

BE-135



BERICHTE

**MESSUNG DER SO₂- UND NO₂-BELASTUNG IN
DER SÜDLICHEN STEIERMARK UND IM
SÜDÖSTLICHEN KÄRNTEN MITTELS
DIFFUSIONSSAMMLER IM WINTER 1996/97**

**MESSUNG DER SO₂- UND NO₂-BELASTUNG IN DER
SÜDLICHEN STEIERMARK UND IM SÜDÖSTLICHEN
KÄRNTEN MITTELS DIFFUSIONSSAMMLER
IM WINTER 1996/97**

Wolfgang Spangl
Johannes Striedner

BE-135

Wien, November 2000

Autoren

Wolfgang Spangl
Johannes Striedner

Durchführung der Arbeiten

Planung und Auswahl der Meßpunkte

Johannes Striedner, Wolfgang Spangl (Umweltbundesamt), Andreas Schopper (Amt der Stmk. Landesregierung), Gerhard Heimbürger (Amt der Kärntner Landesregierung)

Betreuung der Meßpunkte

Wolfgang Sarny, Erich Singer (Umweltbundesamt), Wolfgang Schäfer, Andreas Schopper (Amt der Stmk. Landesregierung), Ronald Reinisch (Amt der Kärntner Landesregierung)

Analysen der Diffusionssammler

Eva Maria Sacher, Margarethe Haas (Umweltbundesamt)

Graphik

Dieter Pirker (Amt der Stmk. Landesregierung), Wolfgang Spangl, Manuela Kaitna (Umweltbundesamt)

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH (Federal Environment Agency Ltd)
Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien (Vienna), Austria

Eigenvervielfältigung

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, November 2000
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)
ISBN 3-85457-474-6

Zusammenfassung

In Zusammenarbeit zwischen dem Umweltbundesamt, dem Amt der Kärntner Landesregierung und dem Amt der Steiermärkischen Landesregierungen wurden im Winter 1996/97 Diffusionssammler-Messungen von SO₂ und NO₂ in Südostkärnten und der Südsteiermark durchgeführt.

Diese Region weist im österreichweiten Vergleich eine außergewöhnlich hohe SO₂-Belastung auf, welche, wie die bisher durchgeführten Untersuchungen zeigen, von SO₂-Transport aus dem Kohlekraftwerk Sostanj in Slowenien dominiert wird. So betrug 1996 der Jahresmittelwert der SO₂-Konzentration in Bleiburg 14 µg/m³, in Arnfels-Remschnigg 12 µg/m³, und lag damit über dem Belastungsniveau in den meisten österreichischen Großstädten.

Das Ziel der Messungen mittels Diffusionssammlern war die Erfassung eines flächenhaften Bildes der mittleren SO₂- und NO₂-Konzentration. Dabei sollten u.a. die Belastungsmaxima identifiziert werden um zu prüfen, ob die kontinuierlich registrierenden Immissionsmessstellen optimal platziert sind – d.h. an den Belastungsschwerpunkten – oder ob die Verlegung oder Neuerrichtung von Messstellen sinnvoll ist.

Die Diffusionssammler (Palmes-Röhrchen) wurden während zehn ca. vierzehntägiger Messperioden zwischen 1. Oktober 1996 und 6. März 1997 an 19 Standorten in Südostkärnten und 25 Standorten in der südlichen Steiermark exponiert.

Die Diffusionssammler erzielten – wie bereits aus früheren Messkampagnen bekannt – gegenüber den kontinuierlich registrierenden SO₂-Messgeräten an allen Messpunkten und in allen Messperioden Minderbefunde, welche meist zwischen 20 und 70% variierten. Vor allem im niedrigen Konzentrationsbereich zeigen die Diffusionssammler sehr große und nicht von der Konzentration abhängige relative Abweichungen, während bei Periodenmittelwerten oberhalb von ca. 15 µg/m³ die Übereinstimmung besser ist. Die SO₂-Messergebnisse sind daher grundsätzlich mit Vorsicht zu interpretieren und geben in den meisten Fällen ein nur qualitatives Bild der räumlichen Verteilung der SO₂-Belastung in Ergänzung zu den Ergebnissen der kontinuierlich registrierenden Messstellen. Die Berechnung von Langzeitmittelwerten aus den Diffusionssammler-Ergebnissen ist daher jedenfalls nicht möglich; ihr Einsatz für die Überwachung der Einhaltung von Langzeitgrenzwerten scheidet wegen der hohen Messunsicherheit aus.

Bei NO₂ zeigen die Diffusionssammler tendenziell bessere Übereinstimmung mit der kontinuierlichen Messung, allerdings – mit Ausnahme von Bockberg – ebenfalls generell Unterbestimmung. Dabei nehmen die Minderbefunde zumeist mit der Konzentration zu.

Die SO₂-Messungen mittels Diffusionssammlern zeigen – in Übereinstimmung mit den kontinuierlich registrierenden Messstellen – die höchsten SO₂-Belastungen im äußersten südöstlichen Kärnten im Raum um Bleiburg, Lavamünd und St. Paul sowie im Bereich des Steirischen Poßruck zwischen Arnfels und Spielfeld. Relativ hohe Belastungen wurden in der Steiermark auch im Bereich östlich der Mur (Bezirk Radkersburg), in Kärnten an den Hängen östlich und westlich des Lavanttales registriert. Die niedrigsten SO₂-Belastungen traten in weiten Teilen der Weststeiermark und auf der Koralpe auf.

Die kontinuierlich registrierenden Messstellen zeigen, dass die SO₂-Belastung entscheidend von der Windrichtung abhängt und Südost- bis Südwestwind zumeist die Voraussetzung für erhöhte SO₂-Konzentrationen ist. Die thermische Schichtung der Atmosphäre beeinflusst die SO₂-Konzentration weniger stark, doch treten bei hochreichend stabiler Schichtung tendenziell höhere SO₂-Werte auf. Der Konzentrationsverlauf ist an den meisten Messstellen von sehr kurzen Konzentrationsspitzen (einige Stunden) bis über 200 µg/m³ über einem Hintergrund von zumeist 5 bis 10 µg/m³ im Winter gekennzeichnet. Diese extremen kurzzeitigen Variationen der Konzentration an allen Messstellen sind ein Indiz dafür, dass der SO₂-Transport in einer eng begrenzten Rauchfahne erfolgt, die jeweils kurzzeitig die Messstelle erreicht und sonst daran vorbei zieht.

Die höchsten mit den Diffusionssammlern erfassten SO₂-Belastungen mit Periodenmittelwerten über 20 µg/m³ – wobei angesichts der hohen Messunsicherheit bei den Sammlern die tatsächliche SO₂-Konzentration noch höher gelegen sein könnte – wurden während der 6. Messperiode (19. Dezember 1996 bis 9. Jänner 1997) in Südostkärnten und der Südoststeiermark beobachtet, welche von sehr häufigem Südwind, sehr tiefen Temperaturen (bis –16°C in Graz) und langanhaltenden Inversionen gekennzeichnet war. Während dieser Periode wurde in der Oststeiermark (Bezirke Radkersburg, Leibnitz und Feldbach) mit Mittelwerten über 20 µg/m³ eine ungewöhnlich hohe SO₂-Belastung beobachtet, wobei anzunehmen ist, dass sich dieser hoch belastete Bereich noch weiter nordostwärts erstreckte.

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass die Messstellen Bleiburg, St. Georgen und Arnfels-Remschnigg die Belastungsschwerpunkte durch SO₂, die mit den Diffusionssammlern identifiziert werden konnten, sehr gut abdecken. Darüber hinaus konnte während einzelner Perioden auch starker SO₂-Transport in die Oststeiermark (Bezirke Radkersburg und Feldbach) beobachtet werden, so dass zusätzlich zur Messstelle Klöch bei Bad Radkersburg eventuell weitere kontinuierliche Vorerkundungsmessungen im Bezirk Feldbach als sinnvoll erachtet werden.

Anders als die SO₂-Belastung lässt sich bei der mit den Palmes-Röhrchen bestimmten NO₂-Belastung kein wesentlicher Beitrag von Ferntransport identifizieren. Die höchsten NO₂-Messwerte wurden stets an siedlungs- und verkehrsnahen Messpunkten registriert, am höchsten belastet waren zumeist Bleiburg und Wildon. Die niedrigsten Belastungen wurden an den höhergelegenen Messpunkten der Kor- und der Saualpe gemessen.

Die NO₂-Konzentrationen werden wesentlich stärker als die SO₂-Belastung von der thermischen Schichtung der Atmosphäre beeinflusst, zeigen aber keine deutliche Abhängigkeit von den großräumigen Windverhältnissen. Dies lässt den Schluss zu, dass die NO₂-Belastung von lokalen Quellen dominiert wird.

Summary

During Winter 1996/97 a monitoring campaign for SO₂ and NO₂ using diffusion samplers (Palmes' tubes) was performed in southern Styria and south-eastern Carinthia in co-operation between the Austrian Federal Environment Agency, and the Offices of the Provincial Governments of Carinthia and Styria.

This region was chosen because of the high SO₂ pollution level, which can, as previous measurements and investigations proved, mainly be attributed to emissions of the coal fired thermal power plant Sostanj in Slovenia. The SO₂ annual mean in Bleiburg in 1996 was 14 µg/m³, in Arnfels-Remschnigg 12 µg/m³, which is the same level as in the centre of Graz (capital of Styria).

The objective of the monitoring campaign was the measurement of SO₂ and NO₂ concentrations at locations not covered by the routine, continuously registering monitoring stations in order to get spatially highly resolved information on the distribution of SO₂ and NO₂ levels. The diffusion samplers were exposed through ten monitoring periods of about two weeks each between 1st Oct. 1996 and 6th March 1997, at a total of 19 locations in Carinthia and 25 locations in Styria.

One further goal of the monitoring campaign was to test the performance of diffusion samplers for such kind of monitoring. It turned out that the diffusion samplers give large concentration deficits compared to continuous monitoring devices both for SO₂ and NO₂ for all monitoring periods and at all locations, especially for SO₂ at low concentration levels, with deficits of 20 up to 70%. At higher SO₂ concentrations, above some 15 µg/m³, the correlation is somehow better. Especially the SO₂ concentration values from diffusion samplers are therefore not suitable for calculating long-term averages and for compliance monitoring, but can only be used to estimate the pollution level and its spatial distribution.

The monitoring results from the diffusion samplers indicate – similar to the continuously registering monitoring stations – that the highest SO₂ concentrations affect the south-east region of Carinthia around Bleiburg, St. Paul and Lavamünd and the southern border of Styria between Arnfels and Spielfeld. Rather high concentrations were observed in south-eastern Styria (district Radkersburg) and in Carinthia at the slopes above the Lavanttal. The lowest concentrations were observed in western Styria (district Deutschlandsberg) and the Koralpe.

The data measured by continuously registering stations show that high SO₂ levels usually coincide with wind from south-west to south-east. Atmospheric dispersion conditions, i.e. thermal stability, are of less importance; nevertheless, higher pollution levels often coincide with the occurrence of thick ground level inversion layers. Short-term concentration variations with peak values above some 200 µg/m³ for some hours, superimposed to a background of 5 to 10 µg/m³, indicate that SO₂ is advected in a rather narrow plume.

The highest SO₂ concentrations were observed during the sampling period from 19th Dec. 1996 to 9th Jan. 1997, when very low temperatures (minimum –15°C in Graz) and frequent inversions occurred. In southern and eastern Styria (districts Leibnitz, Radkersburg, and Feldbach) the diffusion samplers gave 14-day-mean values of about 20 µg/m³, and it is quite likely that the area with such high levels extended even farther north.

It is further remarkable that in the monitoring period from 7th to 23rd Jan. 1997, SO₂ transport to south-eastern Styria was observed by northern wind, which can be attributed to emission sources in the Slovak or Czech Republic.

The monitoring campaign with diffusion samplers proved that the routine monitoring sites cover the areas of highest SO₂ pollution, which are the regions around Bleiburg, St. Georgen and Arnfels. Relatively strong SO₂ transport to eastern Styria (districts Radkersburg and Feldbach) during some monitoring periods suggest that routine monitoring in this region is useful, too.

On contrary to SO₂, the NO₂ levels measured by diffusion sampling gave no hints for long-range transport, but indicate that local emissions cause the major contribution to the measured NO₂ pollution. NO₂ levels show a strong correlation with unfavourable dispersion conditions, but no major influence by the large-scale wind direction. The highest concentrations were observed at locations near roads and settlements, the lowest concentrations in the Koralpe and Saualpe.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG.....	8
1.1	Motivation und Zielsetzung der Untersuchung.....	8
1.2	Messplanung.....	8
2	DIE STANDORTE DER MESSUNG.....	9
3	MESSERGEBNISSE.....	12
3.1	Schwefeldioxid, Überblick.....	12
3.2	Vergleich der SO ₂ -Meßergebnisse kontinuierliche Messungen mit jenen der Diffusionssammler	15
3.3	Stickstoffdioxid, Überblick.....	16
3.4	Vergleich der NO ₂ -Meßergebnisse kontinuierliche Messungen mit jenen der Diffusionssammler ...	17
4	INTERPRETATION	18
4.1	Übersicht der meteorologischen Verhältnisse	18
4.2	Messperiode 1 (14./16.10. - 28./30. 10. 1996).....	19
4.3	Messperiode 2 (28./30.10. bis 12./14.12. 1996)	20
4.4	Messperiode 3 (12./14.11. bis 26./27.11. 1996)	21
4.5	Messperiode 4 (26./27.11. 1996 bis 9./11. 12. 1996)	21
4.6	Messperiode 5 (9./11.12. 1996 bis 19./23.12. 1996)	22
4.7	Messperiode 6 (19./23.12. 1996 bis 7./9.1. 1997)	22
4.8	Messperiode 7. (7./9.1. 1997 bis 21./23.1. 1997)	24
4.9	Messperiode 8 (21./23.1. 1997 bis 5./6.2. 1997)	25
4.10	Messperiode 9 (5./6.2. 1997 bis 18./20.2. 1997)	26
4.11	Messperiode 10 (18./20.2. 1997 bis 5./6.3. 1997)	27
5	RESÜMEE.....	27
5.1	Charakterisierung der SO ₂ -Belastung	27
5.2	Schlussfolgerungen für die Meßnetzgestaltung.....	28
5.3	Charakterisierung der NO ₂ -Belastung.....	28
5.4	Bewertung der Diffusionssammler	28
	ANHANG 1: MESSPRINZIP DER DIFFUSIONSSAMMLER	30
	Aufbau der Diffusionssammler nach Palmes	30
	Präparation der Sammler.....	31
	Aufstellung im Gelände.....	32
	Elution und Analytik.....	32
	Auswertung.....	33
	Grundlegende Probleme	33
	ANHANG 2: EXPOSITIONSZEITEN DER DIFFUSIONSSAMMLER.....	34

1 Einleitung

1.1 Motivation und Zielsetzung der Untersuchung

Die südliche Steiermark und das südöstliche Kärnten sind, wie bisher durchgeführte Messungen – sowohl mit kontinuierlich registrierenden Messgeräten als auch mit Diffusionssammlern – zeigten [1], [2], von stark erhöhter Schwefeldioxid- (SO₂-) Belastung betroffen, die das Niveau österreichischer Großstädte erreicht. Verantwortlich hierfür sind vor allem Emissionen in Slowenien, wobei das kalorische Kraftwerk Sostanj als Einzelemittent [3] von besonderer Bedeutung ist. Die jährliche SO₂-Emission dieses Kraftwerkes ist für die Jahre 1993 bis 1996 zusammen mit den Gesamtemissionen Sloweniens und Österreichs in Tabelle 1 angegeben. Sie lag 1993 bei 57 %, 1994 bei 46 %, 1995 bei 43 % und 1996 bei 47 % der gesamten SO₂-Emissionen Sloweniens. Die Inbetriebnahme der Rauchgasentschwefelungsanlage für Teile des Kraftwerkes brachte 1995 einen deutlichen Emissionsrückgang. Die Jahresemissionen dieses Kraftwerkes lagen in den genannten Jahren, ausgenommen 1995, über der gesamten SO₂-Emission von Österreich [4], was die außerordentliche umweltpolitische Bedeutung dieses Emittenten unterstreicht und die hohe SO₂-Belastung in den grenznahen Gebieten Österreichs erklärt.

Tabelle 1: Jährliche SO₂-Emission des Kohlekraftwerkes Sostanj sowie gesamte SO₂-Emission Sloweniens und Österreichs in t.

	1993	1994	1995	1996
Sostanj	104.220	80.516	51.663	51.804
Slowenien	182.126	176.514	119.301	109.689
Österreich	61.790	56.390	59.990	48.030

Gegenstand dieser Untersuchung war es, die Schadstoffbelastung durch Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid (NO₂) in diesem Gebiet mit Hilfe von Diffusionssammlern flächenhaft zu erfassen. An Hand der relativen Maxima und Minima der Belastung sollte beurteilt werden, ob die kontinuierlich registrierenden Meßstellen in den SO₂-Belastungsschwerpunkten (und damit optimal) situiert sind, oder ob gegebenenfalls die Verlegung oder Neuerrichtung kontinuierlich registrierender Meßstellen sinnvoll wäre.

Obwohl Diffusionssammler, wie aus zahlreichen Messreihen bekannt, v.a. bei SO₂ Minderbefunde gegenüber den mit kontinuierlich registrierenden Messgeräten erfassten Konzentrationen liefern, und sie nur eine über die Messperiode zeitlich integrierte Aussage erlauben, wurden sie für die vorliegende Untersuchung gewählt, da sie mit relativ geringem technischem Aufwand ein regionales Bild der Belastungssituation vermitteln.

1.2 Messplanung

Diffusionssammler wurden an insgesamt 44 Standorten während 10 Perioden im Winter 1996/97 exponiert. Die Expositionsdauer betrug jeweils ca. 14 Tage.

Zum Einsatz kamen Diffusionssammler nach dem Palmes-Typ, welche die Schadstoffe in einem Absorptionsmaterial binden. Im Analytiklabor wurden die gebundenen Schadstoffe mit Hilfe eines Puffers herausgelöst (Elution) und anschließend ionenchromatografisch analysiert.

Die Grundlagen für die simultane Bestimmung mehrerer Parameter durch Diffusionssammlung nach dem Palmes-Typ wurden von der TU Wien, Institut für Analytische Chemie im Auftrag der MA22-Umweltschutz erarbeitet¹.

Das gesamte Arbeitsvorhaben wurde

- vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 1a (Herr Mag. Schopper)
- vom Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 15 (Herr D.I. Heimbürger)

und vom Umweltbundesamt, Abteilung für Lufthygiene in Wien, (D.I. Spangl) bzw. dem Labor in Klagenfurt (D.I. Johannes Striedner, Ing. Margarete Haas) gemeinsam durchgeführt. Auch bei der Auswertung und Interpretation wurden die gute Basis der Zusammenarbeit zwischen den Dienststellen und die speziellen Fähigkeiten in den einzelnen Abteilungen genutzt.

Dieser Bericht enthält alle Daten und Auswertungen sowie eine eingehende Interpretation der Messergebnisse unter Hinzuziehen von meteorologischen Messungen und Meßergebnissen der kontinuierlich registrierenden Meßstellen

Im Anhang 1 finden sich Angaben über das Messprinzip der Diffusionssammler, die verwendete messtechnische und analytische Ausrüstung, die Exposition im Gelände, die Analyse im Labor und die Qualitätssicherung.

2 Die Standorte der Messung

Die insgesamt 44 Diffusionssammler-Standorte wurden gemeinsam von Mitarbeitern des Amtes der Kärntner Landesregierung, des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung und des Umweltbundesamtes, Zweigstelle Süd, ausgewählt. Karte 1 zeigt das Untersuchungsgebiet; die Diffusionssammler-Standorte sind in Karte 2 dargestellt. Die Namen der Standorte sind in Tabelle 1 angegeben. Jene Standorte, die neben kontinuierlich registrierenden Luftgütemeßstellen situiert waren, sind fett angegeben.

Tabelle 1: Diffusionssammler-Standorte

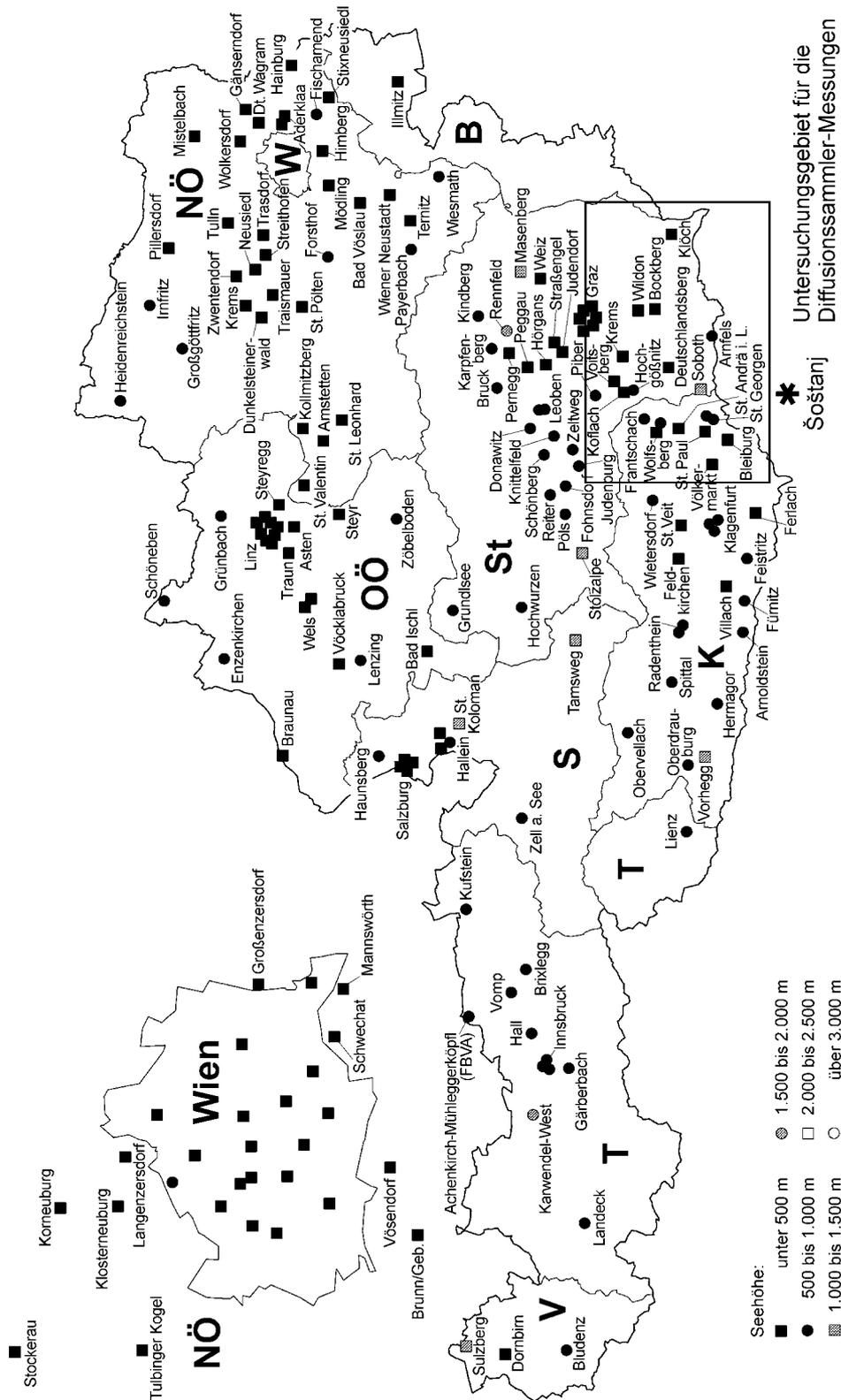
Kärnten

Messpunkt Nr.	Standort	Messpunkt Nr.	Standort
1	Hemmaberg	11	Jh.Brandl
2	Gradischnig	12	St. Georgen Herzogberg
3	Bleiburg	13	Windisch Grutschen
4	Mittlern	14	Glaboniathkreuz
5	St.Peter a.Wallersberg	15	Pölling
6	St. Nikolai	16	Mosern
7	Schottergrube Zeil	17	Rieding
8	Hornigkreuz	18	Gießhütte
9	Ob. Paulitsch	19	Weinberg
10	Prachoinig		

¹ BRANTNER, 1986

Steiermark

Messpunkt Nr.	Standort	Messpunkt Nr.	Standort
1	St. Josef	14	Kitzeck im Sausal
2	Bad Gams	15	Ratsch
3	St. Oswald im Freiland	16	Retznei
4	Weinebene	17	Bockberg
5	Trahütten	18	Klein-Breitenfeld
6	Hasreith	19	Glojach
7	Limberg	20	St.Peter am Ottersbach
8	Soboth	21	Trössing
9	Radlpaß	22	Kinsdorf
10	St. Ulrich in Greith	23	Klöch
11	Arnfels-Remschnigg	24	Kapfenstein
12	Eichberg-Trautenburg	25	Riegersburg
13	Kläranlage Radiga		



Karte 1: SO₂-Messstellen 1998 in Österreich – Übersichtskarte

Tabelle 2 gibt die Expositionszeiten für die einzelnen Perioden an. Aus Gründen des Personaleinsatzes konnten nicht alle 44 Diffusionssammler-Standorte an einem Tag betreut werden, so daß die einzelnen Expositionsperioden gebietsweise um bis zu 2 Tage verschoben sind.

Tabelle 2: Expositions-Perioden

Nr.	von	bis
1	14./16.10. 1996	28./30.10. 1996
2	28./30.10. 1996	12./14. 11. 1996
3	12./14.11. 1996	26./27. 11. 1996
4	26./27.11. 1996	9./11. 12. 1996
5	9./11. 12. 1996	19./23.12. 1996
6	19./23. 12. 1996	7./9.1. 1997
7	7./9. 1. 1997	21./23.1. 1997
8	21./23.1. 1997	5./6.2. 1997
9	5./6.2. 1997	18./20.2. 1997
10	18./20.2. 1997	5./6. 3.1997

Die detaillierte Aufstellung der Expositionszeiträume an den einzelnen Messpunkten findet sich im Anhang 2.

3 Messergebnisse

3.1 Schwefeldioxid, Überblick

Tabelle 3 zeigt die Mittelwerte der SO₂-Konzentration über die Expositionsperioden in µg/m³ an den Probenahmestandorten in Kärnten und in der Steiermark (angegeben ist die Nummer des Probenahmestandortes). Bei jenen Messpunkten, die sich bei einer kontinuierlich registrierenden Immissionsmeßstelle befanden, ist in der jeweils folgenden Zeile zusätzlich die an dieser registrierte Konzentration – gemittelt über den jeweiligen Expositionszeitraum – angegeben; beide Zeilen sind hellgrau unterlegt.

Die Bestimmungsgrenze (BG) für SO₂ und NO₂ wird mit 2 µg/m³, die Nachweisgrenze (NWG) mit 0,5 µg/m³ angegeben. Werte unter der NWG sind mit „n.n.“ (nicht nachweisbar) gekennzeichnet, Werte zwischen NWG und BG mit „<2“. In einer eigenen Spalte wird die mittlere Standardabweichung (RSD) aller exponierten Röhrchen an dem jeweiligen Messpunkt in Prozent aufgezeigt. Das verwendete Analysenverfahren weist in diesen niedrigen Messbereichen erwartungsgemäß keine hohe Genauigkeit auf. Viele Meßwerte liegen unter der Bestimmungsgrenze. Es gab nur 2 Standorte in Kärnten und 4 Standorte in der Steiermark, an denen die SO₂ Meßwerte in keiner Periode unter der Bestimmungsgrenze lagen. Zeitlich fallen die höheren Meßwerte für SO₂ in der 6. und 8. Expositionsperiode auf.

Tabelle 3: Expositionsperioden-Mittelwerte der SO₂-Konzentration an den Probenahmestandorten in µg/m³ sowie mittlere Standardabweichung (RSD)

SO ₂ , KÄRNTEN	Expositionsperiode Nr.										
Standort Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RSD%
1	2	<2	n.n.	3	<2	22	<2	10	5	4	18
2	4	<2	n.n.	2	<2	27	4	8	11	6	16
3	3	<2	2	3	<2	24	2	6	6	4	19
Bleiburg	27	23	9	15	17	31	17	17	16	16	
4	<2	n.n.	<2	2	<2	14	<2	2	<2	2	27
5	2	<2	<2	<2	<2	9	<2	3	3	<2	25
6	n.n.	<2	<2	3	<2	15	7	4	4	<2	17
7	<2	<2	<2	4	<2	14	4	6	5	3	21
8	7	6	2	7	2	15	4	6	15	9	13
9	11	4	2	22	4	21	4	26	16	6	15
10		<2	2	10	4	10	2	19	7	8	25
11	2	n.n.	<2	<2	<2	<2	n.n.	2	<2	2	28
12	3	n.n.	2	<2	<2	10	3	8	6	3	24
St. Georgen	10	7	3	7	6	17	12	12	12	9	
13	3	<2	<2	<2	<2	11	4	7	7	4	18
14	4	<2	<2	5	2	13	4	20	7	4	18
15	3	<2	n.n.	4	<2	9	4	11	7	6	17
16	n.n.	<2	2	3	<2	5	<2	4	2	2	26
17	6	<2	2	8	2	11	2	18	3	4	18
18	5	<2	6	9	3	8	3	5	5	3	23
19	<2	<2	2	<2	<2	11	3	7	4	5	25

Tabelle 3, Fortsetzung. Expositionsperioden-Mittelwerte der SO₂-Konzentration an den Probenahmestandorten in µg/m³ sowie mittlere Standardabweichung (RSD)

SO ₂ , STEIER- MARK	Expositionsperiode Nr.										RSD %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	<2	<2	n.n.	3	<2	10	2	6	4	<2	20
2	<2	<2	<2	4	3	13	3	10	3	<2	32
3	n.n.	3	3	<2	<2	6	<2	4	2	<2	20
4	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4	5	6	n.n.	<2	30
5	2	<2	<2	2	2	8	3	4	<2	<2	33
6	n.n.	2	<2	2	<2	12	3	4	5	<2	26
7	2	6	<2	4	<2	14	3	9	5	<2	19
8	3	<2	2	2	<2	6	3	4	2	2	19
Soboth	7	4	3	7	5	9	6	6	5	8	
9	3	2	<2	5	4	11	3	7	13	13	17
10	<2	6	2	3	<2	10	2	3	7	6	18
11	4	12	4	8	6	19	10	14	16	12	13
Arnfels	10	14	7	14	13	21	17	22	18	18	
12	2	5	<2	5	<2	14	<2	8	9	4	17
13	<2	3	<2	3	<2	10	3	3	<2	n.n.	27
14	3	10	<2	3	<2	18	5	13	7	4	23
15	5	9	2	5	3	26	9	11	10	7	14
16	2	5		4	2	20	8	10	10		21
17	3	5	3	4	3	12	9	9	7	2	17
Bockberg	13	15	14	18	12	21	17	16	13	10	
18	2	4	<2	<2	<2	13	4	7	5	<2	26
19	2	5	<2	2	2	19	8	13	6	<2	18
20	2	2	<2	<2	n.n.	14	9	7	9	3	21
21	2	3	n.n.	3	n.n.	15	7	3	6	3	24
22	2	2	<2	2	n.n.	17	7	6	6	<2	17
23	<2	2	<2	3	2	21	13	10	6	3	18
Klöch	6	6	6	11	13	23	25	14	7	12	
24	2	2	<2	<2	<2	18	6	7	6	2	20
25	2	<2	<2	4	4	22	10	9	5	3	17

3.2 Vergleich der SO₂-Meßergebnisse kontinuierliche Messungen mit jenen der Diffusionssammler

Abbildung 1 zeigt den Vergleich der SO₂-Periodenmittelwerte der Diffusionssammler mit den entsprechenden Mittelwerten der kontinuierlichen Messung an den im Untersuchungsgebiet gelegenen Meßstellen Bleiburg, St. Georgen, Arnfels, Bockberg, Soboth und Klöch.

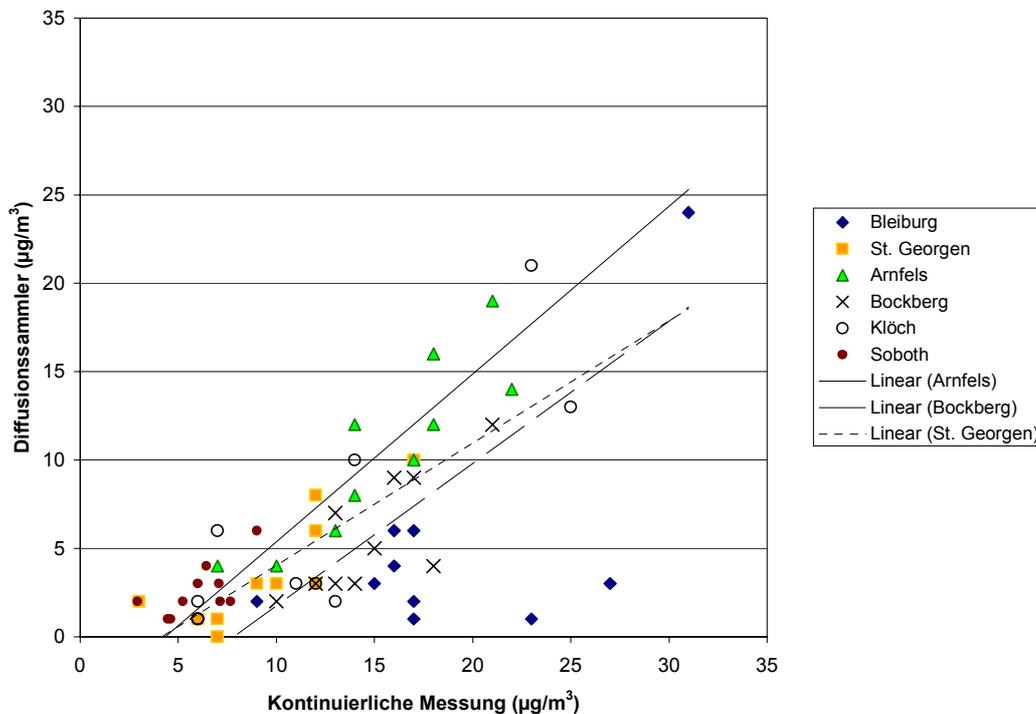


Abbildung 1: Vergleich der SO₂-Periodenmittelwerte der Diffusionssammler mit den entsprechenden Mittelwerten der kontinuierlichen Messung an den Meßstellen Bleiburg, St. Georgen, Arnfels, Bockberg, Soboth und Klöch

Den Diffusionssammler-Periodenmittelwerten "<2" wurde der Wert "1" zugewiesen, "n.a." der Wert "0". Für Arnfels, Bockberg und St. Georgen ist eine lineare Regressionslinie der Diffusionssammler-Werte angegeben; bei Bleiburg und Klöch wurde auf die Darstellung einer solchen verzichtet, da die Diffusionssammler-Meßwerte keine lineare Abhängigkeit von der kontinuierlich gemessenen SO₂-Konzentration zeigen.

Die Diffusionssammler unterschätzen die mit kontinuierlichen Messgeräten erfasste SO₂-Belastung an allen Messpunkten in allen Messperioden. Besonders krass fallen die Abweichungen in Bleiburg und Klöch auf, wo die Diffusionssammler-Ergebnisse mit jenen der kontinuierlichen Messung negativ korrelieren.

Minderbefunde der Diffusionssammler um einen Faktor von mehr als 2 wurden in Bleiburg in 9 von 10 Messperioden erzielt, in St. Georgen in 6, in Arnfels in 2, am Bockberg und in Klöch in 6 Messperioden. Diese hohen Minderbefunde treten vor allem bei niedriger SO₂-Belastung auf, während bei hoher Belastung die Übereinstimmung besser ist (abgesehen von Bleiburg), v.a. während der hochbelasteten Messperioden 6 und 9.

Daher muss man beachten, daß die Diffusionssammler-Ergebnisse gerade bei niedrigen Belastungen keine realitätsnahe Auskunft über die tatsächliche SO₂-Belastung geben und bei hoher Belastung – ca. ab 15 µg/m³ als 2-Wochen-Mittelwert – lediglich immer noch mit deutlichen Unterschätzungen von 10 bis 50 % gegenüber der kontinuierlichen Messung zu rechnen ist. Diffusionssammler geben daher nur qualitative Information über die räumliche Verteilung der SO₂-Belastung, nicht aber über deren exaktes Niveau.

3.3 Stickstoffdioxid, Überblick

Tabelle 4 gibt die mittleren Konzentrationen für NO₂ an den einzelnen Standorten an. Bei jenen Messpunkten, die sich bei einer kontinuierlich registrierenden Immissionsmeßstelle befanden, ist in der jeweils folgenden Zeile zusätzlich die an dieser registrierte Konzentration – gemittelt über den jeweiligen Expositionszeitraum – angegeben.

Tabelle 4: Expositionsperioden-Mittelwerte der NO₂-Konzentration an den Probenahmestandorten in µg/m³ sowie der mittleren Standardabweichung (RSD)

NO ₂ , KÄRNTEN		Expositionsperiode Nr.									
Standort Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RSD%
1	2	2	5	6	13	8	3	4	<2	<2	10
2	4	4	7	11	15	9	13	6	2	2	9
3	11	12	15	19	23	15	26	19	11	8	9
<i>Bleiburg</i>	14	15	20	35	31	27	38	37	40	28	
4	5	6	11	18	21	8	16	14	7	5	14
5	7	9	12	21	21	9	17	15	8	4	6
6	7	6	10	20	19	10	19	16	9	7	7
7	8	8	18	23	19	11	21	18	10	6	12
8	5	4	7	15	14	6	14	10	4	3	7
9	5	3	6	15	13	7	8	7	4	4	7
10		2	3	4	6	4	2	2	2	2	8
11	2	<2	3	<2	3	<2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	16
12	8	<2	12	21	21	9	23	16	8	5	9
<i>St. Georgen</i>	13	15	10	32	28	20	26	28	19	7	
13	6	7	11	17	20	8	16	13	5	3	14
14	3	3	8	10	14	8	6	6	2	2	12
15	4	4	5	10	11	7	7	7	2	2	12
16	5	6	10	18	20	10	21	18	8	5	13
17	2	2	6	10	14	7	4	5	2	2	12
18	2	2	5	5	4	4	<2	<2	<2	<2	13
19	8	12	13	19	23	12	22	13	6	5	5

Tabelle 4, Fortsetzung: Expositionsperioden-Mittelwerte der NO₂-Konzentration an den Probenahmestandorten in µg/m³ sowie der mittleren Standardabweichung (RSD)

NO ₂ , STEIER-MARK	Expositionsperiode Nr.										RSD%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Standort Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RSD%
1	9	19	13	27	21	10	14	14	5	7	8
2	3	3	4	10	11	7	3	3	<2	<2	5
3	2	3	3	3	6	4	<2	<2	<2	<2	17
4	<2	<2	<2	2	3	<2	19	n.n.	n.n.	n.n.	11
5	4	3	4	6	8	6	3	<2	<2	<2	8
6	8	7	10	20	21	11	21	10	4	3	8
7	6	4	6	14	13	9	8	5	<2	<2	3
8	<2	3	5	2	5	4	<2	<2	<2	<2	11
9	6	4	7	19	17	10	18	9	6	4	10
10	7	4	9	17	18	10	22	9	5	3	9
11	4	4	6	13	12	7	10	6	4	3	10
<i>Arnfels</i>	8	9	8	22	20	16	21	18	13	11	
12	5	3	7	15	14	8	13	6	5	3	13
13	7	6	9	17	18	10	23	13	8	4	13
14	6	6	8	15	17	10	20	6	3	2	7
15	6	5	8	14	18	9	18	6	3	3	9
16	10	8		21	20	10	20	13	6		11
17	13	14	23	22	25	14	26	15	9	8	6
<i>Bockberg</i>	7	8	6	12	12	9	10	5	4	4	
18	8	9	12	17	20	8	20	9	7	5	8
19	7	8	11	15	21	7	18	6	4	4	6
20	9	7	10	13	19	7	17	8	4	3	8
21	9	10	11	14	21	8	19	7	5	4	7
22	8	7	12	11	21	7	14	6	2	3	9
23	7	7	9	10	18	6	10	4	3	3	5
24	7	7	13	11	20	8	12	7	4	4	10
25	7	7	9	12	21	8	16	5	4	2	5

3.4 Vergleich der NO₂-Meßergebnisse kontinuierliche Messungen mit jenen der Diffusionssammler

Abbildung 2 zeigt den Vergleich der NO₂-Periodenmittelwerte der Diffusionssammler mit den entsprechenden Mittelwerten der kontinuierlichen Messung an den Standorten Bleiburg, St. Georgen, Arnfels, Bockberg und Klöch. Den Diffusionssammler-Periodenmittelwerten "<2" wurde der Wert 1 zugewiesen, "n.a." der Wert "0". Für Bleiburg, Arnfels und St. Georgen ist eine lineare Regressionslinie der Diffusionssammler-Werte angegeben.

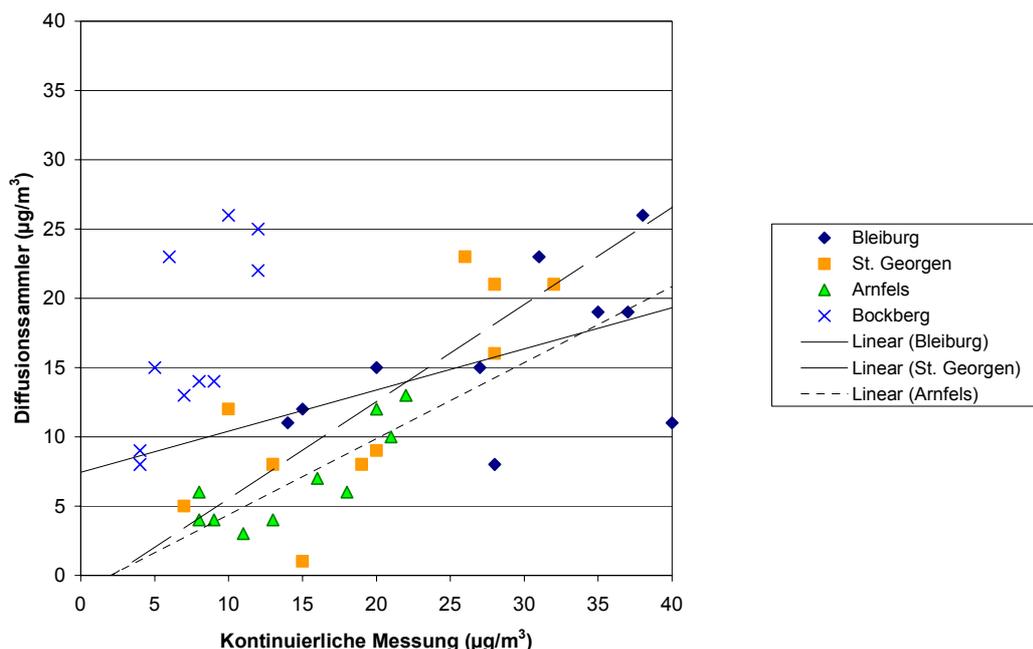


Abbildung 3: Vergleich der NO₂-Periodenmittelwerte der Diffusionssammler mit den entsprechenden Mittelwerten der kontinuierlichen Messung an den Messstellen Bleiburg, St. Georgen, Arnfels, Bockberg und Klöch

Mit Ausnahme eines Periodenmittelwertes an der Station St. Georgen unterschätzen die Diffusionssammler an diesen Meßstellen die kontinuierlich erfasste NO₂-Belastung während aller Messperioden, wobei das Ausmaß der Unterschätzung mit der Konzentration zunimmt. Am relativ stärksten fielen die Minderbefunde in Arnfels aus, wo die Diffusionssammler während 6 von 10 Messperioden die kontinuierlich gemessene NO₂-Belastung um mehr als 50 % unterschätzten; in Bleiburg war dies in 2, in St. Georgen in 3 Messperioden der Fall.

An der Station Bockberg erfassten die Diffusionssammler in allen Messperioden höhere NO₂-Konzentrationen als die kontinuierliche Messung; dieser Sachverhalt entzieht sich einer schlüssigen Interpretation.

4 Interpretation

4.1 Übersicht der meteorologischen Verhältnisse

Die höchsten Periodenmittelwerte traten bei SO₂ und NO₂ zumeist im Jänner 1997 auf, der von tiefen Temperaturen und häufig auftretenden Hochdruckgebieten über Osteuropa mit stabiler Schichtung der bodennahen Atmosphäre gekennzeichnet war, an deren westlichem Rand das Untersuchungsgebiet lag. Daraus resultierten relativ hohe Emissionsmengen sowie ungünstige Schadstoffausbreitungsbedingungen.

Der Winter 1996/97 wies in der Südsteiermark - abgesehen von Dezember - überdurchschnittliche Temperaturen auf, ganz besonders im November und Februar. Graz lag im Dezember und Jänner in einem Übergangsbereich zwischen dem ungewöhnlich kalten Nordost- und Ostösterreich, wo in diesen Monaten Temperaturabweichungen

von über -1,5 °C vom klimatischen Mittel beobachtet wurden - dies war auf das Auftreten von wolkenarmen Hochdruckgebieten mit Einfließen kontinentaler Kaltluft zurückzuführen -, und einem Kärnten und die Zentralalpen umfassenden Gebiet, in dem im Dezember fast durchschnittliche und im Jänner bis 2 °C über dem langjährigen Mittel liegende Temperaturen beobachtet wurden. Insgesamt war der Zeitraum von November 1996 bis März 1997 in dieser Region außergewöhnlich niederschlagsarm.

Im folgenden wird eine Zusammenstellung der Temperaturverhältnisse in Graz (Flughafen) in Relation zu den klimatologischen Mittelwerten gegeben. Tabelle 5 gibt die Monatsmittelwerte der Temperatur und deren Abweichung vom klimatologischen Mittelwert an. Das klimatologische Mittel wird für den Zeitraum 1961 bis 1990 berechnet.

Tabelle 5: Monatsmittelwerte der Temperatur (T) in °C und deren Abweichung vom klimatologischen Mittelwert (TA) in °C in Graz (Flughafen)

	Okt. 96	Nov. 96	Dez. 96	Jän. 97	Feb. 97	März 97
T (°C)	11,0	6,9	-2,1	-2,7	3,4	5,9
TA (°C)	1,4	3,5	-0,8	0,4	3,5	1,6

In den folgenden Kapiteln wird für die einzelnen Messperioden eine Interpretation des Belastungsbildes durch SO₂ gegeben. Dazu werden für ausgewählte Messperioden ein Überblick über die Großwetterlage sowie über die Witterung im Südosten Österreichs gegeben und speziell die Windverhältnisse in dieser Region diskutiert; als großräumig repräsentative Meßstelle wird Schöckl (1442 m, nördlich von Graz) herangezogen. Zur Beurteilung der Stabilität der bodennahen Atmosphäre, d.h. der Ausbreitungsverhältnisse, werden Temperaturdaten der Standorte Graz (370 m), Arnfels-Remschnigg und Schöckl herangezogen.

4.2 Messperiode 1 (14./16.10. - 28./30. 10. 1996)

Während der ersten Messperiode wehte am Schöckl weitaus überwiegend Nordwestwind (43,6 % aus dem Sektor 300 bis 320°). In Arnfels wurde ganz überwiegend Südwestwind beobachtet. Die Temperaturverteilung an den drei Meßstellen Graz, Arnfels und Schöckl zeigt bis 21.10. zumeist labile Schichtung der Atmosphäre. Lediglich in einigen Nächten bildete sich eine bodennahe Inversion aus; eine solche trat ab 21.10. täglich auf. Ab 26.10. erwärmte sich die Atmosphäre in größerer Höhe stärker als in Bodennähe, so daß sich von 27. bis 28.10. eine hochreichende Inversion ausbildete.

Immissionssituation

Die kontinuierlich registrierenden SO₂-Meßstellen lieferten während des Großteils der Messperiode 1 – bis 25.11. und ab 29.11. - konstant und großflächig einheitlich niedrige Konzentrationen meist um 5 µg/m³. Am 14. und 15.10. wurden Spitzen bis 40 µg/m³ in Arnfels-Remschnigg beobachtet; während einer kurzen Episode am 21.10. wurden in Arnfels-Remschnigg 45 µg/m³ erreicht. Zwischen 25. und 29.10., als unregelmäßiger südlicher Wind vorherrschte, stieg die SO₂-Konzentration an allen Meßstellen in Südostkärnten und der Südsteiermark jeweils für einige Stunden steil an; die maximalen HMW lagen in St. Georgen Herzogberg bei 120 µg/m³, in Arnfels-Remschnigg am 29.10. bei 265 µg/m³.

Die Diffusionssammler zeigen bei SO₂ sehr starke Unterbestimmung gegenüber den mit kontinuierlich registrierenden Messgeräten erfassten Werten (z.B. in St. Georgen Herzogberg 3 µg/m³ gegenüber 10 µg/m³ als Periodenmittelwert). Die höchsten Diffusionssammler-Meßwerte wurden im Grenzgebiet zu Slowenien um Lavamünd erreicht

(maximal 11 µg/m³), etwas erhöht war die Konzentration um Wolfsberg (6 µg/m³), ansonsten wurden zumeist Konzentrationen von 2 bis 3 µg/m³ gemessen. Neben SO₂-Transport aus Slowenien könnten Emissionen im Raum Wolfsberg (Frantschach) für das Belastungsbild verantwortlich sein.

Relativ niedrig waren die NO₂-Meßwerte der Diffusionssammler, die zumeist unter 8 µg/m³ lagen. Die höchsten Werte wurden südlich von Bleiburg (11 µg/m³) und im Leibnitzer Feld (13 µg/m³ in Wildon) registriert.

4.3 Messperiode 2 (28./30.10. bis 12./14.12. 1996)

Bis 1.11. herrschte westliche Strömung mit Einfließen maritimer Luftmassen in Mitteleuropa, wobei in den Niederungen im Untersuchungsgebiet Kaltluftseen mit häufigem Nebel bestanden. Bis 3.11. wehte am Schöckl Nordwestwind, der nachts meist auch in der Südoststeiermark am Boden beobachtet wurde. Von 1. bis 4.11. herrschte Hochdruckwetter, es war sonnig mit großen täglichen Temperaturschwankungen (3 bis 5 °C nachts, 17 bis 19°C nachmittags). Am 28.10. sowie vom 31.10. bis 4.11. bildete sich ab dem Abend jeweils eine hochreichende Inversion aus. Vor dem Kaltfrontdurchgang, der die Südsteiermark am 4.11. erfasste, drehte der Wind am Schöckl kurzzeitig auf Süd-südost. Die Kaltfront führte am 5.11. zu rascher Abkühlung am Schöckl. In den folgenden Tagen wehte der Wind großräumig von Nordwesten, am Schöckl wechselte der Wind zeitweise von (überwiegend) Nordwest auf Süd. Der großräumige Nordwestwind drehte am 11.11. auf Südwest, am Schöckl und in der Südsteiermark wehte der Wind dann beständig von Süden. Während der zweiten Messperiode überwog am Schöckl Nordwestwind insgesamt deutlich (39 %). Ab 7.11. war es in der Höhe deutlich kälter als in Bodennähe, vor allem vom 10. bis 14.11. war die Temperaturschichtung zwischen 600 m und 1500 m infolge der starken Erwärmung am Boden sehr labil. In Bodennähe bildete sich hingegen ab 31.10. täglich eine Inversion aus.

Immissionssituation

Die Meßstellen im Untersuchungsgebiet erfassten während des Großteils der Messperiode 2 niedrige SO₂-Konzentrationen um 5 µg/m³. Die Meßstellen in der Südsteiermark registrierten wiederholt kurzzeitige SO₂-Spitzen, die jeweils mit dem Auftreten von Südost- bis Südwestwind am Schöckl zusammentrafen. Die höchsten Werte wurden jeweils in Arnfels-Remschnigg registriert, wo - nach dem Spitzenwert von 265 µg/m³ am 29.10. - am 31.10., 4.11., 6.11. und 10.11. jeweils 70 bis 90 µg/m³ erreicht wurden. Ostkärnten war bis 5.11. kaum belastet, an den folgenden Tagen wurden Spitzen um 50 µg/m³ registriert. Am 11. und 14.11. war hier die Belastung höher als in der Südsteiermark.

Während der 2. Messperiode registrierten die Diffusionssammler die höchsten SO₂-Werte in der Südsteiermark zwischen Arnfels und Leibnitz. Die höchste SO₂-Konzentration wurde in Arnfels mit 12 µg/m³ gemessen (kontinuierlich registrierende Messung: 14 µg/m³), im Sausal 10 µg/m³, in Ratsch bei Gamlitz 9 µg/m³. Östlich der Mur lagen die Ergebnisse bei 2 bis 5 µg/m³, im Großteil Südostkärntens um 2 µg/m³, lediglich um Lavamünd mit 6 µg/m³ etwas höher. Das Belastungsbild deutet auf SO₂-Transport vorwiegend in den Bereich des östlichen Poßruck und des Leibnitzer Feldes hin. Die kontinuierlich registrierenden Meßstellen erfassten allerdings auch in Südostkärnten hohe Belastung (Periodenmittelwert 23 µg/m³ in Bleiburg, 7 µg/m³ in St. Georgen).

Relativ niedrig war die mit den Diffusionssammlern erfasste NO₂-Belastung, deren Maximalwerte in Bleiburg (12 µg/m³) und in Wildon (14 µg/m³) auftraten. Etwas erhöht war

die Belastung im äußersten Südostkärnten, im Leibnitzer Feld und in der Oststeiermark mit 6 bis 9 µg/m³.

4.4 Messperiode 3 (12./14.11. bis 26./27.11. 1996)

Während der dritten Messperiode herrschten überwiegend Nordwest- bis Westwetterlagen, daher waren die SO₂-Konzentrationen in der 3. Messperiode relativ niedrig. Spitzen traten vorwiegend bei südlichem Wind auf, maximal wurden am 19.11 in Arnfels-Remschnigg 50 µg/m³, am 23.11. 60 µg/m³, am 27.11. 125 µg/m³ erreicht. Erhöhte Belastungen in Südostkärnten traten v.a. bei Südostwind am Schöckl am 14.11. (45 µg/m³ in St. Georgen) auf. Ansonsten lag die SO₂-Konzentration unter 10 µg/m³. Die höchsten Werte der Diffusionssammler-Messungen wurden bei Wolfsberg (6 µg/m³) und in Arnfels (4 µg/m³, kontinuierliche Messung: 7 µg/m³) registriert. Ansonsten lagen die Konzentrationen meist unter 2 µg/m³. Dies kann auf das windige Wetter und das weitgehende Fehlen hochreichend stabiler Schichtung zurückgeführt werden.

Die NO₂-Konzentrationen waren hingegen relativ hoch, maximal wurden in Bleiburg 15 µg/m³, in Lavamünd 18 µg/m³, in Wildon 23 µg/m³, in Kapfenstein (Oststeiermark) 13 µg/m³ registriert; im Leibnitzer und Grazer Feld sowie in der Oststeiermark war die NO₂-Konzentration mit meist über 10 µg/m³ insgesamt vergleichsweise hoch.

4.5 Messperiode 4 (26./27.11. 1996 bis 9./11. 12. 1996)

Bis 1.12. beeinflusste ein Höhentief über Mitteleuropa das Wetter im Untersuchungsgebiet, wobei in Österreich Nordwestwind überwog und meist feuchte, maritime Luftmassen die Alpen erreichten. Am Schöckl wehte zumeist Nordwestwind, der zeitweise auf Süd bis Südost drehte; dieser Wechsel der Strömung kann auf Höhentiefs über Italien zurückgeführt werden. Zeitweise schneite es während dieser Tage. Die Atmosphäre war zumeist labil geschichtet, bei starker Erwärmung in 1500 m am 29. und 30.11. und am 2.12. bildeten sich zeitweilig abgehobene Inversionen. Ab 3.12. wehte am Schöckl unbeständiger Wind aus Südost bis Südwest, in der Südsteiermark überwog Ost- bis Südwind. Von Südwesten flossen milde maritime Luftmassen nach Mitteleuropa, die in höheren Luftschichten eine stärkere Erwärmung verursachten; am 4.12. stellte sich über dem Untersuchungsgebiet bis 1500 m isotherme Temperaturschichtung ein, von 5. bis 10.12. eine starke abgehobene Inversion, wobei sich in Bodennähe Kaltluft hielt und es neblig bzw. mit niedriger Schichtbewölkung bedeckt war. Die Temperatur lag in Graz konstant bei ca. -3 bis -2°C, am Schöckl bei 0 bis +5 °C. Ab 10.12. erwärmte sich die Luft am Boden.

Immissionssituation

Der Verlauf der SO₂-Konzentration zeigt an allen kontinuierlich registrierenden Meßstellen einen klaren Zusammenhang mit den großräumigen Windverhältnissen. Bei Nordwestwind wurden zumeist Konzentrationen unter 5 µg/m³ gemessen, bei südlichem Wind traten vor allem in der Südsteiermark, seltener in Ostkärnten Spitzen von 30 bis 50 µg/m³ auf; die höchsten Spitzenwerte wurden in Arnfels mit 125 µg/m³ am 27.11., 95 µg/m³ am 29.11. und 115 µg/m³ am 4.12. registriert. Am 8. und 9.12. wies Klöch die höchste Belastung auf, am 6. und 10.12. St. Georgen.

Die mit den Diffusionssammlern erfasste SO₂-Belastung war in der vierten Messperiode relativ hoch, vor allem im äußersten Südosten Kärntens. Bei Lavamünd wurden am Messpunkt 9 22 µg/m³ registriert, am Messpunkt 10 10 µg/m³. Im Raum Bleiburg, wo die kontinuierliche Messung ein Periodenmittel von 15 µg/m³ ergab, lieferten die Diffusionssammler 2 bis 4 µg/m³; erhöht gelegene Messpunkte bei Wolfsberg registrierten

bis 9 µg/m³. Die Südsteiermark war geringer belastet; maximal wurden hier in Arnfels-Remschnigg 8 µg/m³ gemessen (kontinuierliche Messung: 14 µg/m³), in der West- und der Oststeiermark 2 bis 4 µg/m³, im Leibnitzer Feld 3 bis 5 µg/m³. Das Belastungsbild deutet klar auf SO₂-Transport aus Slowenien hin. Ausschlaggebend war der häufige Südostwind bei hochreichend stabiler Schichtung ab dem 5.12.

Auch die NO₂-Konzentration war vergleichsweise hoch; Periodenmittelwerte über 20 µg/m³ wurden an mehreren Messpunkten in Südostkärnten und im Leibnitzer Feld gemessen, wobei es sich um meist verkehrsbelastete Standorte im Tiefland handelt. Aber auch an erhöhten Messpunkten traten NO₂-Konzentrationen von 10 bis 15 µg/m³ auf. Die niedrigsten NO₂-Werte wurden im hoch mit SO₂ belasteten Gebiet östlich von Lavamünd sowie in der Weststeiermark registriert.

4.6 Messperiode 5 (9./11.12. 1996 bis 19./23.12. 1996)

Während der 5. Messperiode wehte häufig großräumig Wind von West bis Südwest, es kamen milde, feuchte Luftmassen in den Alpenraum und verursachten Regen bzw. Schneefall. In Bodennähe war die Atmosphäre meist labil geschichtet.

Die SO₂-Konzentration zeigte in der 5. Messperiode kurzzeitige Spitzen, sofern der Wind in der Südoststeiermark von Süden bis Südosten wehte, und Werte um 5 µg/m³ bei Nordwestwind. Der schwache, relativ unbeständige Wind am Schöckl bis zum 13.12. lässt keinen so klaren Zusammenhang mit dem SO₂-Konzentrationsverlauf erkennen. Am 12. und 13.12. traten in Arnfels-Remschnigg Konzentrationsspitzen von 90 bzw. 140 µg/m³ auf, in Klöch bis 60 µg/m³. Bei Nordwestwind war die Konzentration am 14. und 15.12. relativ niedrig um 5 µg/m³, am 16., 20. und 21.12. wurden wieder Spitzen um 50 µg/m³ registriert. Bei relativ beständigem Südwind wies am 22. und 23.12. Klöch mit bis 40 µg/m³ die höchste Belastung auf, während Arnfels und die südostkärntner Meßstellen konstant um 10 µg/m³ registrierten. Die mit den Diffusionssammlern erfasste SO₂-Belastung war relativ niedrig und wies Maximalwerte in Arnfels (6 µg/m³, kontinuierliche Messung 13 µg/m³) sowie bei Lavamünd (4 µg/m³) auf, ansonsten lag sie zumeist unter 2 µg/m³.

Die NO₂-Belastung war hoch und erreichte an mehreren Messpunkten in Südostkärnten - vor allem um Bleiburg -, im Leibnitzer Feld und in der Oststeiermark 20 µg/m³ oder mehr. Am höchsten belastet war Wildon mit 25 µg/m³. NO₂-Konzentrationen unter 10 µg/m³ wurden nur in der Weststeiermark gemessen.

4.7 Messperiode 6 (19./23.12. 1996 bis 7./9.1. 1997)

Bis 24.12. stand der Alpenraum meist unter dem Einfluss maritimer Luftmassen, die von Westen nach Mitteleuropa einfließen. Es regnete bzw. schneite im Untersuchungsgebiet häufig, wobei die Niederschlagstätigkeit zeitweise durch Tiefbildungen über Norditalien verstärkt wurde. Es war vom 20. bis 24.12. meist bewölkt (niedrige Schichtbewölkung) oder nebelig. Während die atmosphärische Schichtung in Bodennähe meist labil blieb, bildete sich eine abgehobene Isothermie oder - vor allem am 19. und 23.12. - Inversion aus, die eine Folge von Warmluftadvektion in größerer Höhe war. Am Schöckl wehte der Wind meist von Süd bis Südwest, am 21.12. drehte er zeitweise auf Nordwest. Am 25.12. drang von Norden polare Kaltluft bis zu den Alpen vor, der Wind am Schöckl drehte auf Nordwest. Die Temperatur sank kontinuierlich. Während es am 25.12. schneite, waren die folgenden Tage fast wolkenlos. In der Nacht vom 26. auf den 27. sowie vom 27. auf den 28.12. sank die Temperatur am Schöckl unter -21°C, in Graz auf -16°C. Die Temperaturschichtung war meist labil. Am 27.12. drehte der Wind am Schöckl auf Süd bis Ost, am 29.12. auf Nordnordwest.

In den folgenden Tagen bestimmte ein kontinentales Hochdruckgebiet das Wetter im östlichen Mitteleuropa, was u.a. in Nordostösterreich sehr kaltes Wetter bedingte. Der Süden Österreichs stand hingegen häufig unter dem Einfluss von Tiefdruckgebieten über Italien bzw. von maritimen Luftmassen, die am Westrand dieses Hochdruckgebietes in Mitteleuropa einfließen. Zeitweise schneite oder regnete es. Ab 29.12. stieg zunächst am Schöckl, später auch in niedrigeren Lagen die Temperatur kontinuierlich an und erreichte am 4.1. auf dem Schöckl 0°C. Je nachdem, ob Südostösterreich im Einflussbereich mediterraner Tiefdruckgebiete oder nordwestlicher Strömung stand, wechselte der Wind am Schöckl zwischen Süd bis Südwest und Nordwest. Insgesamt war es von 30.12. bis 9.1. im Untersuchungsgebiet meist bedeckt, es schneite häufig; die meist maritimen Luftmassen bedingten ein Temperaturniveau von -8 bis -2°C, was deutlich wärmer war als in Nordostösterreich. Ab dem 5.1. war die Temperaturschichtung eher labil. Während der Messperiode 6 überwog am Schöckl deutlich Süd- bis Südwestwind.

Immissionssituation

Die SO₂-Konzentrationen an den einzelnen Probenahmepunkten sind in Karte 3 dargestellt. Abbildung 4 zeigt die SO₂-Konzentration in St. Georgen und Arnfels-Remschnigg sowie die Windrichtung auf dem Schöckl (90° = Ost, 180° = Süd, 270° = West, 360° = Nord).

Die SO₂-Belastung war während der Messperiode 6 an allen Meßstellen im Untersuchungsgebiet relativ hoch. Abgesehen vom Kaltlufteinbruch am 26.12. stellte sich nie eine „Hintergrund-Belastung“ um 5 µg/m³ ein, die Konzentration lag vielmehr vom 21. bis 23.12. sowie vom 31. 12. bis 9.1. großflächig bei 10 bis 15 µg/m³, Anfang Jänner in der Südsteiermark noch darüber (in Arnfels zwischen 25 und 45 µg/m³). Höhere Spitzen korrelierten meist mit Südwind am Schöckl und wurden v.a. in Arnfels am 30.12. (75 µg/m³), am 4.1. (115 µg/m³), am 5.1. (130 µg/m³) und am 9.1. (115 µg/m³) beobachtet, in St. Georgen Herzogberg am 24.12. (75 µg/m³) und am 4.1. (155 µg/m³), in Klöch am 7.1. (75 µg/m³). Die Messperiode 6 wies an den meisten kontinuierlich registrierenden Meßstellen – ebenso wie bei den Diffusionssammlern, die allerdings absolut zumeist hinter den Meßergebnissen der kontinuierlich registrierenden Meßstellen zurückblieben - die höchste SO₂-Belastung während des gesamten Messzeitraumes auf. Neben den infolge niedriger Temperatur wohl erhöhten SO₂-Emissionen aus Kraftwerken war hierfür primär das Überwiegen von südlichem Wind bei meist stabiler atmosphärischer Schichtung verantwortlich.

Die höchsten Periodenmittelwerte wurden mit über 20 µg/m³ im südöstlichen Kärnten registriert – 27 µg/m³ in Gradischnig, 24 µg/m³ in Bleiburg (kontinuierliche Messung 31 µg/m³), 22 µg/m³ in Hemmaberg – sowie in der südöstlichen Steiermark – 26 µg/m³ in Ratsch, 22 µg/m³ in Riegersburg. Periodenmittelwerte um 20 µg/m³ traten verbreitet zwischen dem Leibnitzer Feld und der Steiermärkischen Ostgrenze auf. In Arnfels-Remschnigg lag der Periodenmittelwert bei 19 µg/m³ (kontinuierliche Messung 21 µg/m³). In der Weststeiermark war die SO₂-Konzentration mit 10 bis 15 µg/m³ geringer, wobei nördlich von Deutschlandsberg auch Periodenmittelwerte unter 10 µg/m³ auftraten. Vergleichbar hoch war die Belastung auch im mittleren und nördlichen Lavanttal.

Das Belastungsbild zeigt, daß SO₂ einerseits in das Südostkärntner Grenzgebiet um Bleiburg und Lavamünd, andererseits mit westsüdwestlicher Strömung in die Südoststeiermark verfrachtet wurde, wobei hier die Bezirke Leibnitz, Radkersburg und Feldbach besonders betroffen waren. Die hohe Belastung im Raum Feldbach lässt vermu-

ten, daß auch noch weit nordöstlicher gelegene Gebiete von außergewöhnlich hoher SO₂-Belastung betroffen waren.

Die NO₂-Konzentration war während der Messperiode 6 hingegen vergleichsweise niedrig (geringer als z.B. in der Messperiode 4 oder 5). Maximal wurden in Bleiburg 15 µg/m³ als Periodenmittelwert gemessen, an den meisten Kärntner Messpunkten unter 10 µg/m³. In der Steiermark wurden an mehreren Messpunkten im Leibnitzer Feld 10 µg/m³ erreicht, maximal 14 µg/m³ in Wildon. Die im Vergleich zur SO₂-Belastung niedrige NO₂-Belastung ist ein weiteres Indiz, daß für die hohe SO₂-Belastung primär Transport von Südwesten her und nicht wegen der tiefen Temperaturen erhöhte Emissionen und ungünstige Ausbreitungsbedingungen verantwortlich waren.

4.8 Messperiode 7. (7./9.1. 1997 bis 21./23.1. 1997)

Ein Hochdruckgebiet bestimmte das Wetter über Mitteleuropa, dessen Zentrum sich zunächst über Ostmitteleuropa befand und sich ab 17.1. mehr nach Südosteuropa verlagerte. Das Untersuchungsgebiet lag meist am Südwestrand dieses Hochdruckgebietes und wurde zeitweise von Tiefdruckgebieten über dem Mittelmeer beeinflusst. Während die Atmosphäre in Bodennähe labil geschichtet war, bildete sich zumeist zwischen 600 m und 1500 m eine stabile Schichtung aus. Der Wind kam am Schöckl meist von Südosten bis Südwesten, er drehte am 10.1. auf Nordost bis Nordwest.

Immissionssituation

Bis 9.1. wehte überwiegend Südwest- bis Südostwind, die SO₂-Konzentration war an allen kontinuierlich registrierenden Meßstellen im Untersuchungsgebiet deutlich erhöht, sie lag in Arnfels und St. Georgen am 7.1. bei 50, dann bei 30 µg/m³, in Klöch am 7.1. über 60 µg/m³, anschließend um 45 µg/m³. In Arnfels-Remschnigg wurde am 9.1. eine kurzzeitige Konzentrationsspitze von 115 µg/m³ beobachtet. Die Drehung des Windes auf Nord am 10.1. ließ die SO₂-Konzentration überall kurzzeitig abfallen, allerdings wurden in der Nacht vom 10. auf den 11.1. in Klöch SO₂-Werte über 60 µg/m³, in Arnfels bis 40 µg/m³ gemessen. Vermutlich handelte es sich dabei um SO₂-Ferntransport aus der Slowakei oder Tschechien; an diesen Tagen war Nordostösterreich von starkem SO₂-Import aus den nordöstlichen Nachbarstaaten betroffen. In Illmitz wurden mittags maximal 130 µg/m³ erreicht, am Masenberg (Oststeiermark) 65 µg/m³.

Zwischen 12. und 17.1. wehte relativ unbeständiger Wind aus meist südlicher bis südwestlicher Richtung. In Arnfels-Remschnigg sowie an den südostkärntner Meßstellen blieb die SO₂-Belastung mit unter 5 µg/m³ sehr niedrig, in Klöch lag sie meist um 20 µg/m³ und erreichte am 15.1. Spitzen von 85 µg/m³. Die mächtige abgehobene Inversion, die sich in der Südsteiermark ab 14.1. ausbildete, beeinflusste das Immissionsgeschehen mithin kaum. Nach einer kurzen Konzentrationsspitze von 55 µg/m³ in der Nacht vom 17. auf den 18.1. stieg in Arnfels die SO₂-Belastung ab 19.1. auf meist 10 bis 60 µg/m³ an, wohingegen sie in Klöch auf unter 20 µg/m³ sank. Dies ging mit einer deutlichen Erwärmung in Arnfels einher. Die oberhalb der bodennahen Inversion gelegene Luft, von welcher die Meßstelle Arnfels nun erreicht wurde, war offensichtlich deutlich SO₂-reicher. Am 22.1. drehte der Wind wieder großräumig auf Süd, was hohe SO₂-Konzentrationen in der Südsteiermark, nicht aber in Südostkärnten zur Folge hatte. In Arnfels wurden bis 130 µg/m³, in Klöch bis 60 µg/m³ gemessen.

Die Diskrepanz zwischen den Meßergebnissen der Diffusionssammler und der kontinuierlich registrierenden Meßstellen ist während der Messperiode 7 besonders groß. Die Diffusionssammler lieferten in Südostkärnten extreme Minderbefunde (2 µg/m³ in Bleiburg gegenüber 17 µg/m³ an der kontinuierlich registrierenden Meßstelle, 3 µg/m³ in St.

Georgen gegenüber 12 µg/m³). In der Südsteiermark sind die Unterbestimmungen immer noch krass mit 10 µg/m³ in Arnfels (kontinuierlich 17 µg/m³) oder 13 µg/m³ in Klöch (kontinuierlich 25 µg/m³). Die Diffusionssammler-Messungen geben immerhin das Bild der kontinuierlichen Messungen nur qualitativ wieder, wonach die Südsteiermark in der Messperiode 7 deutlich höher belastet war als Südostkärnten.

Die Messungen zeigen auch, daß die hochreichende sehr stabile Schichtung, die vom 14. bis 19.1. vorherrschte, keinen entscheidenden Einfluss auf die SO₂-Belastung hatte. Vielmehr wurden gerade während dieser Tage – abgesehen von Klöch – trotz südlichem Wind vergleichsweise niedrige SO₂-Werte beobachtet.

Die NO₂-Belastung war hingegen während der Messperiode 7 außergewöhnlich hoch, was auf die zumeist sehr stabilen Ausbreitungsbedingungen in Bodennähe zurückgeführt werden kann. Die Periodenmittelwerte lagen an zahlreichen Messpunkten Südostkärntens und der Südsteiermark über 20 µg/m³, maximal wurden 26 µg/m³ in Bleiburg registriert. Etwas niedriger war die Belastung v.a. in der Oststeiermark (10 bis 15 µg/m³); an siedlungsfernen Messpunkten Südostkärntens lag sie um 5 µg/m³.

4.9 Messperiode 8 (21./23.1. 1997 bis 5./6.2. 1997)

Bis 25.1. war es im Untersuchungsgebiet bewölkt oder nebelig, wobei sich in Bodennähe meist stabile Schichtung hielt. Zeitweise regnete oder schneite es. In der Höhe des Schöckl war es bis 22.1. kälter als in den Niederungen, ab 23.1. flossen aber in der Höhe sehr milde maritime Luftmassen von Südwesten ein, so daß am Schöckl die Temperatur auf +6 bis 10°C stieg, wohingegen sie in Graz um 0°C lag. Der Wind drehte am Schöckl auf Süd, später auf Ost und Nord, und war insgesamt schwach. Gegen Abend des 24.1. machte sich die Warmluftadvektion auch in Arnfels-Remschnigg bemerkbar. Im Verlauf des 25.1. geriet der Ostalpenraum unter den Einfluss eines kontinentalen Hochdruckgebietes, wobei von Nordosten polare Luftmassen in den Alpenraum einfließen. Die Temperatur sank am Schöckl bis 26.1. morgens auf -10°C, in Graz bis 27.1. morgens auf -6°C; der Wind drehte am Schöckl auf Ost. Bereits am 27.1. drehte der Wind am Schöckl auf Süd; es setzte sich im Untersuchungsgebiet wieder maritime Luft von Süden her durch, und zwar zunächst in 1500 m. Damit bildete sich wieder eine ausgeprägte abgehobene Inversion aus, wobei am Schöckl bis +3°C, in Graz um -4°C registriert wurden. Am 26. und 27.1. wehte am Schöckl Südost- bis Südwind, ab 28.1. sehr beständiger Nordwestwind. Der Kern des wetterbestimmenden Hochdruckgebietes lag über den Britischen Inseln. Damit verbunden drang Kaltluft in den Ostalpenraum ein. Ab 29.1. war es gering bewölkt mit großen Tagesamplituden der Temperatur. Eine abgehobene Inversion hielt sich die meiste Zeit, ab 1.2. häufig auch eine Bodeninversion bzw. Isothermie. Das Zentrum des Hochs verlagerte sich im Lauf der Tage nach Mittel- und ab 3.2. nach Südosteuropa. Ab 2.2. wechselte der Nordwestwind am Schöckl über West auf Südost. Es wurde bis 6.2. in allen Höhen wärmer (Tagesmaximum in Graz am 3.2. 0°C, am 6.2. +8°C); die Bewölkung blieb gering. Bis 5.2. morgens bestand eine starke abgehobene Inversion, dann kühlte es am Schöckl deutlich ab.

Immissionssituation

Abbildung 5 zeigt die SO₂-Konzentration in St. Georgen und Arnfels-Remschnigg sowie die Windrichtung auf dem Schöckl.

Die SO₂-Belastung war insgesamt relativ hoch und zeigte erhöhte Werte zumeist bei Auftreten von Südwind, so am 22.1. in der Südsteiermark mit bis zu 130 µg/m³ in Arnfels-Remschnigg. Die Drehung des Windes auf Süd in der Nacht vom 25. auf den 26.1.

brachte einen raschen Anstieg der SO₂-Konzentration im gesamten Untersuchungsgebiet auf bis 75 µg/m³. Während der folgenden Tage, die von beständigem Nordwestwind am Schöckl gekennzeichnet waren, blieb die SO₂-Konzentration an den meisten Meßstellen im Untersuchungsgebiet unter 10 µg/m³, allerdings traten vor allem in Arnfels-Remschnigg, aber auch in Südostkärnten sehr kurzzeitige Spitzen auf, die durch Transport zufolge des lokal sehr uneinheitlichen und unbeständigen Windes in Bodennähe bedingt waren. So wurde in Arnfels-Remschnigg am 28.2. ein maximaler HMW von 185 µg/m³, am 31.1. von 125 µg/m³ registriert. Die Winddrehung auf südliche Richtung am 3.2. brachte wieder ein großflächiges Ansteigen der SO₂-Belastung, wobei in Arnfels-Remschnigg am 4.2. maximal 85 µg/m³ auftraten. Bei beständigem Nordwestwind lag am 6.2. die SO₂-Konzentration wieder großflächig unter 20 µg/m³. Die Diffusionssammler ergaben die höchste Belastung im Bereich um Lavamünd (26 µg/m³ als Periodenmittelwert am Messpunkt 9), aber auch an höher gelegenen Standorten am Ost- und Westhang des Lavanttales bei St. Andrä (20 µg/m³ bzw. 18 µg/m³ an den Messpunkten 14 und 17). Die Tallagen waren geringer belastet, in Bleiburg wurden 6 µg/m³ registriert (an der kontinuierlich registrierenden Meßstelle 17 µg/m³). Der Konzentrationsverlauf in St. Georgen Herzogberg deutet darauf hin, daß SO₂-Transport ins Lavanttal vor allem am 25. und 26.1. während einer Periode mit Südost- bis Südwind stattfand.

In der Südsteiermark war die SO₂-Belastung generell geringer, maximal wurden 14 µg/m³ in Arnfels-Remschnigg (kontinuierlich registrierende Meßstelle: 22 µg/m³) gemessen. Periodenmittelwerte um 10 µg/m³ traten verbreitet zwischen Bad Gams und Glojach (Oststeiermark) auf. Relativ niedrig waren die Periodenmittelwerte am Osthang der Koralpe sowie im Bereich unmittelbar nördlich des Poßruck.

Die NO₂-Konzentrationen lagen während der Messperiode 8 relativ hoch. In Bleiburg wurde ein Periodenmittelwert von 19 µg/m³ gemessen, in Wildon 15 µg/m³. Im unteren Jauntal und unteren Lavanttal war die NO₂-Belastung mit um 15 µg/m³ deutlich höher als in den höher gelegenen Regionen Südostkärntens, wo meist Periodenmittelwerte unter 10 µg/m³ auftraten, und als im Großteil der West- und Oststeiermark, wo die NO₂-Konzentration um 5 µg/m³, fallweise unter 2 µg/m³ lag.

4.10 Messperiode 9 (5./6.2. 1997 bis 18./20.2. 1997)

Die SO₂-Konzentration blieb während des Großteils der Messperiode 9 niedrig; zwischen 5. und 12.2. und von 17. bis 18.2. – räumlich ziemlich einheitlich – auf ca. 10 µg/m³, sonst um 5 µg/m³. Konzentrationen nahe null wurden bei Nord- bis Nordwestwind in der Nacht vom 13. auf den 14.2. sowie am 19.2. beobachtet. Zwischenzeitlich traten zumeist kurzzeitige Spitzen auf, die in Arnfels-Remschnigg am 7. und 12.2. und in St. Georgen am 17. und 18.2. 120 µg/m³ überstiegen. Diese Spitzen traten meist in Zusammenhang mit Drehung des Windes auf südliche Richtung auf. Die Diffusionssammler registrierten SO₂-Periodenmittelwerte in einem mittleren Bereich. Die höchsten Belastungen traten im Bereich um Lavamünd sowie an der Steiermärkischen Südgrenze zwischen Radlpaß und Spielfeld auf. Maximal wurden 16 µg/m³ als Periodenmittelwert am Messpunkt 9 bei Lavamünd und in Arnfels-Remschnigg (kontinuierlich registrierende Messstelle: 18 µg/m³) gemessen, ansonsten lagen in diesem Bereich die Periodenmittelwerte zwischen 10 und 15 µg/m³. Im Großteil des Jaun- und Lavanttales sowie im Leibnitzer Feld lagen die SO₂-Periodenmittelwerte unter 10 µg/m³, in weiten Teilen der West- und Oststeiermark um 5 µg/m³.

Die NO₂-Belastung war sehr niedrig, was auf das Überwiegen von labilen Ausbreitungsbedingungen zurückgeführt werden kann. In Bleiburg betrug der Periodenmittel-

wert 11 µg/m³, in Wildon 9 µg/m³. Die NO₂-Konzentration lag an den meisten Messpunkten unter 5 µg/m³.

4.11 Messperiode 10 (18./20.2. 1997 bis 5./6.3. 1997)

Während der zehnten Messperiode überwog im Untersuchungsgebiet wolkenarmes Wetter. Es wehte am Schöckl ganz überwiegend Nordwestwind, meist wurden milde Luftmassen maritimen Ursprungs herangeführt.

Der SO₂-Konzentrationsverlauf war in der Südsteiermark vom häufigen Wechsel zwischen niedrigen Hintergrundkonzentrationen um 5 µg/m³ und steilen Konzentrationspitzen gekennzeichnet, die in Arnfels-Remschnigg am 18.2. 85 µg/m³, am 21.2. 110 µg/m³, in der Nacht vom 23. zum 24.2. 155 µg/m³, in der Nacht vom 28.2. zum 1.3. fast 160 µg/m³ erreichten. In St. Georgen wurde am 18.2. ein maximaler HMW von 145 µg/m³ gemessen; am 28.2. und am 4.3. wurden Spitzen über 60 µg/m³ erreicht. Diese kurzzeitigen Konzentrationsspitzen fielen zumeist mit südlichem Wind zusammen. Während beständigen Nordwestwindes am 26. und 27.2. lag hingegen die SO₂-Konzentration räumlich sehr einheitlich um 5 µg/m³.

Die Diffusionssammler registrierten sehr niedrige SO₂-Konzentrationen, wobei die Mindebefunde gegenüber den kontinuierlich registrierenden Meßstellen ziemlich groß waren: 4 µg/m³ in Bleiburg gegenüber 16 µg/m³ an der kontinuierlich registrierenden Meßstelle, 3 µg/m³ in St. Georgen (Meßstelle: 9 µg/m³), 2 µg/m³ am Bockberg (Meßstelle 10 µg/m³); in Arnfels-Remschnigg war der Unterschied mit 12 µg/m³ gegenüber 18 µg/m³ an der Meßstelle geringer. Die Periodenmittelwerte lagen im Bereich des Poßruck und um Lavamünd um 10 µg/m³, im Jauntal und Lavanttal zumeist unter 5 µg/m³, in der Ost- und der Weststeiermark häufig unter 2 µg/m³.

Die NO₂-Konzentration war während der Messperiode 10 sehr niedrig. Sie lag an zahlreichen Messpunkten in Südostkärnten und in der Südsteiermark verbreitet unter 5 µg/m³. Die höchsten Periodenmittelwerte wurden wieder in Bleiburg und Wildon (8 µg/m³) registriert.

5 Resümee

5.1 Charakterisierung der SO₂-Belastung

Die SO₂-Messungen mittels Diffusionssammler zeigen – in Übereinstimmung mit den kontinuierlich registrierenden Meßstellen – die höchsten SO₂-Belastungen im äußersten südöstlichen Kärnten im Raum um Bleiburg, Lavamünd und St. Paul sowie im Bereich des Steirischen Poßruck zwischen Arnfels und Spielfeld. Relativ hohe Belastungen wurden in der Steiermark auch im Bereich östlich der Mur (Bezirk Radkersburg), in Kärnten an den Hängen östlich und westlich des Lavanttales registriert. Die niedrigsten SO₂-Belastungen traten in weiten Teilen der Weststeiermark (um Deutschlandsberg) und auf der Koralpe auf.

Die kontinuierlich registrierenden Meßstellen zeigen, daß die SO₂-Belastung entscheidend von der Windrichtung abhängt und Südost- bis Südwestwind zumeist die Voraussetzung für erhöhte SO₂-Konzentrationen ist. Die thermische Schichtung der Atmosphäre beeinflusst die SO₂-Konzentration weniger stark, doch treten bei hochreichend stabiler Schichtung tendenziell höhere SO₂-Werte auf. Der Konzentrationsverlauf ist an den meisten Meßstellen von sehr kurzen Konzentrationsspitzen (einige Stunden) bis über 200 µg/m³ über einem Hintergrund von zumeist 5 bis 10 µg/m³ im Winter gekenn-

zeichnet. Diese extremen kurzzeitigen Variationen der Konzentration an allen Meßstellen sind ein Indiz dafür, daß der SO₂-Transport in einer eng begrenzten Rauchfahne erfolgt, die jeweils kurzzeitig die Meßstelle erreicht und sonst daran vorbei zieht. Bei hochreichend stabiler Schichtung über mehrere Tage können auch länger anhaltende SO₂-Konzentrationen um 20 µg/m³ auftreten.

Die höchsten mit den Diffusionssammlern erfassten SO₂-Belastungen mit Periodenmittelwerte über 20 µg/m³ – wobei angesichts der hohen Messunsicherheit bei den Sammlern die tatsächliche SO₂-Konzentration noch höher gelegen sein könnte – wurden während der 6. Messperiode (19. Dezember 1996 bis 9. Jänner 1997) in Südostkärnten und der Südoststeiermark beobachtet, welche von sehr häufigem Südwind, sehr tiefen Temperaturen (bis -16°C in Graz) und langanhaltenden Inversionen gekennzeichnet war. Während dieser Periode wurde in der Oststeiermark (Bezirke Radkersburg, Leibnitz und Feldbach) mit Mittelwerten über 20 µg/m³ eine ungewöhnlich hohe SO₂-Belastung beobachtet, wobei anzunehmen ist, daß sich dieser hoch belastete Bereich noch weiter nordostwärts erstreckte. Während der 7. Messperiode (7. bis 23. Jänner 1997) läßt sich bei Nordostwind SO₂-Transport in die Südoststeiermark identifizieren, dessen Ursprung vermutlich Ungarn, die Slowakei oder Tschechien waren.

5.2 Schlussfolgerungen für die Meßnetzgestaltung

Die Meßstellen Bleiburg, St. Georgen und Arnfels-Remschnigg decken die Belastungsschwerpunkte durch SO₂, die mit den Diffusionssammlern identifiziert werden konnten, sehr gut ab. Darüber hinaus konnte während einzelner Perioden auch starker SO₂-Transport in die Oststeiermark (Bezirke Radkersburg und Feldbach) beobachtet werden, so daß der Betrieb der Meßstelle Klöch bei Bad Radkersburg auf jeden Fall gerechtfertigt ist. Eventuell wären weitere kontinuierliche SO₂-Messungen im Bereich Feldbach sinnvoll.

5.3 Charakterisierung der NO₂-Belastung

Bei der mit den Palmes-Röhrchen bestimmten NO₂-Belastung läßt sich kein wesentlicher Beitrag von Ferntransport identifizieren. Die höchsten NO₂-Meßwerte wurden stets an siedlungs- und verkehrsnahen Messpunkten registriert, am höchsten belastet waren zumeist Bleiburg und Wildon. Die niedrigsten Belastungen wurden an den höhergelegenen Messpunkten der Kor- und der Saualpe gemessen.

Die NO₂-Konzentrationen werden wesentlich stärker als die SO₂-Belastung von der thermischen Schichtung der Atmosphäre beeinflusst, zeigen aber keine deutliche Abhängigkeit von den großräumigen Windverhältnissen. Dies läßt den Schluss zu, daß die NO₂-Belastung von lokalen Quellen dominiert wird.

5.4 Bewertung der Diffusionssammler

Die im Rahmen des gegenständlichen Projektes durchgeführten Messungen zeigten, wie auch schon früher durchgeführte Vergleichsmessungen, daß die Diffusionssammler bei SO₂ hohe Minderbefunde gegenüber der kontinuierlichen Messung – welche aufgrund der entsprechenden Qualitätssicherungsmaßnahmen die tatsächliche SO₂-Konzentration wesentlich präziser erfasst – liefern, was sie als Instrument zur quantitativen Erfassung der langfristigen SO₂-Belastung weniger geeignet macht. Die Übereinstimmung ist bei hohen Konzentrationen besser als bei niedrigen, kann aber auch bei Periodenmittelwerten über 15 µg/m³ noch 50 % Unterschätzung erreichen.

Auch bei NO₂ traten Minderbefunde auf – wobei sich die Tatsache, daß in Bockberg die Diffusionssammler höhere NO₂-Werte lieferten als die kontinuierliche Messung, einer schlüssigen Interpretation entzieht (möglicherweise hängt sie mit Problemen bei der kontinuierlichen Messung zusammen) – die allerdings geringer ausfielen als bei SO₂; sie steigen tendenziell bei höheren Konzentrationen. Sie ermöglichen lediglich einen qualitativen Überblick über die mittlere Belastungssituation, wobei man die Messunsicherheiten durch die Parallelmessung mit mehreren Röhrchen verringern kann.

Anhang 1: Messprinzip der Diffusionssammler

Das Erste Fick'sche Gesetz gibt die Beziehungen zwischen Diffusionsfluss und Konzentrationsunterschieden am Beginn und am Ende der Diffusionsstrecke in mathematischer Form wieder. Durch das hocheffiziente Absorptionsmittel, welches die Schadstoffe zur Gänze aufnimmt, wird deren Konzentration in unmittelbarer Nähe des verschlossenen Rohrendes gleich Null. Am offenen Rohrende entspricht sie der zu bestimmenden Außenluftkonzentration. Dazwischen stellt sich ein Konzentrationsgradient ein, der durch die vorgegebene Röhrengengeometrie bestimmt wird.

Die Außenkonzentration (c_A) der mittels Diffusion zu bestimmenden gasförmigen Komponente berechnet sich daher wie folgt:

$$c_A = \frac{n}{t} \cdot \frac{L}{D \cdot A}$$

Darin sind (L) und (A) konstante Größen, die durch die Geometrie des verwendeten Diffusionsröhrchens festgelegt werden. Die verwendeten Diffusionssammler haben eine Länge (L) von 71 mm und eine Innenquerschnittsfläche (A) von 0,95 cm². Der Diffusionskoeffizient (D) von Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid in Luft ist in chemisch physikalischen Tabellenwerken² beschrieben (Tab. 6). Als die den Messwert der Außenkonzentration (c_A) bestimmenden Variablen bleiben somit nur die Expositionszeit (t in Stunden), die durch Vermerken von Datum und Uhrzeit bei Expositionsbeginn und -ende durch den Probennehmer bestimmt wird und die Anzahl der diffundierten Mole (n) des Schadstoffes, der sich im Absorptionsmittel befindet.

Tabelle 6: Diffusionskoeffizient (D₁₂)

Komponente	D ₁₂ [cm ² .s ⁻¹]
SO ₂ -Luft	0,122
NO ₂ -Luft	0,154

Aufbau der Diffusionssammler nach Palmes

Kunststoffröhrchen von 71 mm Länge und 11 mm Innendurchmesser bilden den Korpus der Diffusionssammler nach dem Palmes-Typ. Jedes Röhrchen wird mit zwei dicht schließenden Kappen unterschiedlicher Färbung versehen. In der weißen Kappe sind 3 Edelmetallgitter platziert, die mit dem Absorptionsmittel (Triethanolamin) imprägniert wurden. Die blaue Kappe dient als Schutz vor ungewolltem Eindringen von Luftschadstoffen in das Röhrchen. Dementsprechend sind die Röhrchen während der Lagerung und dem Transport mit beiden Kappen fest verschlossen. Über den gesamten Expositionszeitraum von ca. 14 Tagen hingegen ist die blaue Kappe abgenommen. Jedes Röhrchen wird mit einer laufenden Nummerierung versehen, um das Protokollieren und eindeutige Zuordnen zu erleichtern.

² LIDE, 1990

Die Bestandteile und deren Geometrie sind in der folgenden Abbildung zu sehen.

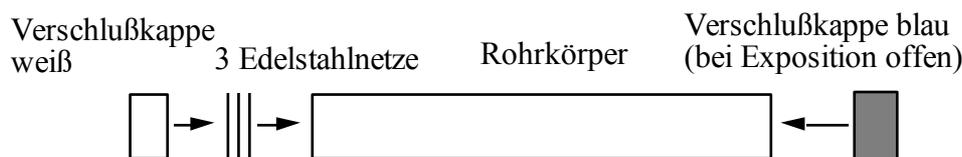


Abb. 1: Explosionszeichnung eines Palmes-Röhrchens
(Länge 71 mm, Innendurchmesser 11 mm)

Präparation der Sammler

Für die Bestimmung von SO₂ und NO₂ wird Triethanolamin (C₆H₁₅NO₃) als Absorptionsmittel verwendet. Die Präparation der Diffusionssammler erfolgte nach folgender Vorschrift:

- Waschen der Röhrchen, Kappen und Gitter in deionisiertem Wasser im Ultraschallbad (4 l deionisiertes Wasser + 100 ml Extran (Merck 107550))
- Nachspülen mit deionisiertem Wasser, zuletzt mit Reinstwasser
- Trocknen der Röhrchen, Kappen und Gitter im Trockenschrank (10 Minuten, bei 80°C)
- Die Gitter werden unmittelbar vor der Präparation in Aceton geschwenkt und im Trockenschrank bei 80 °C 5 Minuten getrocknet
- Herstellung der Beschichtungslösung: 1 Teil TEA und 3 Teile Aceton
- Auf 3 übereinander gelegte Edelstahlgitter werden 75 µl Beschichtungslösung pipettiert; schnelles und sauberes Arbeiten (Pinzette) ist erforderlich, damit TEA nicht zu lange der Luft ausgesetzt ist; dadurch würden die Präparationsblindwerte unzulässig erhöht werden.
- Nach Verdampfen des Acetons (2 Minuten im Trockenschrank) werden die gereinigten und trockenen Röhrchen und Kappen mit den Gittereinsätzen zusammengebaut und bis zur Verwendung im Kühlschrank gelagert.

Verwendete Materialien

- Diffusionsröhrchen Typ Diff-100-G aus Polystrol oder Teflon (Fa. Ormantine International Ltd., St. Martinshouse 77 Wales Street, Winchester/ Hampshire, SO23 7RH, GB)
- Diffusion caps blue and white (Fa. Ormantine)
- Edelstahlgitter (Stanley steel mashdisks for diffusion caps Diff.-100-G, Fa. Ormantine)
- TEA z.A. (Merck Nr. 8379)
- Aceton z.A. (Merck Nr. 100014)
- Reinstwasser (MilliQ-Reinstwasseraufbereitungsanlage, 18,2 MΩ, Fa. Millipore)
- Deionisiertes Wasser

Aufstellung im Gelände

Die Unterbringung der Diffusionssammler nach Palmes erfolgte in Schutzglocken. Dadurch werden Windeinflüsse minimiert und Kontaminationen durch Staub und eindringendes Regenwasser wirkungsvoll verhindert. Die Schutzglocken sind Plastikflaschen ohne Boden (Länge ca. 25 bis 30 cm, Durchmesser ca. 15 bis 20 cm). Die Öffnung des Röhrchens lag auf gleicher Ebene mit der offenen Bodenseite der Schutzglocke.

In der Schutzglocke befindet sich ein schraubbarer Einsatz. Der Einsatz trägt 6 Klemmen, in denen die Röhrchen (Analysenröhrchen und verschlossene Blindwert-Röhrchen) Aufnahme finden. Die Glocke wurde mit einer geeigneten Klemmvorrichtung an Gerüsten oder Geländerstäben befestigt, auf Wiesen und Äckern werden Stangen in den Boden gerammt, an denen die Glocken in 160 bis 200 cm Abstand über dem Boden befestigt werden. Je Standort wurden in einer Glocke 2 - 3 Diffusionsröhrchen mit dem offenen Ende nach unten in die Metallklemmen eingesetzt. An insgesamt 6 Meßstellen des Betreuungsgebietes wurde in jedem Expositionszyklus ein weiteres Röhrchen als Feldblindwert ungeöffnet befestigt. Die Auswahl erfolgte zufällig und nicht immer an demselben Messpunkt.

Für jeden Standort und jedes Expositionsintervall wurde ein eigenes Protokollblatt geführt, auf dem Röhrchennummer, Feldblindwert, Standort, Beginn und Ende der Exposition notiert wurden. Alle außergewöhnlichen Beobachtungen (Merkmale einer unbefugten Manipulation an den Sammeleinheiten, Risse, Bruch, übermäßige Staub-Abscheidungen an den Schutzglocken oder Außenwandungen, Veränderungen des Umfelds (Bautätigkeiten), im Nachhinein erkannte Manipulationsfehler, etc.) wurden vom Meßstellenbetreuer vermerkt, um unerwartet abweichende Ergebnisse besser interpretieren zu können.

Elution und Analytik

Im Labor wurden die Diffusionssammler derart zerlegt, daß keine außen anhaftenden Schmutzpartikel auf die imprägnierten Edelstahlgitter gelangen können. Die Gitter verbleiben in der weißen Endkappe; sie werden darin sofort nach dem Öffnen mit 1 ml Elutionspuffer (1,7 mmol NaHCO₃/ 1,8 mmol Na₂CO₃) überschichtet.

Nach 30 Minuten wird das Eluat mittels Pipette abgezogen und ionenchromatografisch analysiert. Sulfit und Sulfat werden am Leitfähigkeitsdetektor, Nitrit am UV-Detektor quantitativ bestimmt.

Aus dem Ionenchromatogramm wird die Komponente Nitrit zur Berechnung von NO₂ herangezogen. SO₂ wird zu Sulfat umgesetzt und besonders in den Wintermonaten wird auch die Entstehung von Sulfit beobachtet. Somit wird SO₂ aus der Summe von Sulfit und Sulfat berechnet.

Bei hohen Konzentrationen kann eine Eluatverdünnung mit Puffer notwendig sein, um den vorgegebenen Kalibrationsbereich (0 bis 1000 µg/l Nitrit, Sulfit und Sulfat) nicht zu überschreiten.

Die analytischen Parameter für den Betrieb des Ionenchromatografen mit Diffusionssammlereluat und die verwendeten Reagenzien und Materialien sind nachfolgend aufgelistet:

Geräte:	Firma Dionex 4500i Ionenchromatograf , Autosampler AS3500 Leitfähigkeitsdetektor CDM II mit Mikromembransuppressor (AMMS) UV-Detektor VDM II bzw. AD 20 (Wellenlänge 220 nm)
Vorsäule:	AG4A Fa.Dionex
Trennsäule:	AS4A Fa.Dionex
Eluent:	1,8 mM Na ₂ CO ₃ / 1,7 mM NaHCO ₃ (FLUKA Micro Select)
Suppressorlösung:	50 mN H ₂ SO ₄ (5 ml/ min) Merck z.A
Probenschleife:	200 µl

Auswertung

Die Berechnung der SO₂-Konzentration (µg/m³) in der Umgebungsluft erfolgt mit nachstehender Formel, wobei x aus der Summe von Sulfit und Sulfat als SO₂ berechnet wird:

$$c_A = \frac{x}{t} \cdot 17,01 \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right]$$

Die Außenluftkonzentration (c_A) von NO₂ in µg/m³ wird nach folgender Formel berechnet:

$$c_A = \frac{x}{t} \cdot 13,48 \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right]$$

x ... Konzentration von Nitrit im Eluat $\left[\frac{\mu\text{g}}{\text{l}} \right]$

t ... Expositionsdauer [h]

Grundlegende Probleme

Wie die Erfahrungen zeigen, liefern Palmes-Röhrchen für SO₂ in der Regel Minderbefunde. MORISKE et al (1996) konnten für den Parameter NO₂ zeigen daß die Verhältniszahlen der Ergebnisse von Diffusionssammlern und kontinuierlichen Monitoren stark von der Luftfeuchtigkeit und Umgebungstemperatur abhängig sind. Ähnliches ist auch für den Parameter SO₂ anzunehmen. In der Regel wurden Minderbefunde der Diffusionssammler von 30 bis 40 % erhalten.

Überbestimmungen der SO₂-Konzentration mittels Palmes-Röhrchen können auftreten, wenn durch aufgewirbelten Staub partikuläres Sulfat eingebracht wird.

Anhang 2: Expositionszeiten der Diffusionssammler

Tabelle 7: Expositionszeiten der einzelnen Standorte.

Kärnten

Exposition Nr.	Standort 1 bis 5	Standort 6 bis 10	Standort 11 bis 19
1	15.10.-30.10.1996	15.10.-28.10.1996	15.10.-30.10.1996
2	30.10.-14.11.1996	28.10.-13.11.1996	30.10.-14.11.1996
3	14.11.-27.11.1996	13.11.-26.11.1996	14.11.-27.11.1996
4	27.11.-9.12.1996	26.11.-10.12.1996	27.11.-9.12.1996
5	9.12.-19.12.1996	10.12.-23.12.1996	9.12.-19.12.1996
6	19.12.1996-7.1.1997	23.12.1996-9.1.1997	19.12.1996-7.1.1997
7	7.1.-21.1.1997	9.1.-23.1.1997	7.1.-21.1.1997
8	21.1.-5.2.1997	23.1.-5.2.1997	21.1.-5.2.1997
9	5.2.-18.2.1997	5.2.-18.2.1997	5.2.-18.2.1997
10	18.2.-5.3.1997	18.2.-6.3.1997	18.2.-5.3.1997

Steiermark

Exposition Nr.	Standort 1 bis 7	Standort 8 bis 13	Standort 14 bis 16	Standort 17 bis 25
1	15.10.-29.10.1996	14.10.-28.10.1996	15.10.-29.10.1996	16.10.-30.10.1996
2	29.10.-12.11.1996	28.10.-13.11.1996	29.10.-12.11.1996	30.10.-13.11.1996
3	12.11.-26.11.1996	13.11.-26.11.1996	12.11.-26.11.1996	13.11.-27.11.1996
4	26.11.-10.12.1996	26.11.-10.12.1996	26.11.-10.12.1996	27.11.-11.12.1996
5	10.12.-23.12.1996	10.12.-23.12.1996	10.12.-23.12.1996	11.12.-23.12.1996
6	23.12.1996-7.1.1997	23.12.1996-9.1.1997	23.12.-7.1.1996	23.12.1996-8.1.1997
7	7.1.-21.1.1997	9.1.-23.1.1997	7.1.-21.1.1996	8.1.-22.1.1997
8	21.1.-6.2.1997	23.1.-5.2.1997	21.1.-6.2.19997	22.1.-6.2.1997
9	6.2.-19.2.1997	5.2.-18.2.1997	6.2.-19.2.1997	6.2.-20.2.1997
10	19.2.-5.3.1997	18.2.-6.3.1997	19.2.-5.3.1997	20.2.-6.3.1997

Literatur

1. Kärntner Umweltbericht 1994. Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 15 – Umweltschutz, Klagenfurt, 1994.
2. Spangl, W., Luftgüte- und Windmessungen in Arnfels/Südsteiermark, UBA-BE-081, Wien, 1996
3. Air Pollution in Slovenia, Hydrometeorological Institute of Slovenia, Ljubljana
Publikation der Jahre 1993, 1994, 1995 und 1996
4. Ritter, M., G. Ahamer, Luftschadstoff-Trends in Österreich 1980-1996, UBA-BE-108, Wien, 1998

