgängen. Die CO₂-Mischungsverhältnisse sind an beiden Stationen im Winterhalbjahr am höchsten und im Sommer am niedrigsten. Dabei weichen die Monatsmittel beider Stationen voneinander am stärksten im Juni ab, allerdings nur um 3 ppm. In der biologisch aktivsten Vegetationsphase kommen die deutlichsten Unterschiede zwischen beiden Stationen zustande, nämlich im Dekadenmittel bis zu 8 ppm (Abbildung 62).

In der Abbildung 63 wird gezeigt, wie an beiden Bergstationen die Tagesgänge verlaufen, und zwar zur Zeit des höchsten Sonnenstandes, als zufällig gleichzeitig auch verbreitet die höchsten Lufttemperaturen des Jahres auftraten, die Sonnenscheindauer Werte von 15 Stunden aufwies und in weiten Teilen Deutschlands eine Ozonepisode herrschte (siehe auch Kapitel 3.2): Die CO₂-Mischungsverhältnisse waren am 20. und 21. in den Nachtstunden annähernd gleich. Nach Sonnenaufgang gingen die CO₂-Werte wegen der biologisch einsetzenden Aktivität (Assimilation) auf dem Schauinsland deutlich zurück. Am 20. lag die Kurve von Schauinsland zeitweise bis zu 10 ppm unter der vom Feldberg und am 21. bis zu 5 ppm. Der „Mittagseffekt“ war am 20. deutlicher ausgeprägt als am Folgetag. Die Tagesgänge vom 20. und 21. bestätigen beispielhaft, dass die Assimilationsprozesse tagsüber am Schauinsland wirksamer als CO₂-Senke in Erscheinung treten als auf dem Feldberg.

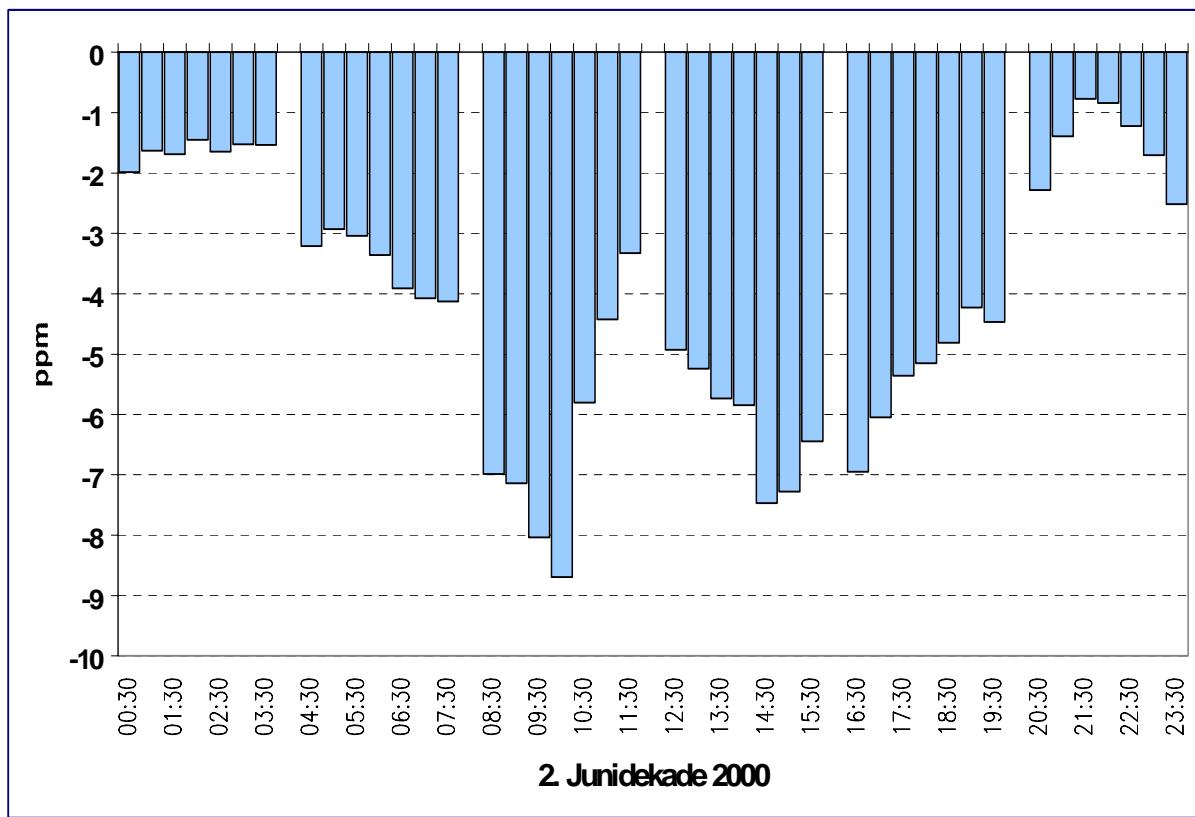


Abbildung 62: Mittlerer Tagesgang der CO_2 -Differenzen zwischen Schauinsland und Feldberg während der 2. Junidekade 2000

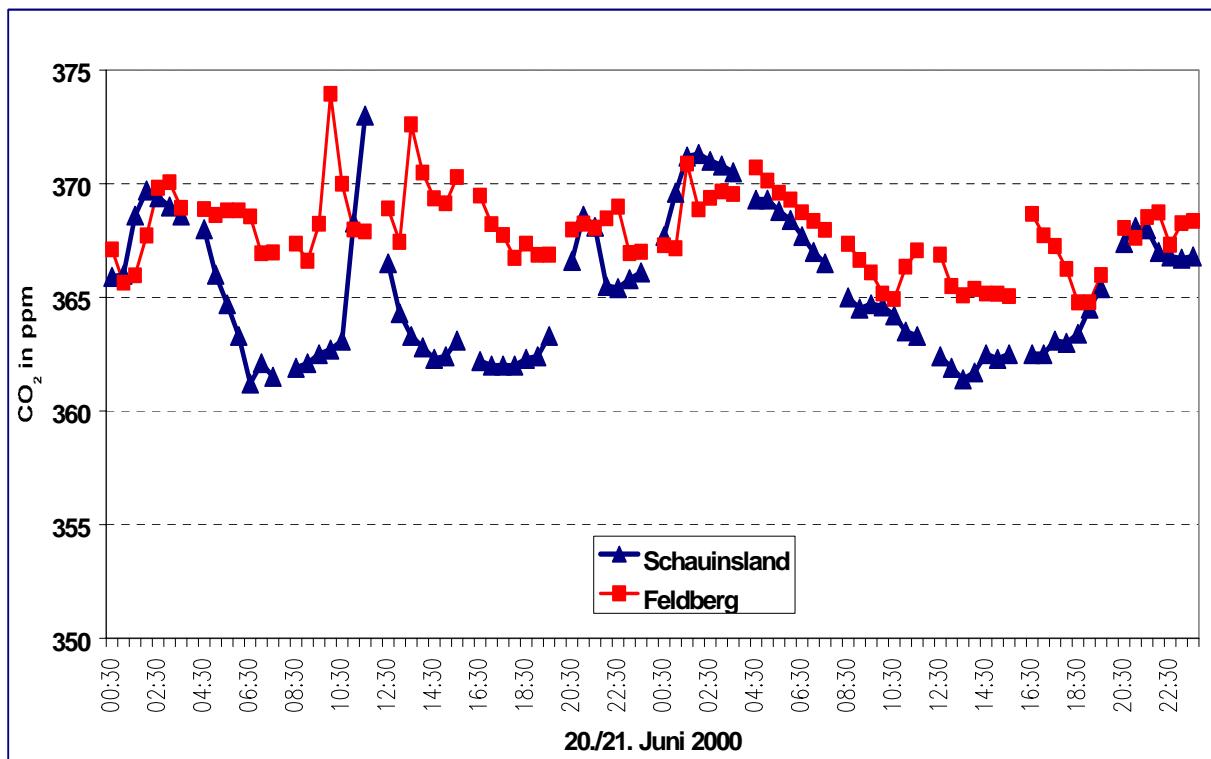


Abbildung 63: Tagesgang der Kohlendioxid-Konzentrationen auf dem Schauinsland und dem Feldberg am 20. und 21. Juni 2000

Mit der Durchführung der Kampagne auf dem Feldberg/Schwarzwald als Vergleichsmessung zum Schauinsland zeigte sich, dass trotz einer Entfernung von 10 km, unterschiedlicher Höhenlage und unterschiedlichen Pflanzenbewuchses beide Messorte im Wesentlichen in gleicher Art und Weise dem Wechselspiel lokaler und regionaler atmosphärischer und biologischer Prozesse ausgesetzt sind. Beide Stationen erfassen mit ihren Messungen das Anfangsglied einer Kette von horizontalen und vertikalen Mischungsprozessen, die sich in verschiedenen zeitlichen und räumlichen Dimensionen vollziehen: Das aus verschiedenen Quellen (anthropogen, biogen, geogen) in die Atmosphäre gelangende CO₂ vermischt sich global aufgrund seiner Verweilzeit von mehreren Jahrzehnten über die verschiedensten Strömungs- und Zirkulationssysteme der Erde. Es beginnt mit der thermisch und dynamisch bedingten Vermischung sofort nach Eintritt in die Atmosphäre. Danach setzt sich die Vermischung über das Einbeziehen in mesoskalige Zirkulationsprozesse (Tiefdruck- und Hochdruckgebiete) in der Vertikalen bis zur oberen Troposphäre und horizontal großräumig mit kontinentalen und maritimen Luftmassen während Tagen und Wochen fort. Neben der zonalen Verfrachtung innerhalb der gemäßigten Breiten finden dabei auch meridionale Luftmassentransporte bis in die polaren und subtropischen Breiten statt. Von dort aus gelangt die Luft im Verlaufe von Monaten und Jahren in die andere Klimazonen auf der Nordhemisphäre und sogar darüber hinweg, um schließlich den globalen Hintergrund zu bilden.

Als generelles Fazit der Vergleichsmessungen lässt sich feststellen, dass der geringe Erkenntniszugewinn bezüglich der großräumigen Verteilung und der Herkunft des CO₂ bei den Messungen auf dem 300m höher gelegenem Feldberg nicht die kostenintensive Errichtung einer weiteren CO₂-Messstation neben der bereits bestehenden UBA-Station Schauinsland rechtfertigt, an der die längsten durchgängigen deutschen CO₂-Messungen (seit 1972) durchgeführt werden.

3.4 Optimierung des „wet-only“-Niederschlags-Messnetzes im Hinblick auf eine resourcenschonende Aufgabenerfüllung

Markus Wallasch

3.4.1 Zusammenfassung

Es wird gezeigt, dass eine Verringerung der Zahl der Messstationen von derzeit 30 auf etwa 20 möglich ist, ohne dass wesentliche Einbußen im Informationsgehalt der Messungen zu befürchten sind.

Es wird eine optimierte Messnetzstruktur vorgestellt, die trotz der geringeren Stationszahl zu einer verbesserten räumlichen Abdeckung Deutschlands führt.

Mit dem im Rahmen dieser Untersuchung verwendeten Konzept der „reduzierten Konzentration“ ist es möglich, eine zuverlässige flächendeckende Interpolation der Messwerte durchzuführen. Durch Kombination mit entsprechenden Daten der Niederschlagsmenge (DWD) können räumlich hochauflöste Karten der nassen Deposition erstellt werden, deren Aussagekraft deutlich über derjenigen bisher üblicher Darstellungen der Depositsdaten liegt.

3.4.2 Einleitung

3.4.2.1 Anlass

Der Anlass für die Umgestaltung des wet-only-Messnetzes war zunächst organisatorischer Art dahingehend, dass eine Neuaußschreibung der im Auftrag durchgeföhrten Messungen erforderlich war.

Aus wissenschaftlicher Sicht sind die folgende Punkte Anlass für eine Optimierung des wet-only-Messnetzes:

- Die derzeitige Stationsanzahl (#30) erscheint zu hoch.
- Die Stationsverteilung ist geographisch inhomogen.
- Die Emissions- und Immissionssituation in Deutschland hat sich seit der Einrichtung des wet-only-Messnetzes erheblich verändert, wodurch sowohl eine Anpassung der Aufgaben als auch eine Anpassung der Struktur motiviert wird.

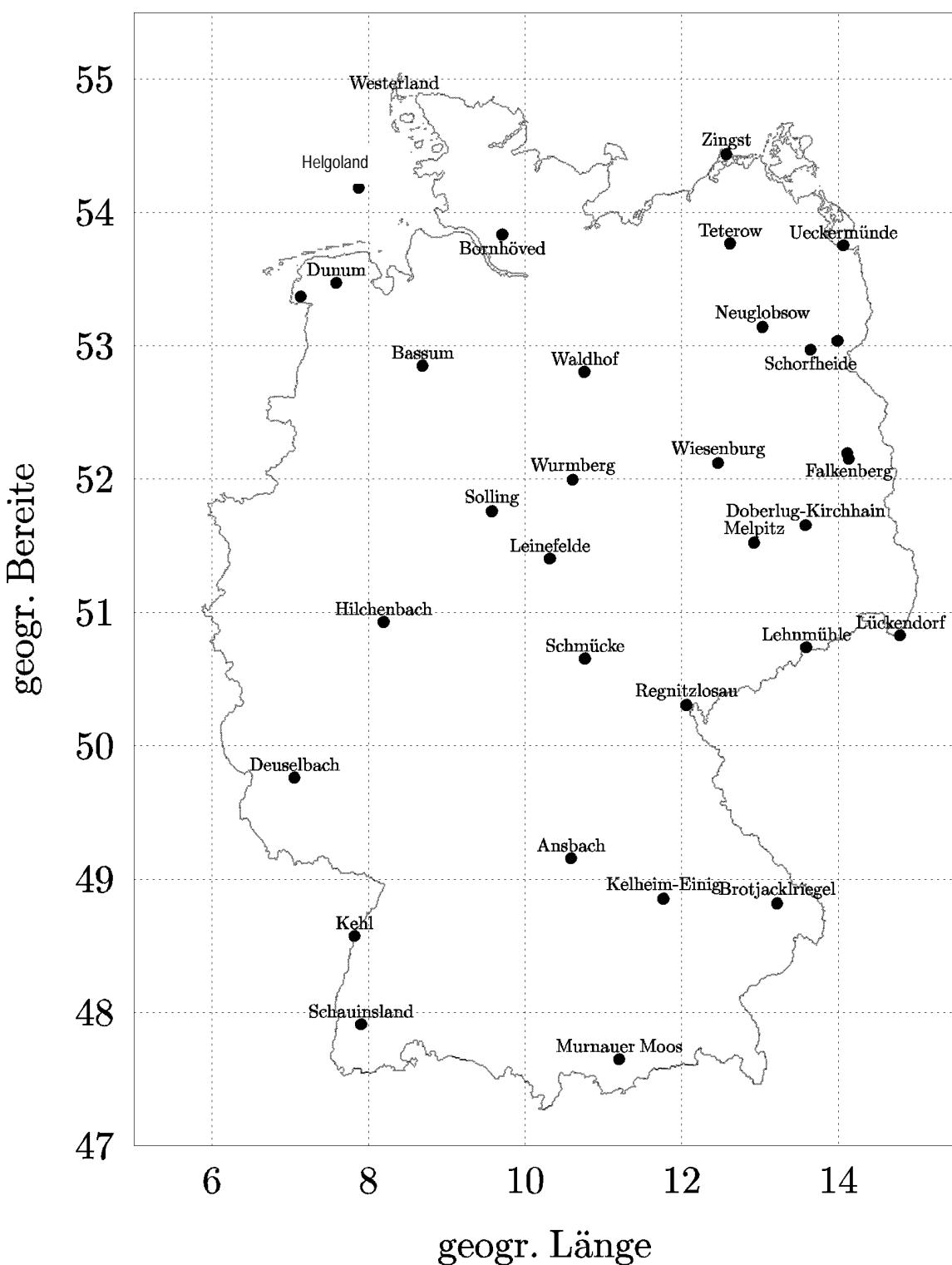


Abbildung 64: Wet-only-Messstellen, Stand 1999

3.4.2.2 Aufgabe der Niederschlagsmessungen im Rahmen des UBA-Luftmessnetzes

Als primäre Aufgabe des „wet-only“-Messnetzes wird festgelegt:

Die Ermittlung des großräumigen (deutschlandweiten) Verteilungsmusters der nassen Deposition von Schwefel und Stickstoff mit dem Ziel der Feststellung der großräumigen Belastung und der Verfolgung der Wirksamkeit von belastungs-mindernden Maßnahmen.

Es wird also die (großräumige) Interpolation von Punktmessungen in die Fläche angestrebt. Eine Betrachtung kleinskaliger, lokaler Effekte oder die unmittelbare Bestimmung der Deposition auf ausgewählten Flächen wird somit bewusst nicht als Kernaufgabe betrachtet.

3.4.2.3 Ziel der Optimierung

Ziel der Optimierung der Messnetzstruktur ist die Einsparung von Ressourcen bei verbesserter (oder zumindest gleichbleibenden) Qualität der Aufgabenerfüllung. Diese Ziel soll erreicht werden durch:

- Verringerung der Stationszahl.
- Herbeiführen einer räumlich homogenen Stationsverteilung

3.4.2.4 Kriterium der Optimalität

Optimal sind eine Stationsanzahl und Stationsverteilung, die geeignet sind, mit dem geringst möglichen Aufwand das großräumige (deutschlandweite) Verteilungsmuster der nassen Depositon mit der angestrebten Genauigkeit und nötigen Sicherheit zu erfassen.

Gegebenenfalls sind jedoch weitere organisatorische Randbedingungen zu berücksichtigen, die zu Abweichungen von der optimalen Struktur führen können.

3.4.3 Methode

3.4.3.1 Ablauf

Der methodische Ablauf der Optimierung lässt sich in zwei wesentliche Schritte unterteilen:

- untersuchen, ob die bisher vorliegenden Messungen ein großräumiges Verteilungsmuster erkennen lassen.
- falls ja, feststellen, welche Stationszahl und welche Stationsverteilung zur Wiedergabe dieses Verteilungsmusters erforderlich sind.

3.4.3.2 Grundlagen

- Die nasse Deposition D ist das Produkt aus der Niederschlagsmenge G und der Ionen-Konzentration c : $D = c \cdot G$
- Die Variabilität der Deposition wird weitgehend durch die Variabilität der Niederschlagsmenge verursacht. Die Niederschlagsmenge variiert räumlich sehr stark (auf einer Skala von 0.1 - 1 km). Die Ursache hierfür sind intensive Wechselwirkungen zwischen meteorologischen und orographischen Faktoren. Daraus folgt:
 - Es ist eine sehr hohe Messstationszahl für die Niederschlagsmenge erforderlich (einige 1000 für Deutschland, z.B. DWD: ca. 4000 Niederschlagsmessstellen).
 - Der Repräsentanzradius einer Depositionsmessung ist sehr gering (einige 100 m bis einige km).
 - Depositionsmessungen sind nicht unmittelbar in die Fläche interpolierbar.
- Die Variabilität der Ionen-Konzentrationen im Niederschlag wird ebenfalls zu einem erheblichen Anteil durch die Niederschlagsmenge bewirkt: höhere Niederschlagsmengen führen zu niedrigeren Konzentrationen. Daher sollten Konzentrationen ebenfalls nicht unmittelbar in die Fläche interpoliert werden.
- Die Niederschlagsmengenabhängigkeit der Konzentrationen gehorcht jedoch einem empirisch gut gesicherten Gesetz:

$$c/c_0 = (G/G_0)^a$$

$$a = -0.35$$

c: Konzentration

G: Niederschlagsmenge

G_0 : frei wählbarer Referenzwert der Niederschlagsmenge

c_0 : Konzentration bei G_0

Damit kann eine „reduzierte Konzentration“ $c^* = c \cdot (G_0/G)^a$ bestimmt werden. Diese weist dann keine Niederschlagsmengenabhängigkeit mehr auf. Die räumliche Variabilität der reduzierten Konzentration fällt daher wesentlich geringer aus als die der Konzentration bzw. der Deposition und kann daher großräumig interpretiert werden. Daraus folgt:

- Die maßgebliche Größe bei der Betrachtung der räumlichen Verteilung Niederschlagsinhaltsstoffe ist die reduzierte Konzentration.
- Die folgenden Untersuchungen zur Optimierung der Depositionsmessnetzstruktur werden daher anhand der Jahreswerte der reduzierten Konzentrationen durchgeführt. Hierbei wird für G_0 eine Jahresniederschlagsmenge von 700 mm zugrunde gelegt. Es werden exemplarisch die Ergebnisse für das Jahr 1998 gezeigt. Die Jahre 1997 und 1999 ergeben sehr gut damit übereinstimmende Ergebnisse.

3.4.4 Ergebnisse

3.4.4.1 Betrachtung der derzeitigen Stationsverteilung

Die Stationsverteilung ist stark nord-ost-lastig. Insbesondere der mittlere Westen Deutschlands wird schlecht abgedeckt (Abbildung 64).

3.4.4.2 Betrachtung der räumlichen Verteilung der reduzierten Konzentrationen von Sulfat und Gesamtstickstoff

- Die Unterschiede zwischen den einzelnen Messstationen sind vergleichsweise gering (niedrigster Wert ca. 50% des höchsten Wertes; relative Standardabweichung des Mittelwertes ca. 30%). Die Verteilung ist also vergleichsweise „schmal“.
- Die räumliche Verteilung der reduzierten Konzentrationen für Sulfat (seesalzkorrigiert) und Gesamtstickstoff (= Nitrat + Ammonium) zeigt ein klar erkennbares und einheitliches Muster (Abbildung 65 und Abbildung 66):
 - Vergleichsweise niedrige Werte im Süden Deutschlands (südlich von ca. 50° N).
 - Höhere Werte im mittleren Teil (ca. 50° N bis ca. 52.5° N). Besonders hohe Werte treten in dieser Region im Westen sowie bei Sulfat auch im Osten (Erzgebirge) auf.
 - niedrigere Werte im Norden (nördlich von 52.5° N) .
- In Anlehnung an diese Beobachtung wird die Fläche Deutschlands in 3 Hauptregionen unterteilt:
 - Region Nord: nördlich von 52.5° N.
 - Region Mitte: zwischen 50° N und 52.5° N.
 - Region Süd: südlich von 50° N.

Die Regionen Nord und Süd werden dann jeweils in zwei Sektoren (West und Ost), die Region Mitte in drei Sektoren (West, Mitte, Ost) unterteilt. Es ergeben sich so sieben annähernd flächengleiche Sektoren, die dem Konzentrationsmuster angepasst sind.

- Für jeden Sektor werden nun Mittelwerte und Standardabweichungen für Sulfat bzw. Gesamtstickstoff mit den jeweils in den Sektoren liegenden Messstationen berechnet. Dazu werden zunächst alle Stationen herangezogen (Abbildung 67). Anschließend wird zur Untersuchung des Einflusses einer Verringerung der Stationszahl ein zahlenmäßig reduzierter Stationssatz verwendet (Abbildung 68). Als Kriterien für die Stationsauswahl werden zugrundegelegt:
 - Es sollen pro Sektor zwei Stationen verwendet werden.
 - Unter den ausgewählten Stationen sollen auf jeden Fall die personell besetzten Stationen sein. (Westerland, Zingst, Waldhof, Neuglobsow, Deuselbach, Schmücke, Zingst, Brotjacklriegel).
 - Abweichungen von diesen Kriterien ergeben sich im Sektor „Mitte-West“, da in diesem Sektor nur eine Station zur Verfügung steht, sowie im Sektor „Mitte-Ost“ wo im Gebiet des Erzgebirges eine zusätzliche Station berücksichtigt wird, um die dortigen hohen Sulfatwerte geeignet wiedergeben zu können.
 - Der Vergleich der Ergebnisse für die beiden Stationssätze ist in Abbildung 69 und Abbildung 70 dargestellt. Man erkennt eine hervorragenden Übereinstimmung sowohl der Mittelwerte als auch der Standardabweichungen zwischen den beiden Stationssätzen. Damit ist gezeigt, dass eine Verringerung der Stationszahl ohne wesentlichen Informationsverlust möglich ist.

$[N_{\text{ges.}}]^{\star}/(\text{mg/l}), 1998$

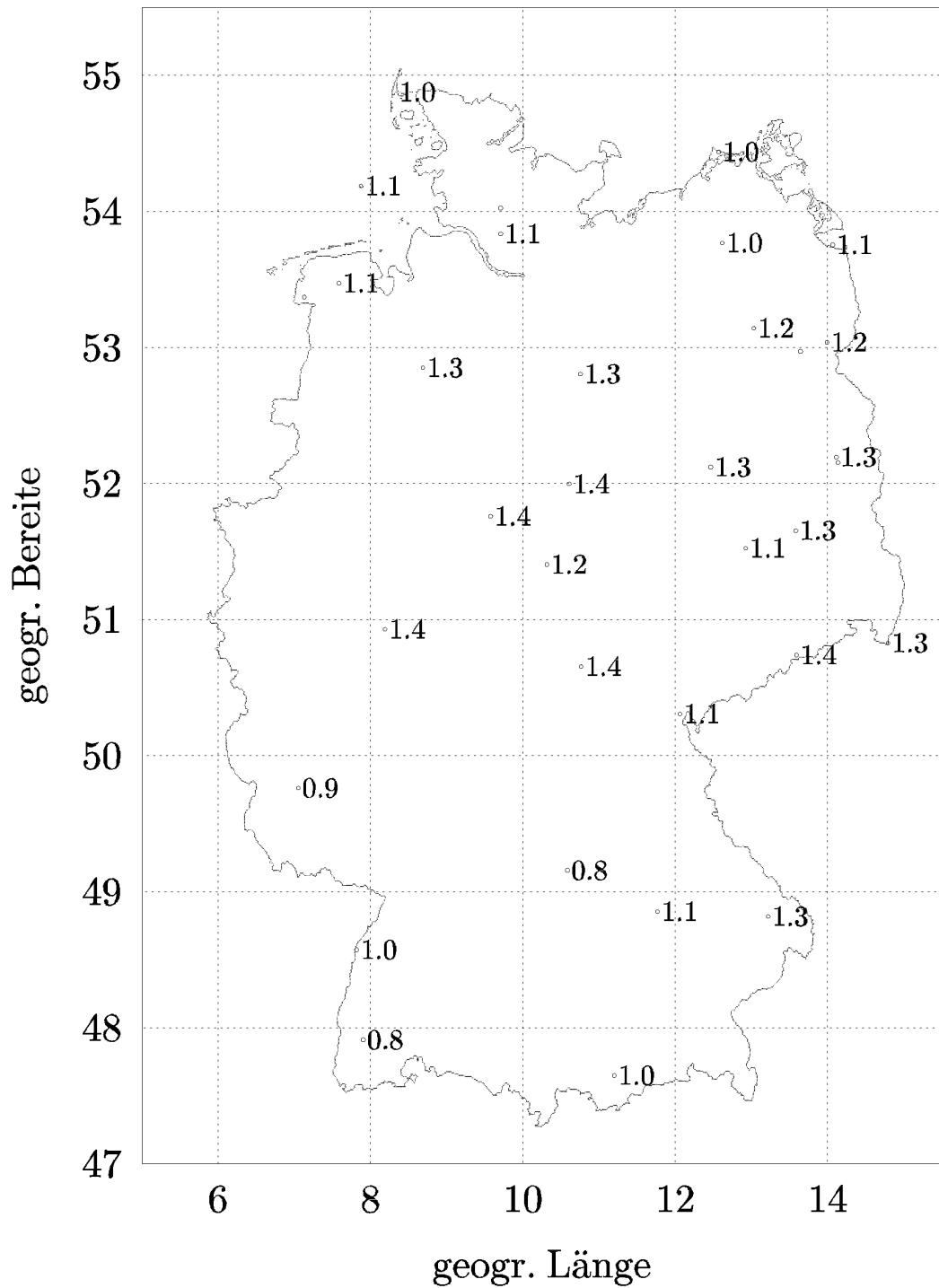


Abbildung 65: Geographische Verteilung der reduzierten Konzentration des Gesamtstickstoffs, 1998 (Bezugsniederschlagsmenge: 700 mm/Jahr)

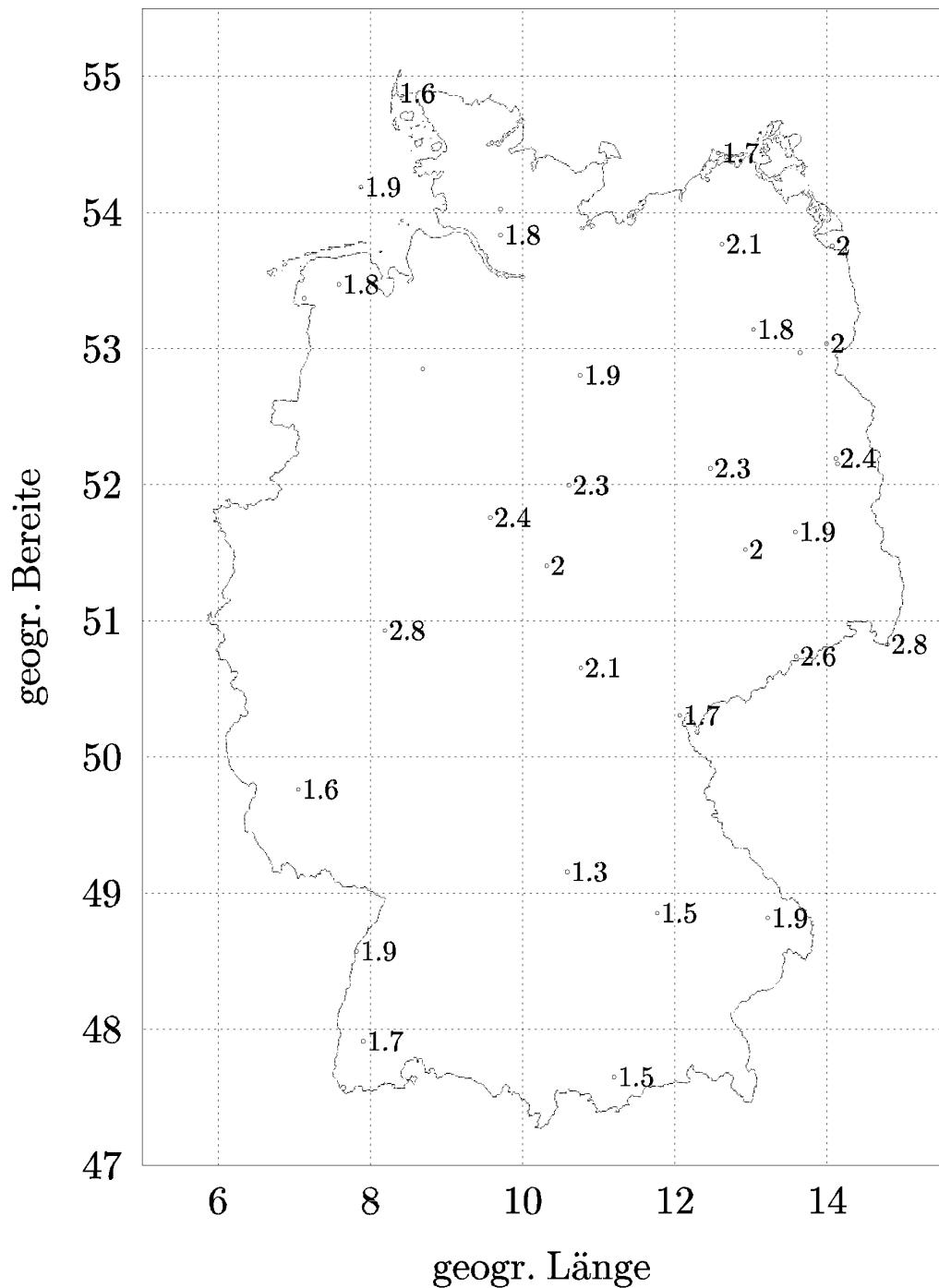
$[\text{NSS-SO}_4^=]^\star / (\text{mg/l}), 1998$ 

Abbildung 66: Geographische Verteilung der reduzierten Konzentration des seesalz-korrigierten Sulfats, 1998 (Bezugsniederschlagsmenge: 700 mm/Jahr)

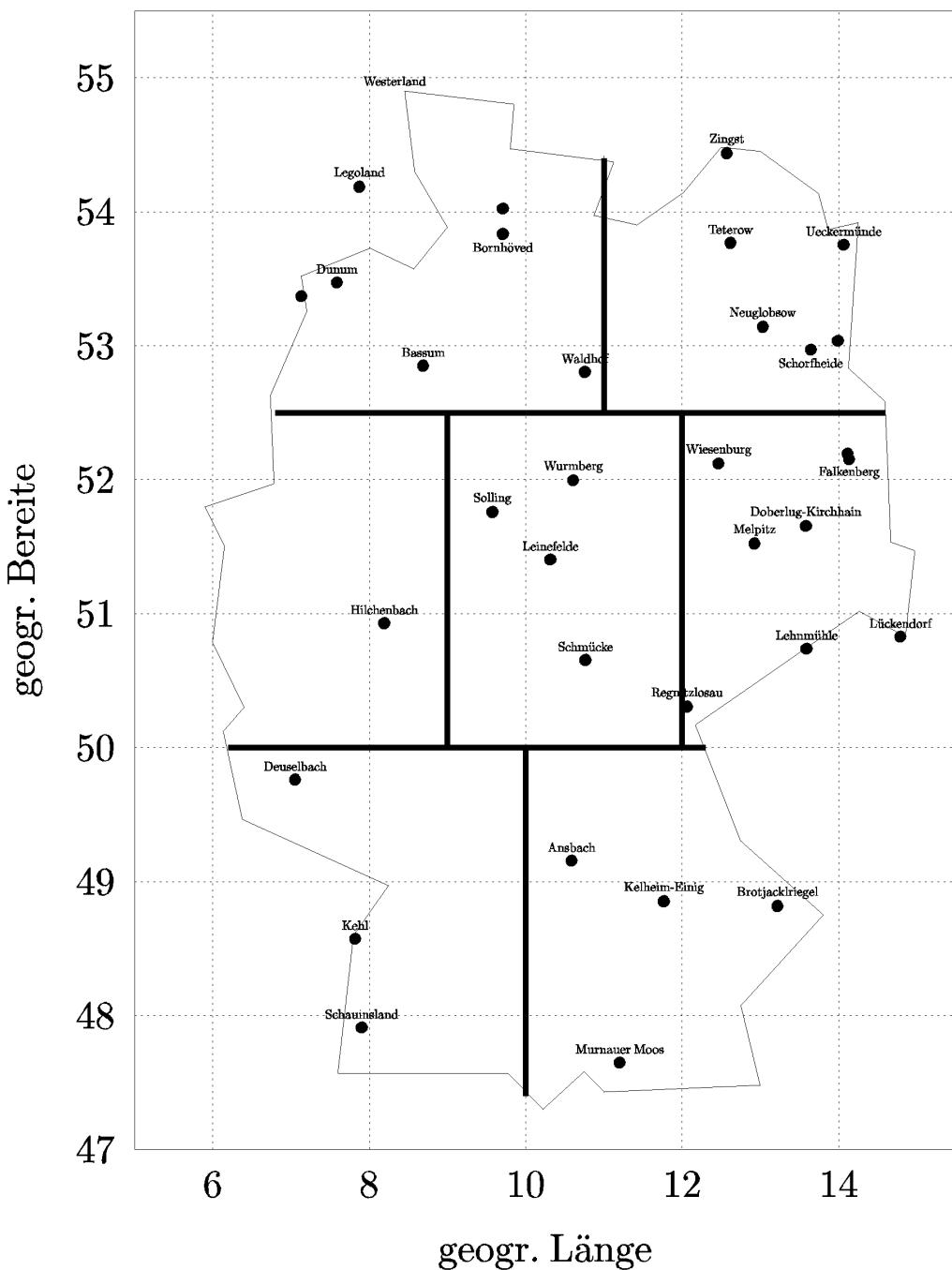


Abbildung 67: Regioneneinteilung mit vollständigem Stationssatz

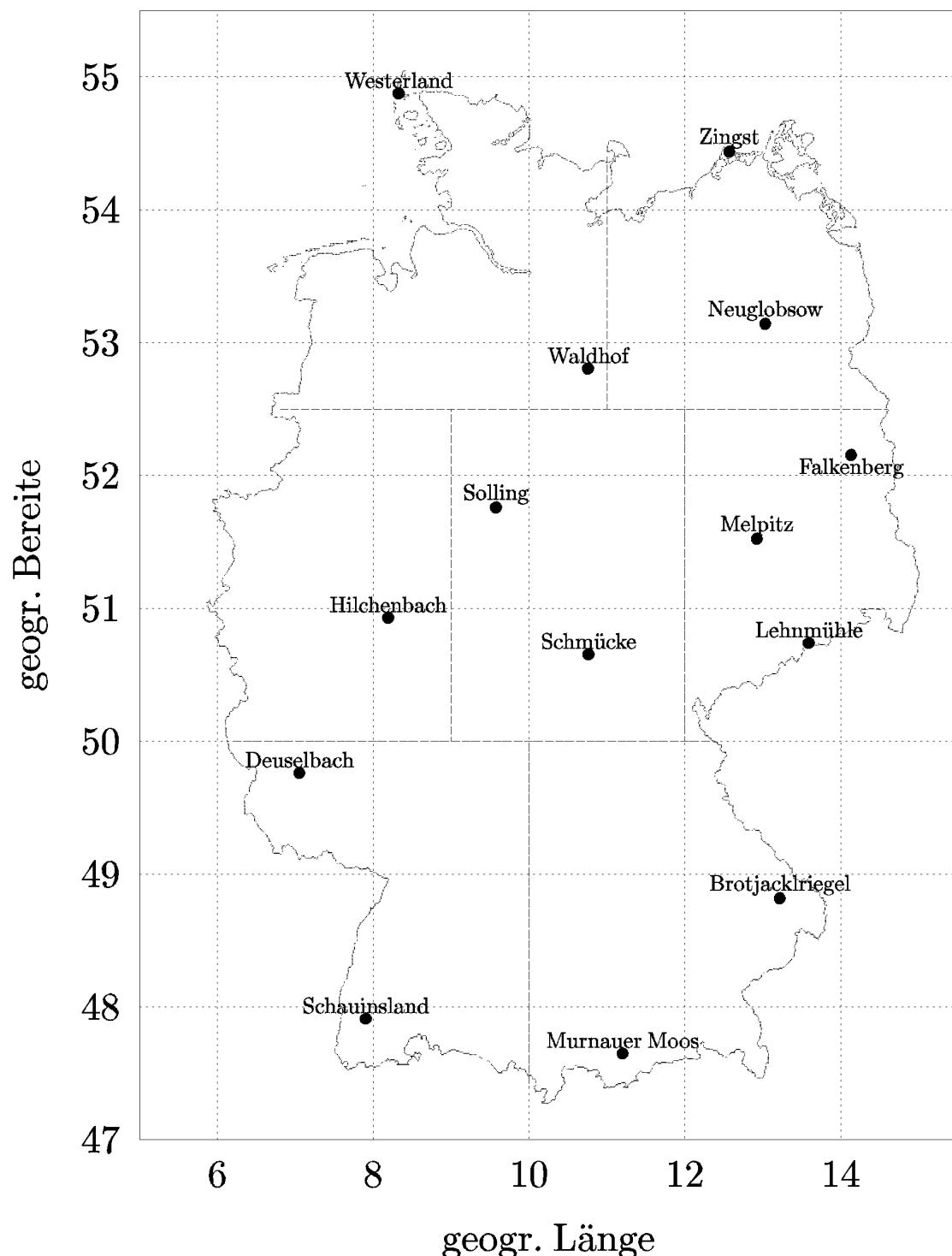


Abbildung 68: Einteilung in Regionen mit reduziertem Stationssatz

$[\text{NSS} - \text{SO}_4^{2-}]^{\star} / \text{mg l}^{-1}$ 1998

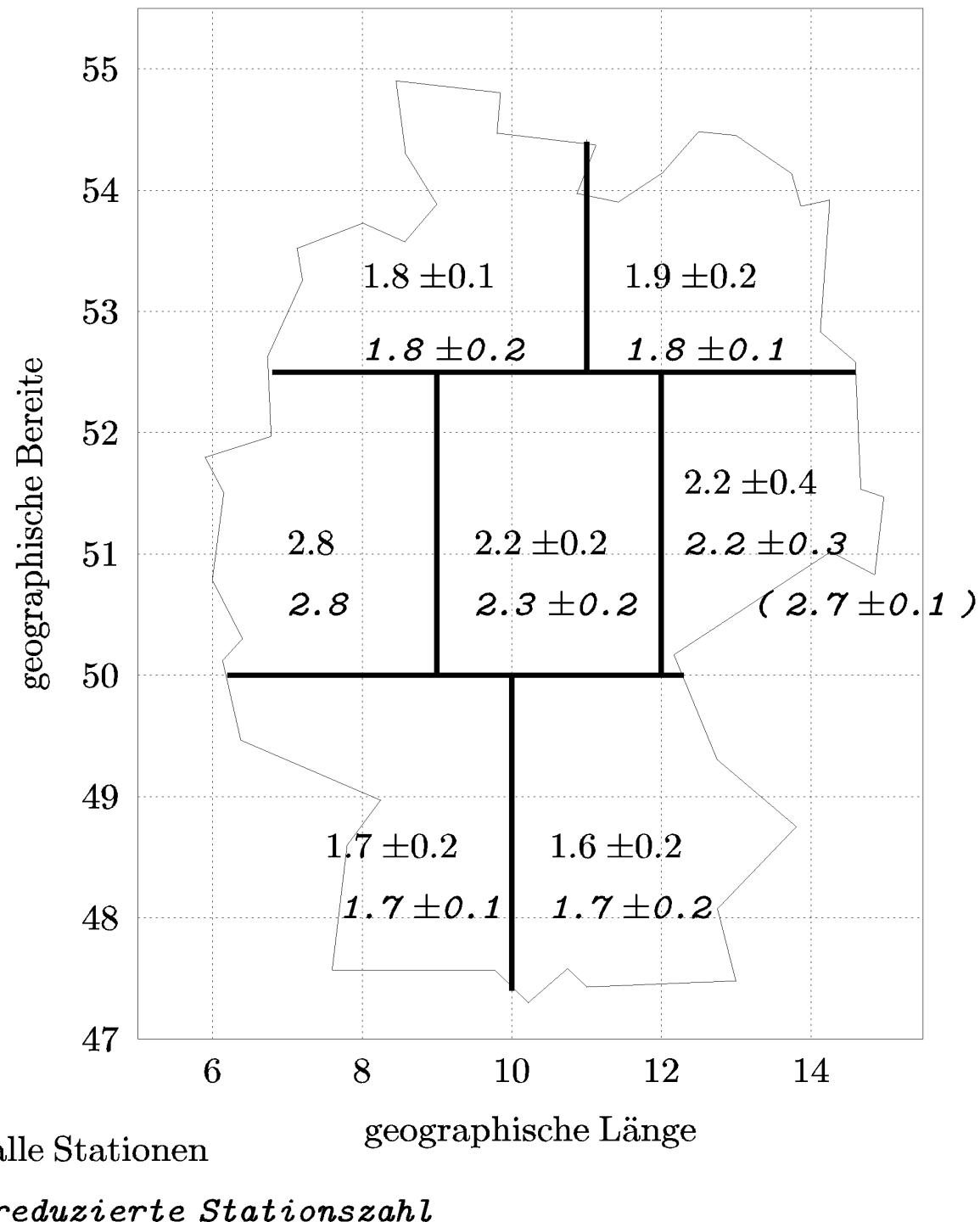


Abbildung 69: Gebietsmittel der reduzierten Konzentration von Sulfat (seesalzkorrigiert) für die vollständige und die reduzierte Stationszahl (Bezugsniederschlagsmenge: 700 mm/Jahr)

$[N_{\text{ges.}}]^{\star} / \text{mg l}^{-1}$ 1998

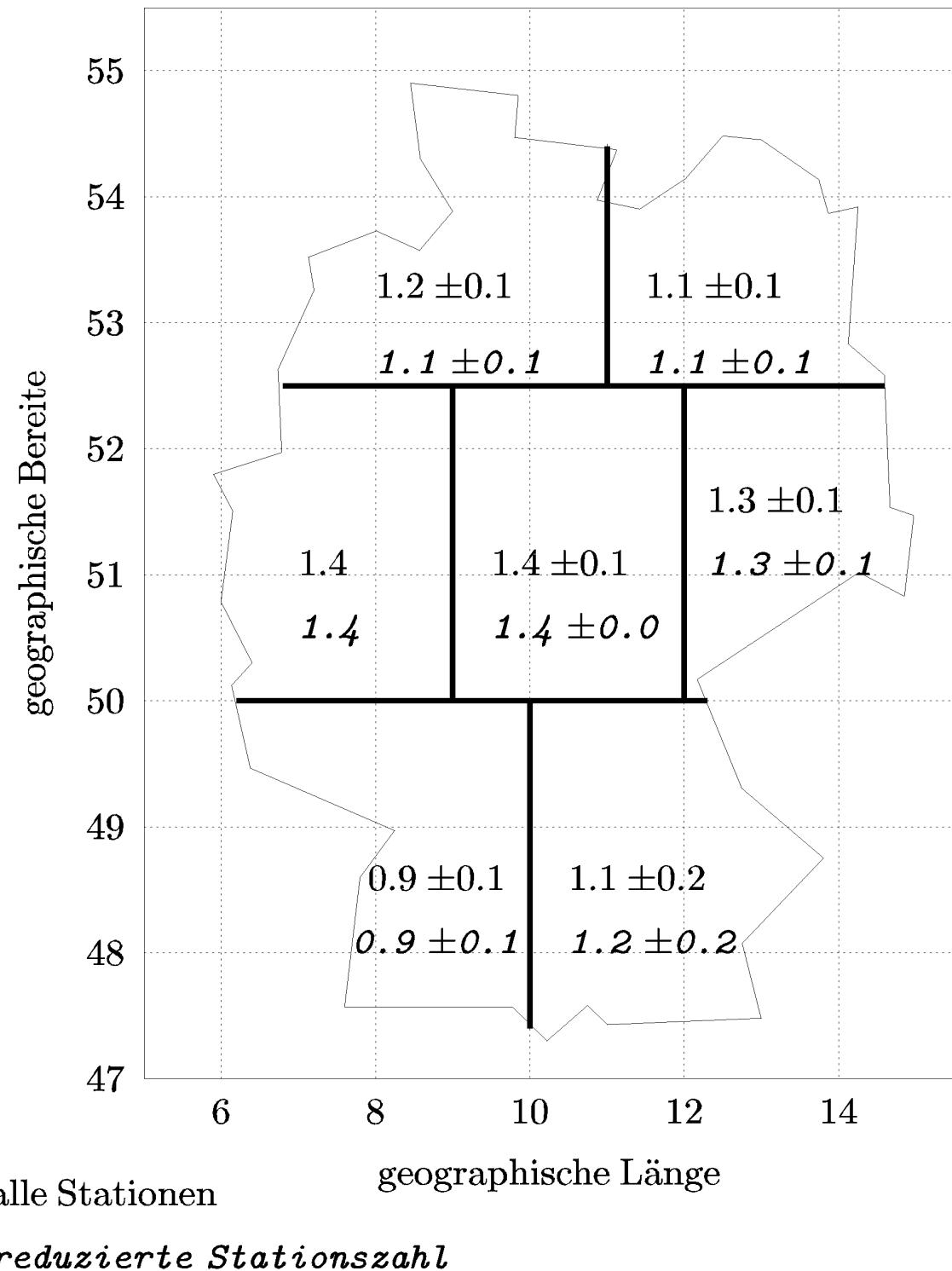


Abbildung 70: Gebietsmittel der reduzierten Konzentration von Gesamtstickstoff für die vollständige und die reduzierte Stationszahl (Bezugsniederschlagsmenge: 700 mm/Jahr)

3.4.5 Die optimierte Messnetzstruktur

Die Sektoreneinteilung und die Stationsauswahl der oben dargelegten Auswertung dient dazu zu zeigen, dass eine Verringerung der Stationszahl grundsätzlich möglich ist. Für den angestrebten Zweck der Flächeninterpolation ist jedoch der reduzierte Stationssatz nur eingeschränkt geeignet, da die Stationsverteilung zu inhomogen ist, um die Übergänge zwischen den Sektoren gut darstellen zu können. Es wird daher im folgenden ein optimierter Stationssatz abgeleitet, der die Erfordernisse zur Erfassung der großräumigen Verteilungsmuster der nassen Deposition in Deutschland erfüllt. Dabei werden gleichzeitig Standortverlagerungen berücksichtigt, die sich aus anderweitig begründeten Veränderungen im Luftpessnetz ergeben (Aufgabe der Standorte Murnauer Moos und Ansbach). In Abbildung 71 ist die „neue“ Stationsverteilung dargestellt. Es ergibt sich eine Verringerung der Stationszahl von derzeit 30 auf 20 Stationen. Im einzelnen ergeben sich folgende Veränderungen:

- **entfallende Stationen (#11) :**

Region Nord:	Bornhöved, Bassum, Teterow, Ueckermünde, Kienhorst
Region Mitte:	Wurmberg, Leinefelde, Wiesenburg, Doberlug-Kirchhain, Lückendorf
Region Süd:	Kehlheim-Einig

- **durch kleinräumige Verlagerung entstehende Stationen (#2) :**

Region Süd:	Öhringen (Ersatzstandort für Ansbach) Raisting (Ersatzstandort für Murnauer Moos)
-------------	--

- **neu hinzukommende Stationen (#1):**

Region Mitte: Station im westlichen Münsterland (Bocholt/Coesfeld)

Begründung der Stationsauswahl:

- Westerland, Waldhof, Zingst, Neuglobsow, Deuselbach, Schmücke, Schauinsland, Brotjacklriegel: Personell besetzte Messstellen, „Kernstationen“ des Luftpessnetzes
- Dunum: Abdeckung des Nordwestens und der Nordsee
- Hilchenbach: (bisher) einzige Station im Bereich Mitte/West
- Westl. Münsterland: Schließen der Abdeckungslücke im Westen (Hauptanströmrichtung, Abgrenzen der „hohen“ Hilchenbacher Werte nach Westen)
- Solling: Abdeckung des Bereichs nördliche Mitte (Wurmberg liegt zu nahe an Waldhof, Leinefelde zu nahe an Schmücke), Zusammenarbeit mit Uni Göttingen

- Melpitz: Zusammenarbeit mit IFT Leipzig (gemeinsames Messfeld)
- Falkenberg: Zusammenarbeit mit DWD (gemeinsames Messfeld)
- Lehnsmühle: Abdeckung der „Sonderregion“ Erzgebirge
- Kehl: POP-Messungen an gleicher Stelle
- Regnitzlosau: Markiert den Übergang Mitte-Süd im Osten.
- Öhringen: Abdecken des mittleren Südens
- Raisting: Abdeckung des Voralpengebiets
- Helgoland: Forderung des Programmes zum Schutz der Nordsee (OsPar)

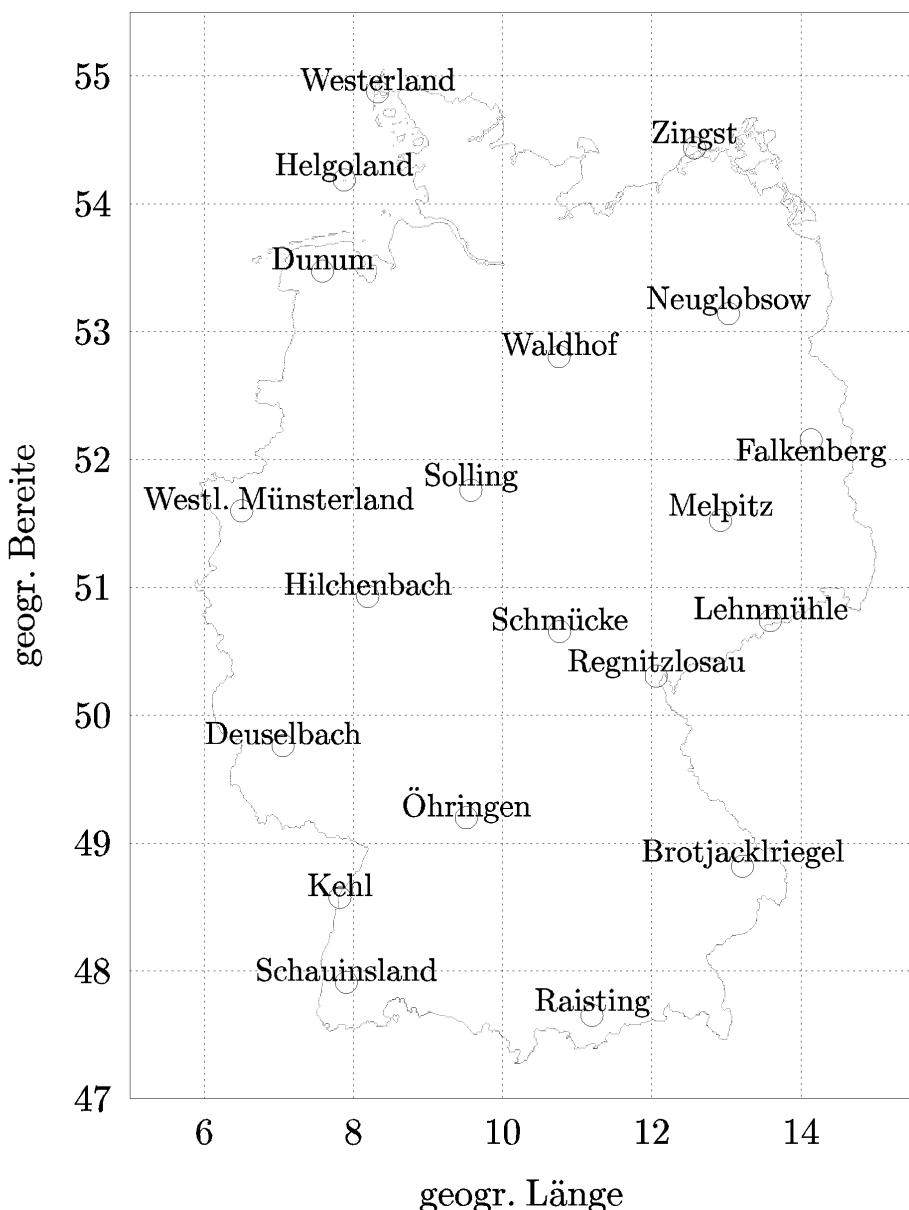


Abbildung 71: Messstellen des neu gestalteten wet-only -Messnetzes

3.4.6 Flächeninterpolation

Die reduzierten Konzentrationen von Sulfat und Gesamtstickstoff zeigen ein „glattes“ Verteilungsmuster. Mit geeigneten Methoden sind sie daher verlässlich interpolierbar. Die Abbildung 72 zeigt die mit einem Kriging-Verfahren auf ein Raster interpolierten Werte der reduzierten Konzentration von Sulfat auf der Grundlage des vollständigen Stationssatzes. Um die Übersichtlichkeit der Darstellung zu erhalten, wurde ein vergleichsweise sehr grobes Raster gewählt. Neben den Werten selbst ist der statistische Prädiktionsfehler angegeben, der durchweg im Bereich von nur etwa 10 bis 15% liegt.

Durch Kombination der auf ein entsprechendes Raster interpolierten reduzierten Konzentration mit den räumlich hochauflösten Niederschlagsfeldern des DWD (1 km x 1 km-Raster) lassen sich entsprechend hoch aufgelöste Depositionsfelder generieren. Die nasse Deposition ergibt sich dabei aus der reduzierten Konzentration und der Niederschlagsmenge gemäß:

$$D = c^* (G/G_0)^a G$$

Die resultierenden Depositionskarten können zur Zeit aus darstellungstechnischen Gründen leider noch nicht vorgestellt werden. Geht man davon aus, dass die Unsicherheit der Werte für Niederschlagsmengen ebenfalls in der Größenordnung von nicht mehr als 10 bis 15 Prozent liegt, so ergibt sich für die Deposition eine Unsicherheit von etwa 20 Prozent, was für eine flächendeckende Darstellung als außerordentlich gut zu bewerten ist. Die so gewonnenen Depositionskarten dürften somit von erheblichem Wert für diejenigen Arbeitsgebiete sein, bei denen die nasse Deposition von Stickstoff- und Schwefelkomponenten eine Rolle spielt, wie z.B. Boden- und Gewässerökologie, Agrar- und Forstwissenschaft, Hydrologie usw.

Wir danken Frau Andrea Kreis und Herrn Volker Vent-Schmidt vom Deutschen Wetterdienst für die unbürokratische Überlassung von Niederschlagsdaten.

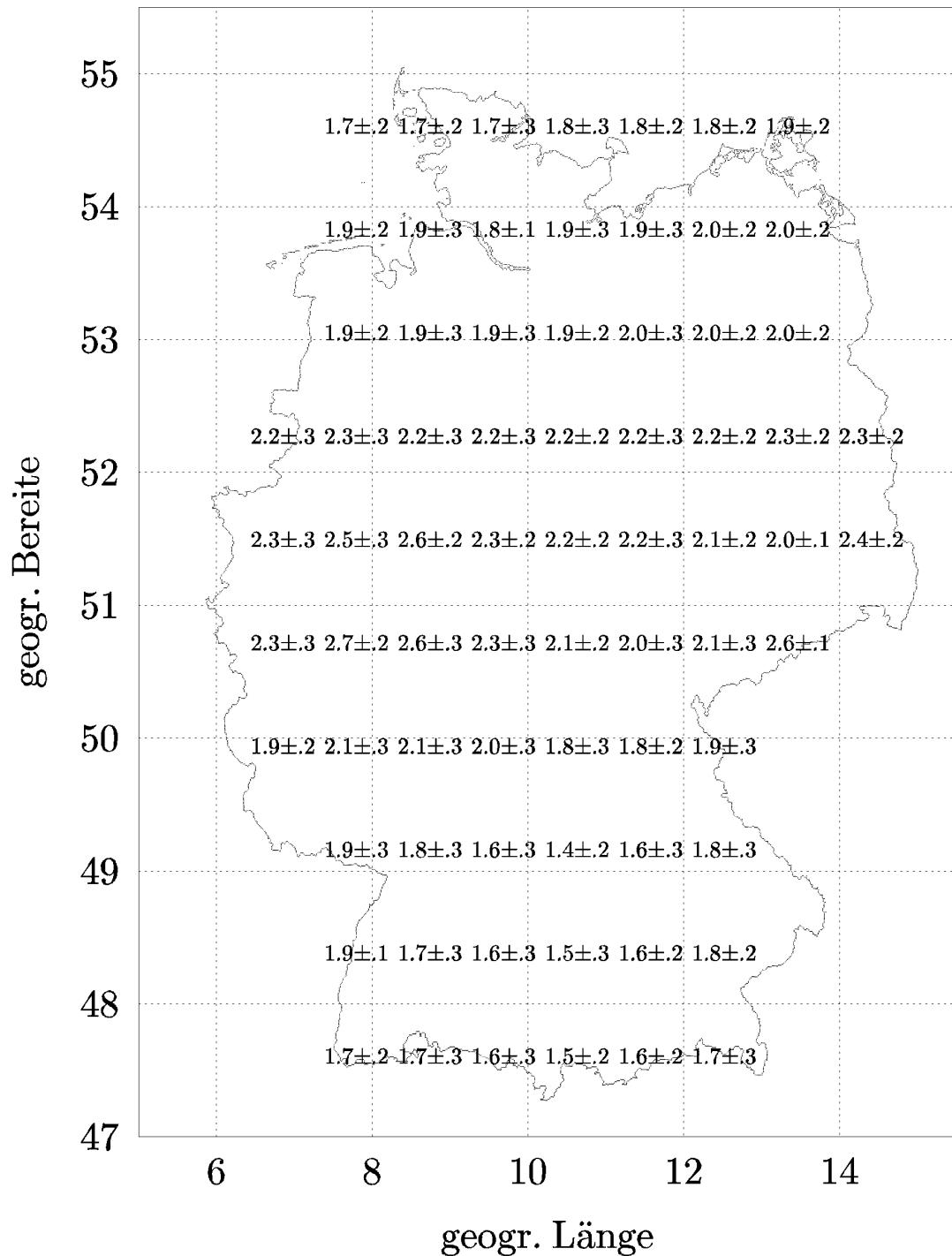
$[SO_4^{2-}]^{\star} / (\text{mg l}^{-1})$, 1998

Abbildung 72: Darstellung einer Flächeninterpolation am Beispiel Sulfat

4.1 Zusammenfassung

1. Im vorliegenden Jahresbericht werden die Ergebnisse aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes für das Jahr 2000 vorgestellt, interpretiert und mit den Resultaten aus früheren Jahren verglichen. Das Messnetz besteht heute aus 23 in ländlichen Regionen gelegenen Stationen, wovon 9 personell besetzt und 14 automatisch arbeitende Containerstationen sind. Daneben enthält der Jahresbericht längere Übersichtsartikel zu speziellen Umweltproblemen von aktuellem Interesse. Spezielle Themen im Jahre 2000 waren: das bodennahe Ozon auf Sylt (nordhemisphärisches Hintergrundozon), die Ozonepisode vom 18. - 21. Juni 2000 in Deutschland sowie CO₂-Vergleichsmessungen auf dem Feldberg und Schauinsland im Schwarzwald im Rahmen einer Messkampagne. Des Weiteren werden Vorschläge zur Neustrukturierung des UBA-Niederschlagsmessnetzes (wet-only) gemacht.
2. Die Datensätze sind in sich homogen, d.h. es wurden im Verlauf der Jahre keine gravierenden Veränderungen an den Messbedingungen vorgenommen, weder bei der Probenahme noch bei der Analytik. Die Daten werden eingehenden Qualitätskontrollen unterzogen, sowohl intern als auch bei internationalen Ringvergleichen der Analysenverfahren.

4.1.1 Gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen

3. Für eine Reihe von Luftverunreinigungen hat sich der fallende Trend auch im Jahre 2000 fortgesetzt (z.B. SO₂, Feinstaub und dessen Inhaltsstoffe, Ozonspitzenwerte). Auf der anderen Seite haben die Konzentrationen einer Reihe von Luftschadstoffen weiter zugenommen, trotz erheblicher Emissionsreduzierungen dieser Stoffe bzw. deren Vorläufern in Deutschland (z.B. CO₂, CH₄, N₂O, mittlere Ozonkonzentrationen).
4. An nahezu allen Stationen des UBA-Messnetzes wurden im Jahre 2000 die niedrigsten SO₂-Jahreswerte seit Beginn der Messungen Anfang der 70er Jahre beobachtet. Besonders auffallend war der Rückgang der Spitzenkonzentrationen an einigen Stationen in den neuen Bundesländern im Jahre 2000 gegenüber den Konzentrationen im Jahr 1999 und vor allem in den Jahren davor. Diese erfreuliche Entwicklung ist neben den drastischen Emissionsminderungen in Deutschland auch auf die erheblichen Minderungen in Tschechien und Polen besonders nach 1997 zurückzuführen.
5. Auch für Schwebstaub wurden im Jahre 2000 die niedrigsten Jahresmittelwerte seit Beginn der Messungen Ende der 60er Jahre beobachtet. Der stärkste Rückgang erfolgte zwischen 1990 und 2000 als Folge der drastischen Staubemissionsminderung in Deutschland während dieser Zeit. Durch den zunehmenden Beitrag des Ferntransports zu den verbleibenden Staubkonzentrationen in Deutschland erfolgte die Abnahme der Konzentrationen an den UBA-Messstellen jedoch langsamer als der Rückgang der Emissionen in Deutschland. Dieser Sachverhalt gilt auch für den Feinstaub (PM₁₀), da an den Messstellen des UBA die Aerosolpartikel mit einem Durchmesser größer als 10 µm kaum zur Gesamtmasse der abgeschiedenen Teilchen beitragen. Als Folge der drastischen Reduzierung der Feinstaubemissionen in

Deutschland werden dessen Konzentrationen nur noch sehr langsam zurückgehen, da die Konzentrationen in zunehmendem Maße durch den Ferntransport sowie die natürlichen Emissionen bestimmt werden.

6. Ähnlich wie die Konzentrationen des Gesamtstaubes haben auch die Konzentrationen von Schwefel im Schwebstaub während der vergangenen Jahrzehnte abgenommen. Dahingegen ist das Massenverhältnis von Schwefel im Schwebstaub zu Gesamtschwebstaub während der letzten Jahrzehnte im Wesentlichen konstant geblieben, unabhängig von der drastischen Reduzierung der SO₂-Emissionen in Mitteleuropa und dem dadurch verursachten erheblichen Rückgang der SO₂-Konzentrationen. Wahrscheinlich wurde der Beitrag der SO₂-Oxidation zum Sulfatgehalt im Aerosol in der Vergangenheit überschätzt.
7. Im Gegensatz zu SO₂ und Feinstaub haben die Konzentrationen des NO_x (im Wesentlichen NO₂ an den Messstellen des UBA) in geringerem Maße abgenommen. Eine deutliche Abnahme der Jahreswerte wurde an den Stationen Deuselbach, Waldhof und Schmücke beobachtet, weniger ausgeprägt war die Abnahme an der Station Neuglobsow, während die Stationen Westerland, Schauinsland und Brotjacklriegel keinen erkennbaren Trend zeigten. Im Mittel über die personellen Stationen im UBA-Messnetz war der Rückgang der NO_x-Konzentrationen deutlich geringer als der erhebliche Rückgang der NO_x-Emissionen (um mehr als 40%) in Deutschland zwischen 1990 und 2000. Eine wesentliche Ursache könnte neben dem Beitrag des Ferntransports darin bestehen, dass die NO_x-Emissionen aus der Landwirtschaft (vor allem aus gedüngten Böden), die im Emissionskataster des UBA z.Zt. nicht berücksichtigt werden, in nicht vernachlässigbarer Weise zu den gesamten NO_x-Emissionen in Deutschland beitragen.
8. Bei den seit 1998 durchgeführten Messungen von 27 VOCs zeigten sich auch im Jahre 2000 ganz ähnliche Konzentrationsmuster wie in den Jahren zuvor an den Stationen Waldhof (Lüneburger Heide) und Schmücke (Thüringer Wald, ca. 900 m ü. NN).
9. Im Jahre 2000 wurden die höchsten Ozon-Stundenwerte im UBA-Messnetz während einer Ozonepisode um den 20. Juni in Helgoland (238 µg/m³) und Deuselbach (233 µg/m³) beobachtet. Zum Vergleich: Der höchste Ozonwert in Deutschland wurde mit 253 µg/m³ in Selmsdorf (bei Lübeck) beobachtet. Diese hohen Spitzenwerte sind neben den noch immer erhöhten Vorläuferemissionen auf eine extreme meteorologische Situation zurückzuführen, die durch sehr hohe Temperaturen und extrem hohe UV-B-Strahlung gekennzeichnet war (siehe hierzu auch Kapitel 3.2).
10. Beim Ozon haben die Spitzenwerte in Deutschland, auch an den UBA-Messstellen, zwischen 1990 und 2000 deutlich abgenommen, die mittleren Konzentrationen haben dagegen leicht zugenommen. Dieses scheinbar paradoxe Ergebnis ist im Wesentlichen auf die Beteiligung der Stickoxide sowohl bei der Bildung als auch beim Abbau des Ozons erklärbar. Vor diesem Hintergrund verwundert es nicht, dass im Gegensatz zu der erfreulichen Entwicklung der Spitzenwerte bei den niedrigen Langfristzielwerten für den Schutz von menschlicher Gesundheit und Vegetation im letzten Jahrzehnt keine Verbesserung der Situation eingetreten ist und in den kommenden Jahren auch nicht eintreten wird, da diese Werte vor allem durch die

mittleren Konzentrationen bestimmt werden und nicht durch die Spitzenwerte. So wurde beispielsweise der EU-Langfristzielwert für den Schutz der Vegetation von 3000 ppb h (entspricht 6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ h, sog. AOT40-Wert: Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb) an allen UBA-Messstellen - mit Ausnahme von Zingst - im Jahr 2000 mehr oder weniger deutlich überschritten. Bezüglich des Langfristziels von 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8-h-Mittel) für den Schutz der menschlichen Gesundheit ist festzustellen, dass dieser Wert im Messnetz des UBA (ohne Zugspitze) im Jahr 2000 an 10 (Zingst) bis 61 (Brotjacklriegel) Tagen überschritten worden ist. An 12 von 21 UBA-Stationen wurde der bis zum Jahr 2010 zulässige EU-Zielwert von 25 Tagen mit Überschreitungen pro Jahr nicht eingehalten. Zur Einhaltung dieser niedrigen Zielwerte ist die Absenkung des hohen sommerlichen Ozonsockels durch weitere NO_x-Minderungen in Deutschland sowie durch eine Reduzierung des nordhemisphärischen Ozon-Hintergrundes erforderlich. Eine großräumige und dauerhafte Unterschreitung der niedrigen Ozon-Zielwerte ist unabhängig von der weiteren VOC-Minderung erst dann zu erwarten, wenn die NO_x-Konzentrationen großräumig unter 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen. Dagegen liegen die heutigen NO_x-Konzentrationen mit sommerlichen Werten über 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ an den in ländlichen Gebieten gelegenen UBA-Stationen noch deutlich über den erforderlichen Konzentrationen.

- 11. Bei den Treibhausgasen Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄) hat sich der zunehmende Trend von 1972 bis 2000 mit ca. 1.5 ppm/Jahr (0.4%/Jahr) für CO₂ fortgesetzt. Obwohl die Zeitreihen für Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (N₂O) noch vergleichsweise kurz sind, lässt sich doch eine leichte Zunahme erkennen. Am Schauinsland betrug die Zunahme im Mittel (1992-2000) ca. 4.5 ppb/Jahr (0.2%/Jahr) beim Methan und ca. 0.7 ppb/Jahr (0.2%/Jahr) beim N₂O (1996-2000).

4.1.2 Ionen im Niederschlag

- 12. Ab 1. Januar 2000 wurden die seit 1982 durchgeführten daily-bulk Messungen nur noch an 2 (Deuselbach und Waldhof) von ehemals 8 Stationen fortgeführt, an allen 8 personellen Messstellen sowie weiteren 22 Standorten werden seit 1993/1995 wöchentliche wet-only Niederschlagsmessungen durchgeführt.
- 13. Ein Vergleich der an den personellen Messstellen des UBA mit beiden Probenahmeverfahren durchgeführten parallelen Niederschlagsmessungen erbrachte folgende Ergebnisse: Für die Hauptionen SO₄⁼, NO₃⁻ und NH₄⁺ sowie die Niederschlagsmenge und die Leitfähigkeit wurde eine gute Übereinstimmung festgestellt, für die anderen Ionen lagen die Messergebnisse der daily bulk Messungen meist über denen der weekly wet-only Messungen.
- 14. Auch im Jahre 2000 hat sich der seit 1982 in den alten und seit 1993 auch in den neuen Bundesländern beobachtete Rückgang einiger Ionen wie beispielsweise H⁺, SO₄⁼ und NO₃⁻ fortgesetzt. An den meisten Stationen wurden im Jahr 2000 die niedrigsten Jahreswerte für H⁺, SO₄⁼ sowie für die elektrische Leitfähigkeit seit Beginn der Messungen beobachtet. Die pH-Werte an den 5 Stationen in den alten Bundesländern sind von Werten zwischen 4.3 - 4.4 im Jahre 1982 auf Werte zwischen 4.9 - 5.0 im Jahre 2000 deutlich angestiegen. Auch an den drei Stationen in den neuen Bundesländern ist eine Zunahme der pH-Werte nicht zu übersehen,

trotz des relativ kurzen Zeitraum von 1993 bis 2000. Das heißt, der Regen in Deutschland ist heute deutlich weniger sauer als zu Beginn der 80er Jahre. Eine deutliche Abnahme ist auch beim Sulfat zu beobachten, während die Abnahme von Nitrat und Ammonium geringer war. Bezuglich der Langzeitrends von Kalium, Magnesium, Natrium und Chlorid wurden nur geringe und nicht einheitliche Änderungen der Konzentrationen beobachtet.

15. Die Abnahme des Gesamtgehaltes an Ionen im Regenwasser seit 1982 ist verbunden mit einer Änderung der relativen Ionenverteilung. Im Jahre 2000 waren die prozentualen Anteile von H^+ und $SO_4^{=}$ geringer, die relativen Äquivalentkonzentrationen von NO_3^- und NH_4^+ dagegen höher als vor 2 Jahrzehnten, wobei deren Absolutkonzentrationen ebenfalls abgenommen haben.
16. Heute unterscheiden sich die Konzentrationen der Regeninhaltsstoffe an den 8 personellen Stationen Zingst, Westerland, Waldhof, Neuglobsow, Deuselbach, Schmücke, Schauinsland und Brotjacklriegel nur noch in geringem Maße, d.h. die Konzentrationsverteilung der Ionen in ländlichen Gebieten Deutschlands ist recht homogen. Das bedeutet, dass die z.T. erheblichen Unterschiede, die bei der nassen Deposition beobachtet werden, im Wesentlichen durch die unterschiedlichen Niederschlagsmengen verursacht werden und nicht durch die Konzentrationen. Die heutige Homogenität der Konzentrationsverteilung im Niederschlag ist eine wesentliche Voraussetzung für die Neustrukturierung des wet-only Niederschlagsmessnetzes des Umweltbundesamtes (siehe auch Kapitel 3.4).

4.1.3 Spezielle Umweltprobleme (Kapitel 3) Bodennahes Ozon auf Sylt (Kapitel 3.1)

17. Die nordhemisphärischen Ozon-Hintergrundkonzentrationen, die heute bei 60 bis 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen, stammen in erheblichem Umfang aus anthropogenen Emissionen in Asien, Nordamerika und Europa. Diese globale Ozon-Komponente muss schon heute bei der nationalen Ozongesetzgebung berücksichtigt werden, insbesondere bei den z.B. in der EU-Ozon-Tochterrichtlinie von 2001 definierten sehr niedrigen Schwellenwerten für den Schutz der menschlichen Gesundheit ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 8-h-Mittel) sowie zum Schutz der Vegetation (AOT40: $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$). Ohne eine Absenkung des nordhemisphärischen Hintergrundes ist die Einhaltung dieses Schwellenwertes in Deutschland nur schwer möglich.
18. Aufgrund ihrer geographischen Lage ist die UBA-Station Westerland von allen deutschen Ozon-Messstationen am besten geeignet, den nordhemisphärischen Ozon-Hintergrund zu bestimmen. Da die Kenntnis dieses Hintergrundes für die Beurteilung der Wirksamkeit von ozonmindernden Maßnahmen wichtig ist, kommt den Ozonmessungen auf Sylt eine besondere umweltpolitische Bedeutung zu.
19. Die Ozonbelastung auf Sylt zeigt gegenüber dem Binnenland einige Besonderheiten. Im Gegensatz zu den Stationen im Binnenland werden die Ozonkonzentrationen auf Sylt nahezu ausschließlich durch den Ferntransport bestimmt, entweder durch Transport vom europäischen Kontinent oder von See. Die lokalen Vorläufer-

emissionen auf dieser Insel haben dagegen so gut wie keinen Einfluss auf die auf Sylt gemessenen Konzentrationen. Im Binnenland wirken sich dagegen auch die lokalen bis regionalen Emissionen der Ozonvorläufer in erheblichem Maße auf die Ozon-Konzentrationsverteilung aus.

20. Bei Seewind (Antransport von Ozon über den Atlantik und die Nordsee nach Sylt) wird der Ozongehalt auf Sylt von der nordhemisphärischen Hintergrundkonzentration (engl. NHMLB, Northern Hemisphere Mid-Latitude Background) geprägt. Der nordhemisphärische Hintergrund setzt sich aus einem natürlichen und einem anthropogenen Anteil zusammen. Von den etwa $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die im Frühling und Frühsommer bei Seewind gemessen werden, entfallen etwa $25 \pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf natürliche Beiträge (ca. $20 \pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aus der Stratosphäre und ca. $5 \pm 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aus natürlichen NO_x-Emissionen durch ungedüngte Böden sowie durch Blitz) und etwa $55 \pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf photochemisch gebildetes Ozon aus anthropogenen Vorläufer-emissionen in Asien, Nordamerika und Europa (USA, 2001).
21. Während die Ozonkonzentrationen bei Seewind nur geringe Schwankungen auf einem vergleichsweise hohen Niveau (60 bis $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$) zeigen, sind die Änderungen bei Landwind (Antransport von Ozon vom europäischen Kontinent) sowohl im Tages-, als auch Jahresverlauf wesentlich stärker (20 bis $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
22. Während bei den maximalen Ozon-Stundenwerten auf Sylt erheblich niedrigere Konzentrationen auftreten als an vielen Stationen im Binnenland, liegen die Jahresmittelwerte höher als die entsprechenden Werte der Flachlandstationen im Binnenland.
23. Als Maß für die Schädigung der Vegetation werden sog. AOT40-Werte angegeben (AOT40: Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb). Bezüglich des EU-Langfristziels für den Schutz der Vegetation von $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ (entspricht 3000 ppb h) ist festzustellen, dass dieser Wert zwischen 1992 und 2000 auch auf Sylt in jedem Jahr (Ausnahme 1993) überschritten worden ist. Bemerkenswert ist der hohe Beitrag bei Seewind mit durchschnittlich 40% an den gesamten AOT40-Werten. Bezogen auf den EU-Langfristzielwert von $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ beträgt der über den Zeitraum zwischen 1992 und 2000 gemittelte Beitrag aus dem Seewindsektor im sogar 50%.
24. Bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Ozonbelastung auf Sylt werden die Ozon-Konzentrationen bei Seewind in den kommenden Jahrzehnten kaum merkliche Änderungen erfahren. Dagegen werden sich die Konzentrationen bei Landwind ähnlich entwickeln wie im Binnenland, wenn auch weniger stark ausgeprägt. Im Binnenland werden sehr niedrige und sehr hohe Werte bis 2010 insgesamt seltener auftreten. Dieser scheinbar paradoxe Sachverhalt einer Verschiebung der hohen und der niedrigen Ozonwerte hin zu mittleren Werten ist durch die Beteilung der Stickoxide sowohl bei der Bildung als auch beim Abbau von Ozon erklärbar (Beilke und Wallasch, 2000).

Die Ozonepisode vom 18.-22.Juni 2000 in Deutschland (Kapitel 3.2)

25. Vom 18. - 22. Juni 2000 trat in Deutschland eine Ozonepisode auf, die neben den noch immer hohen Vorläuferkonzentrationen auch auf die extremen Wetterbedingungen (hohe Sonneneinstrahlung, hohe Temperaturen und stabile Schichtung der unteren Troposphäre) zurückzuführen war. Die Ozonepisode war durch großräumige Überschreitungen des EU-Schwellenwertes für die Information der Bevölkerung von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-h-Mittel) vor allem zwischen dem 19. und 21. Juni gekennzeichnet. Vereinzelt traten an diesen Tagen auch Überschreitungen der EU-Alarmschwelle von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-h-Mittel) auf.
26. Zwischen dem 18. und 22. Juni 2000 trat das seltene Ereignis ein, dass beide für die Ausbildung von Sommersmog wichtigen meteorologischen Einflussgrößen, nämlich Sonneneinstrahlung und Stabilität, in weiten Teilen Deutschlands gleichzeitig maximale Werte annahmen, wobei die wegen des Sonnenhöchststandes ohnehin schon hohe UV-Einstrahlung durch das stratosphärische Ozon-Defizit gegenüber dem um diese Zeit normalerweise gemessenen Ozonsäulen noch verstärkt wurde.
27. Bemerkenswert an dieser Smogepisode war, dass die Ozon-Spitzenwerte nicht nur wie üblich im Binnenland, sondern besonders in der Nordhälfte bis zur Nord- und Ostsee auftraten. Dies ist auf den dominierenden Beitrag des Ferntransports zurückzuführen, wie eine Analyse der Zugbahnen der Luftmassen über einen Zeitraum von drei Tagen vor Eintreffen an den norddeutschen Stationen mittels sog. Rückwärtstrajektorien gezeigt hat. Die Trajektorienanalyse hat ebenfalls ergeben, dass die hohen bodennahen Ozonwerte nicht durch Transport von Luftmassen aus großen Höhen verursacht worden sind, sondern im Wesentlichen aus bodennah emittierten Ozon-Vorläufern (NO_x und VOC) innerhalb der bodennahen Mischungsschicht gebildet worden sein müssen.
28. Im Zuge der weiteren Reduzierungen der Emissionen der Ozonvorläufer in Deutschland und Europa werden die Ozon-Spitzenwerte in Deutschland im kommenden Jahrzehnt weiter sinken, wenn auch nicht in dem Maße wie zwischen 1990 und 2000. Im Zuge der weiteren Reduzierungen der Emissionen der Ozonvorläufer in Deutschland und Europa werden die Ozon-Spitzenwerte in Deutschland im kommenden Jahrzehnt weiter sinken, wenn auch nicht in dem Maße wie zwischen 1990 und 2000. Im Jahr 2010 wird die Wahrscheinlichkeit von Überschreitungen der EU-Schwellenwerte für die Information der Bevölkerung (1-h-Mittel von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Ozon) und insbesondere für den Schutz der menschlichen Gesundheit (1-h-Mittel von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Ozon) nur noch sehr gering sein, vollständig auszuschließen sind diese Überschreitungen aber nicht (Ref. 1).
29. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die sehr hohen Ozonkonzentrationen während der Ozonepisode vom 19. bis 21. Juni 2000 den aufgrund der Emissionsminderung der Vorläufer generell abfallenden Trend der Ozon-Spitzenkonzentrationen in Deutschland seit etwa 1990 kaum beeinflusst haben.

CO₂-Messkampagne auf dem Feldberg/Schwarzwald (Kapitel 3.3)

- 30. Im Jahre 2000 wurden von März bis November im Schwarzwald CO₂-Vergleichsmessungen auf dem Feldberg (1500 m ü NN) sowie auf dem Schauinsland (1205 m ü NN) durchgeführt. Die Messkampagne dient dem Zweck, zu klären, ob zwischen den beiden etwa 10 km Luftlinie voneinander entfernten Stationen die CO₂-Konzentrationen durch lokale/regionale anthropogene und biogene Quellen/Senken unterschiedlich beeinflusst werden und wie groß diese Einflüsse sind. Das Ziel der Vergleichsmessungen war, herauszufinden, ob die Station Feldberg besser als die Station Schauinsland geeignet ist, möglichst ungestörte, großräumig repräsentative Messungen der CO₂-Konzentrationen durchzuführen.
- 31. Die Kampagne hat gezeigt, dass in den Monaten März, Oktober, November, in denen die beiden Stationen in der Regel oberhalb der Mischungsschicht liegen, sowohl die CO₂-Konzentrationen als auch deren mittlere Tagesgänge kaum Unterschiede aufwiesen. Sowohl am Feldberg als auch am Schauinsland wurden in diesen Monaten weitgehend die Verhältnisse der freien Troposphäre wiedergespiegelt. Eine anthropogenen und biogenen bedingte Beeinflussung durch lokale/regionale Quellen/Senken war in diesen Monaten gering. Dagegen wurden insbesondere in den Monaten Mai und Juni aufgrund der größeren Mischungsschichthöhen in Verbindung mit einer stärkeren biologischen Aktivität am Schauinsland wesentlich ausgeprägtere mittlere monatliche Tagesverläufe der CO₂-Konzentrationen bei niedrigeren Konzentrationen beobachtet als am Feldberg. Generell treten die Assimulationsprozesse tagsüber am Schauinsland wirksamer als CO₂-Senke in Erscheinung als auf dem Feldberg.
- 32. An beiden Stationen sind die CO₂-Konzentrationen im Winterhalbjahr am höchsten und im Sommer am niedrigsten. Am stärksten weichen die Monatsmittel beider Stationen voneinander im Juni mit etwa 3 ppm ab. Die höchsten Abweichungen der Stundenwerte zwischen beiden Stationen traten während der biologisch aktivsten Vegetationsphase im Juni mit bis zu 8 ppm auf.
- 33. Als Ergebnis der Kampagne kann festgehalten werden, dass trotz einer Entfernung von 10 km, verschiedener Höhenlage und unterschiedlichem Pflanzenbewuchs beide Messorte sehr ähnliche CO₂-Konzentrationsmuster zeigen. Der geringe Erkenntnisgewinn bezüglich der großräumigen Verteilung und der Herkunft des CO₂ bei Messungen auf dem 300 Meter höher gelegenen Feldberg rechtfertigt nicht die kostenintensive Errichtung einer weiteren CO₂-Station neben der UBA-Station Schauinsland, an der die längsten deutschen CO₂-Messungen (seit 1972) durchgeführt werden.

Neustrukturierung des wet-only Niederschlagsmessnetzes (Kapitel 3.4)

- 34.** Der starke Rückgang der Emissionen einer Vielzahl von Luftschadstoffen in Deutschland und Europa hat dazu geführt, dass neben einem generellen Rückgang der Ionenkonzentrationen auch das großräumige Muster der Ionenkonzentrationen im Regen in Deutschland heute ziemlich homogen ist, d.h. die nasse Deposition wird in erster Linie durch die Regenmenge bestimmt, die aufgrund der orographischen und klimatologischen Gegebenheiten sehr große Unterschiede innerhalb Deutschlands aufweist.
- 35.** Aufgrund der heute großräumig recht homogenen Konzentrationsverteilung der Ionen im Regen ist es möglich, eine Verringerung der Zahl der wet-only Regenstationen im UBA-Messnetz von derzeit 30 auf etwa 20 Stationen vorzunehmen, ohne dass Einbußen im Informationsgehalt der Messungen zu befürchten sind. In Kapitel 3.4 wird eine optimierte Messnetzstruktur vorgeschlagen, die trotz der geringeren Stationszahl zu einer verbesserten räumlichen Abdeckung Deutschlands führt.
- 36.** Unter Berücksichtigung der Abhängigkeit der Ionenkonzentrationen von der Regenmenge mittels eines Konzeptes der „reduzierten Konzentration“ ist es möglich, eine zuverlässige flächendeckende Interpolation der Messwerte durchzuführen. Durch Kombination mit entsprechenden Daten der Niederschlagsmenge (DWD) können dann räumlich hochauflöste Karten der nassen Deposition erstellt werden, deren Aussagekraft deutlich über derjenigen bisher üblicher Darstellungen der Depositionsdaten liegt.

4.2 Executive Summary

- 1.** In this annual report results of the air pollution monitoring network of the German Federal Environmental Agency (FEA) are presented for 2000 and compared with the results of previous years. The network consists of 23 stations (9 stations with staff and 14 automatically working container sites) which are situated in rural areas. Furthermore, the report contains review articles on specific environmental topics of common interest (see chapter 3): chapter 3.1: surface near ozone concentrations on the island of Sylt (northern hemispheric background ozone), chapter 3.2: the ozone episode in Germany from 18. to 22. June 2000. chapter 3.3: Comparison of CO₂-concentrations on Mt. Feldberg (black forest, 1500 m a. sl.) and Schauinsland (1205 m a. sl.) chapter 3.4: New structuring of the FEAs wet-only precipitation network.
- 2.** Special care was taken to produce an internally consistent and homogeneous data set. Measurement apparatus as well as conditions under which the measurements were carried out were not changed over the years. All data were subject to a comprehensive internal quality control and the analytical techniques were validated by external international intercomparisons.

4.2.1 Gaseous pollutants and particulate matter

3. For a series of air pollutants the decreasing trend has continued in 2000 (for example SO₂, fine particulate matter including their constituents, ozone peak values). On the other hand concentrations of other air pollutants have continued to increase in spite of considerable emission reductions of these pollutants and their precursors in Germany (for example CO₂, CH₄, N₂O, mean ozone concentrations).
4. Annual SO₂-concentrations were lowest in 2000 at almost all stations of the FEAs network since the beginning of SO₂-measurements in the early 1970s. SO₂ peak concentrations decreased drastically in 2000 at some sites in eastern Germany as compared with 1999 and with the corresponding concentrations in previous years. This was due to the drastic SO₂-emission reduction in Germany and in the Czech Republic and in Poland especially after 1997.
5. Similar to SO₂, lowest annual concentrations of fine particulate matter (PM₁₀) were detected in 2000 since the beginning of particle measurements in the late 1960s. The strongest decline was observed between 1990 and 2000 mainly as a consequence of the drastic emission reductions in Germany over this period. As the potential for further emission reductions is largely exhausted in Germany, fine particulate matter mass concentrations will only slightly decrease in the near future because concentrations in Germany are more and more determined by long-range transport and by natural emissions of particles.
6. Similar to total particulate matter, concentrations of some aerosol constituents have also decreased over the last decades at the same rate. As an example, the particle sulfur content was essentially constant over the last decades regardless of the drastic SO₂-emission reductions in central Europe during this period. Most likely the contribution of SO₂-oxidation to the sulfate content in aerosol particles was overestimated in the past.
7. In contrast to SO₂ and fine particulate matter concentrations of NO_x (NO_x consists mainly of NO₂ at the measuring sites of the FEA) decreased to a lesser extent. A distinct decline of annual concentrations over the last decade was observed at Deuselbach, Waldhof and Schmücke. On the other hand, at Westerland, Brotjacklriegel and Schauinsland concentrations have only slightly changed. In general, the long-term mean concentration decrease at the stations of the FEA network was smaller than the considerable decline of NO_x-emissions in Germany between 1990 and 2000.
8. Since 1998 27 VOCs have been measured on a routine basis at Waldhof (Lüneburg Heath) and Schmücke (Thuringian Forest, ca. 900 m a. sl.). Concentration pattern of the 27 VOCs were quite similar in 1998, 1999 and 2000.
9. In 2000 highest ozone concentrations (1-h-means) in the FEA network were observed during an ozone episode around the 20 June at Helgoland (238 µg/m³) and Deuselbach (233 µg/m³). For comparison: the highest hourly ozone concentration in Germany (253 µg/m³) was measured at Selmsdorf (Lübeck). These high ozone peak

concentrations were connected with an extreme meteorological situation characterized by very high temperatures and extremely high UV-radiation (see also chapter 3.2)

10. Ozone concentrations in Germany are also measured by the air pollutant networks of the federal states consisting of ca. 350 stations (plus 23 stations of the FEA monitoring network). Based on the monitoring results of all German sites (ca. 370) the general conclusion can be drawn that ozone peak concentrations in Germany have considerably declined between 1990 and 2000. In contrast to peak concentrations mean ozone concentrations have slightly increased during this period. This apparent paradox is the result of emission reductions of nitrogen oxides which contribute to both the generation and the destruction of ozone. Against this background it is not surprising that no improvement could be observed over the last decade in order to meet the stringent long-term objectives for the protection of human health ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 8-h-mean) and especially for the protection of vegetation (AOT40: 3000 ppb h or $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$) suggested in the ozone daughter directive of the European Commission. As an example, the vegetation-related long-term objective of $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ was more or less considerably exceeded in 2000 at all stations of the FEA monitoring network (except for Zingst). Concerning the long-term objective for the protection of human health ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 8-h-mean) this value was exceeded in 2000 on 10 (Zingst) to 61 (Brotjackriegel) days. In order to meet the stringent long-term objectives mean ozone values in Europe as well as ozone background values in the whole Northern hemisphere must be decreased by further NO_x-emission reductions. A reduction of ozone concentrations below the stringent long-term objective values for protection of vegetation is only possible if NO_x-concentrations fall below ca. $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on a European scale regardless of further measures taken to reduce VOC-emissions. Today's NO_x-concentrations (above about $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) are considerably higher than the low level required to meet the stringent vegetation-related long-term ozone goals of the European Commission.
11. Concentrations of the greenhouse gases CO₂ and CH₄ have continued to increase. The mean increase rate of the FEA stations was ca. 1.5 ppm/year (0.4 %/year) for CO₂ (1972-2000). Although the time series for CH₄ and N₂O are shorter than for CO₂, a slight increase is to be seen. As an example, at Schauinsland the mean increase rate was ca. 4.5 ppb/year (0.2 %/year) for methane (1992-2000) and ca. 0.7 ppb/year (0.2 % /year) for N₂O (1996-2000).

4.2.2 Ions in precipitation

12. Until the end of 1999 daily-bulk measurements were carried out at 8 stations. Since 1 January 2000 the daily-bulk measurements have been continued only at 2 stations: Deuselbach and Waldhof. Since 1993/1995 weekly wet-only measurements have been performed at all (8) personal stations as well as at 22 additional sites.
13. A comparison of both methods at the manned UBA sites shows a good agreement for SO₄⁼, NO₃⁻ and NH₄⁺ as well as for precipitation amount and conductivity. For the other ions the results of the daily bulk samples tend to be higher than those of weekly wet-only.

14. The decline of the concentrations of some ions in rainwater (for example H⁺, sulfate, nitrate) has continued in 2000. At most stations lowest concentrations were observed in 2000 for hydronium (H⁺), sulfate (SO₄⁼) and total electrolytical conductivity since the beginning of measurements in 1982. pH-values at the 5 stations in western Germany have risen from 4.3 - 4.4 in 1982 to values between 4.9 - 5.0 in 2000. An increase of rainwater pH and a decrease of sulfate and total conductivity was also evident for the 3 stations in eastern Germany although the time period from 1993 to 2000 was relatively short. Decrease of nitrate and ammonium ion concentrations was smaller than for H⁺ and sulfate. Concerning long-term-concentration trends of potassium, calcium, magnesium, sodium and chloride only small changes were observed which were not uniform.
15. Decrease of total ion content in precipitation over the last two decades was accompanied by a change of the relative ion distribution. At the 4 continental stations Waldhof, Deuselbach, Schauinsland and Brotjacklriegel the percent fractions of H⁺ and SO₄⁼ were lower in 2000 as compared with 1984. On the other hand, the relative equivalent concentrations of NO₃⁻ and NH₄⁺ were higher in 2000 than in 1984 although their absolute concentrations have decreased, too.
16. Today ion concentration differences at the 8 personal FEA stations Zingst, Westerland, Waldhof, Neuglobsow, Deuselbach, Schmücke, Schauinsland and Brotjacklriegel are only small, i.e. today there is a relatively homogeneous ion concentration pattern in rural areas of Germany. Due to the homogeneous distribution of ion concentrations and the absence of a systematic trend of yearly precipitation amounts long-term trends of wet ion deposition are quite similar to the corresponding trends of ion concentrations. Today's homogeneity of the ion concentration distribution is an essential precondition for restructuring the FEA's wet-only precipitation network (see also chapter 3.4).

4.2.3 Specific environmental topics (Chapter 3)

Surface near ozone on the island of Sylt (North Sea) (ch. 3.1)

17. Today's Northern hemispheric background ozone concentrations (60 to 80 µg/m³) originate to a large extent from anthropogenic contributions in Asia, North America and Europe. This global contribution must be taken into account in national legislative measures to reduce the ozone burden. The global contribution by intercontinental transport of ozone is important with respect to accumulated ozone exposure. As air quality standards and objectives are made more stringent, the contribution of intercontinental transport to exceedances of those objectives will increase. For example, in order to meet the stringent long-term objectives for the protection of human health (120 µg/m³, 8-h-mean) and vegetation (3000 ppb h i.e. 6000 µg/m³ h) suggested in the ozone daughter directive of the European Commission, the global ozone background of the Northern hemisphere must be lowered by reducing NO_x-emissions in Asia, North America and Europe.

18. Because of its geographical position, the FEA monitoring station Westerland is best suited to monitor the Northern hemispheric ozone background. A knowledge of this ozone background is essential to assess the efficiency of ozone-reducing measures.
19. In contrast to continental ozone stations concentrations on the island of Sylt are almost exclusively determined by medium and long-range transport of ozone either by transport from the European continent or by transport across the Atlantic ocean. In contrast to the continent, local ozone precursor emissions on Sylt are of very little influence on the ozone concentrations on this island.
20. For onshore wind (ozone transport across the Atlantic to Sylt) ozone concentrations are determined by the Northern hemispheric background which consists of a natural and an anthropogenic fraction. About $25 \pm 10 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ of the approximately $80 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ measured in spring and early summer under those conditions are of natural origin (about $20 \pm 10 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ from the stratosphere and about $5 \pm 5 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ photochemical ozone from natural NO_x-emissions from unfertilised soils and from lightning) and about $55 \pm 10 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ are photochemically produced from anthropogenic precursor emissions in Asia, North America and Europe.
21. Ozone concentrations are relatively high ($60\text{-}90 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$) in air masses transported across the Atlantic. Daily mean monthly and annual variations are small. For transport from the continent the corresponding variations of ozone concentrations are considerably higher: annual values between 20 and $100 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$.
22. Maximum ozone peak concentrations (1-h-mean) on the island of Sylt are considerably lower than on the continent. On the other hand, annual mean ozone concentrations on Sylt are higher than the corresponding concentrations at most continental sites.
23. Concerning the long-term objective for the protection of vegetation (AOT40: Accumulated Exposure Over a Threshold of 40 ppb, 3000 ppb h corresponding to $6000 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$) at Westerland it can be stated that this value was exceeded every year between 1992 and 2000 (exception 1993). The contribution of ozone being transported across the Atlantic to the measured AOT40 values is quite high (about 40%). This fraction is even higher (about 50% as a mean values over the period 1992-2000) if the contribution from the sea sector is related to the long-term objective value of $6000 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$, only.
24. Regarding the future development of ozone concentrations on the island of Sylt there will be hardly any change in air masses being transported across the Atlantic. On the other hand, ozone concentrations in air masses originating from the continent will develop in a similar way as over the continent. Over the continent very low and very high ozone concentrations will occur less frequently by 2010. This apparent paradox of a shift of high and low ozone values towards mean values can be explained by the role which nitrogen oxides play in both the formation and destruction of ozone. (*Beilke and Wallasch, 2000*)

Ozone episode in Germany from 18. - 22. June 2000 (ch. 3.2)

- 25. An ozone episode occurred in Germany from 18. - 22. June 2000 which was characterized by large-scale exceedances of peak values ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1-h-mean). In a few cases the value of $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1-h-mean) was also exceeded. These high ozone peak values were caused by the high precursor emissions combined with an extreme meteorological situation characterized by high UV-B-radiation and high stability of the lower troposphere.
- 26. Around the 20th of June both meteorological factors of influence (UV-radiation and stability) showed maximum values which is a rare event at this time of the year. Furthermore, UV-B radiation was enhanced by an unusual deficit of stratospheric ozone.
- 27. In contrast to most previous ozone episodes ozone peak concentrations did not only occur in the inland but also in the Northern region including the Baltic Sea and North Sea. A backward trajectory analysis has shown that the occurrence of ozone peak values around the North-and Baltic Sea was dominated by long-range transport. Another result of the trajectory analysis was that the high surface peak values had originated from photochemical processes of NO_x and VOC within the mixing layer.
- 28. Taking into account further emission reductions in Germany and Europe by 2010 ozone peak values will continue to decrease but at a slower rate than between 1990 and 2000. By the year 2010 the population warning threshold of the European Commission ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1-h-mean) will most probably no longer be exceeded in Germany even during an ozone episode like that from 18. - 22. June 2000.
- 29. In general it can be stated that the very high peak concentrations (maximum: $253 \mu\text{g}/\text{m}^3$) observed during this ozone episode have not affected the generally declining trend of peak concentrations over the last decade which was a result of the drastic emission reduction of ozone precursors in Germany.

CO₂-measurements on Mt. Feldberg (Black forest, Ch. 3.3)

- 30. From March until November 2000 CO₂-measurements were carried out simultaneously on Mt. Feldberg (1500 m a. sl) and at Schauinsland (1200 m a. sl) which are both situated in the Black Forest (horizontal distance: about 10 km). The measurements were performed to find out whether or not CO₂-concentrations at both stations are differently influenced by local/regional anthropogenic and biogenic sources/sinks.
- 31. The measurements have shown very similar concentrations and mean daily variations at both sites during the months of March, October and November because both stations are normally above the mixing layer during that time. At both sites the meteorological situation reflects the conditions of the free troposphere during these months resulting in small local anthropogenic and biogenic influences. On the other hand, more pronounced daily variations and lower concentrations are observed in May and June at Schauinsland as compared to Mt. Feldberg. This is due to the generally higher mixing heights and a stronger biological activity during May and

June. In general, during daytime assimilation provides a stronger CO₂-sink at Schauinsland than at Mt. Feldberg.

- 32.** CO₂-mixing ratios are highest in winter and lowest in summer. The largest difference of monthly mean concentrations between both stations was observed in June with about 3 ppm. Largest differences of hourly values (up to 8 ppm) were observed during the biologically most active time in June.(lower concentrations at Schauinsland).
- 33.** Summarizing the results of the CO₂-campaign both places show quite similar concentration pattern in spite of a horizontal distance of ca. 10 km, a difference in altitude of ca. 300 meters and despite different vegetation cover. The small improvement of our knowledge regarding the large-scale concentration pattern and the origin of CO₂ at Mt. Feldberg as compared with Schauinsland does not justify the very costly establishment of another CO₂-monitoring station beside the FEA-station Schauinsland where the longest consistent time-series for CO₂ in Germany exist (since 1972).

Restructuring of the FEA's wet-only precipitation network (ch. 3.4)

- 34.** Strong decrease of emissions of a wide variety of air pollutants in Germany and Europe have resulted in both a general decline of ion concentrations in precipitation and a rather homogeneous concentration pattern in Germany. Today wet deposition is mainly determined by the amount of rain which varies considerably due to orographic and climatological differences.
- 35.** Based on the large-scale homogeneity of ion concentrations in precipitation an optimised structure of the FEA's wet-only network is suggested reducing the number of stations from 30 to 20 without loosing mayor content of information due to a better spatial coverage in Germany.
- 36.** Considering the dependence of ion concentrations on the amount of precipitation a concept of a "reduced concentration" is used to interpolate the data in order to get a representative picture of ion concentrations in rain in Germany. By combining the reduced ion concentrations with the corresponding highly sophisticated maps of the precipitation amount (provided by the Germany Weather Service, DWD) enables us to provide maps of wet ion deposition with a better spatial resolution than existing maps.