

# Abschluss- veranstaltung

16. März 2000

# OMIKAS

Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt und Geologie

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

**TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN**

## OMKAS

... steht für „Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen unter gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des Freistaates Sachsen“.

... wurde vom Freistaat Sachsen und der Europäischen Union (InterregII) finanziert. Das Projekt wurde 1996 begonnen und endet im März 2000.

... wurde in vier Teilprojekten bearbeitet:

**Teilprojekt 1:** „Maßnahmenfeine Modellierung der grenzüberschreitenden Schadstoffverteilung und Analyse der Auswirkung von Emissionreduktionen“

Projektteil A: „Modellierung“ (Institut für Troposphärenforschung Leipzig (IfT))

Projektteil B: „Emissionsdatenbeschaffung“ (Hochschule für Technik, Wirtschaft und Sozialwesen Zittau/Görlitz (HTWS))

**Teilprojekt 2:** „Überwachung und Analyse der Versauerungsentwicklung des Niederschlagswassers und der Schadstoffbelastung“ (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG))

**Subprojekt:** „Nationale und grenzüberschreitende Auswirkungen von Emissionen und deren Veränderung auf die nasse Deposition“ (IfT)

**Teilprojekt 3:** „Untersuchung grenzüberschreitender Schadstofftransportprozesse“ (LfUG)

**Teilprojekt 4:** „Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle“ (LfUG)

### OMKAS – Tagungsband zur Abschlussveranstaltung am 16. März 2000 in Dresden

#### Titelbild

„Blick auf Litvinov“ (Daniela Wilsnack)

#### Rückbild

Oben: Color-Infrarot-Luftbildausschnitt nördlich des Kurortes Seiffen (Sachsen) (Quelle: Luftbildbefliegung zur Biotoptypen- und Landnutzungskartierung, Freistaat Sachsen 1992/93)

Unten: Atmosphärische Partikel aus einer ländlichen Gegend (Sommer 1993). Elektronenmikroskopische Aufnahme der Fraktion mit aerodynamischen Durchmessern von 1,35 bis 4,05 µm (Heike Kaupp)

#### Impressum

##### Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Stabsstelle 1, Öffentlichkeitsarbeit  
Zur Wetterwarte 11, D-01109 Dresden  
eMail: poststelle@lfugdd.smu.sachsen.de

##### Bearbeitung:

OMKAS-Teilprojekte (siehe Übersicht)

Redaktionsschluss: Februar 2000

##### Redaktion:

Abteilung Luft, Lärm, Strahlen  
Dr. Heike Kaupp (Projektkoordination)

##### Gestaltung, Satz, Repro:

Werbeagentur Friebel  
Pillnitzer Landstr. 37, D-01326 Dresden

##### Versand:

Sächsisches Druck- und Verlagshaus AG  
Tharandter Str. 23-27, D-01159 Dresden  
Fax: (03 51) 4203186, e-Mail: versand@sdv.de

Auflage: 400

##### Bezugsbedingungen:

Diese Veröffentlichung kann von der Sächsischen Druck- und Verlagshaus AG kostenfrei bezogen werden.

##### Hinweis:

Diese Veröffentlichung wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (LfUG) herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern im Wahlkampf zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme des Landesamtes zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden kann. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

##### Copyright:

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von Auszügen und der fotomechanischen Wiedergabe, sind dem Herausgeber vorbehalten.

Gedruckt auf Recyclingpapier

März 2000

Das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie ist im Internet.  
Adresse: <http://www.lfug.de>

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

**TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN**

## Inhalt

	Seite
Vorwort .....	5
Ausgangssituation und Problemstellung .....	6
<i>Heinz Gräfe, LfUG, Leiter der Abteilung Luft, Lärm, Strahlen</i>	
Vergleichbarkeit internationaler Luftqualitätsdaten im Untersuchungsgebiet.....	8
<i>Daniela Wilsnack, LfUG, Teilprojekt 4</i>	
Die Emissionssituation im Schwarzen Dreieck: gestern – heute – übermorgen .....	15
<i>Frank Zimmermann und Dietmar Bothmer, HTWS Zittau/Görlitz, Teilprojekt 1b</i>	
Die Luftqualität im Schwarzen Dreieck gemessen an den neuen europäischen Minderungsstrategien .....	23
<i>Sophie Conradt und Hannelore Kuß, LfUG, Teilprojekt 2</i>	
Nationale und grenzüberschreitende Auswirkungen von Emissionen auf Niederschlagskomponenten in sächsischen Grenzregionen .....	32
<i>Wolfgang Marquardt und Erika Brüggemann, IfT Leipzig, Teilprojekt 2</i>	
Szenarienrechnungen zur Immissionsbelastung mit SO <sub>2</sub> , Ozon und Feinstaub: Analyse und Prognose .....	38
<i>Annette Münzenberg-St.Denis und Eberhard Renner, IfT Leipzig, Teilprojekt 1a</i>	
Die Luftbelastung mit Partikeln, Schwermetallen und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen .....	45
<i>Heike Kaupp, LfUG, Teilprojekt 3</i>	
Ergebnisse und Zusammenfassung .....	53
<i>Heinz Gräfe, LfUG, Leiter der Abteilung Luft, Lärm, Strahlen</i>	

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

## TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN

Die jahrzehntelange Belastung durch die Schadstoffemissionen der großen Braunkohlekraftwerke im Dreiländereck Deutschland, Tschechien und Polen hatte die Ökosysteme im Erzgebirge stark vorgeschädigt. In der Folge erreichte das Waldsterben einen neuen Höhepunkt im meteorologisch und lufthygienisch extremen Winter 1995/1996.

Dieses Ereignis war die traurige Bestätigung für ein Vorhaben, das Ende 1995 vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) und dem Sächsischen Umweltministerium projektiert worden war, um die Ursachen dieser im europäischen Vergleich höchsten Belastungen näher zu untersuchen und die brennende Frage nach den grenzüberschreitenden Möglichkeiten zur Verbesserung der Luftqualität im Gebiet des „Schwarzen Dreiecks“ zu beantworten.

Es gelang, das Projekt mit dem etwas sperrigen Namen „OMKAS“ (Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des Freistaates Sachsen) ins Leben zu rufen. OMKAS lief von April 1996 bis März 2000. Die Projektkosten in Höhe von gut 2,6 Mio. DM wurden zu 75 Prozent von der Europäischen Union (Interreg II) und zu 25 Prozent vom Freistaat Sachsen getragen.

Neben der vier- bis fünfköpfigen „Kernmannschaft“ im LfUG konnten als externe Projektanden das ift (Institut für Troposphärenforschung) Leipzig und die FH Zittau sowie weitere Auftragnehmer gewonnen werden.

Der vorliegende Tagungsband enthält die Referate der Abschlussveranstaltung am 16. März 2000 in Dresden. Die Beiträge spiegeln ausgewählte Fragestellungen der letzten vier Jahre und wesentliche aktuelle Antworten wider:

- Vergleichbarkeit internationaler Luftqualitätsdaten
- Entwicklung der Emissionssituation im Schwarzen Dreieck
- Luftqualität im Schwarzen Dreieck gemessen an den neuen europäischen Immissionsminderungsstrategien
- Emissionsanalyse mittels hochaufgelöster Niederschlagsmessungen
- Szenarienrechnungen zur Immissionsbelastung mit SO<sub>2</sub>, Ozon und Feinstaub – Analyse und Prognose
- Luftbelastung mit Partikeln, Schwermetallen und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen.

Darüber hinaus wurden in den vergangenen vier Jahren zahlreiche, zum Teil durch das politische Tagesgeschäft vorgegebene Fragestellungen bearbeitet. Zum Beispiel konnte die Frage nach den Quellen des „Katzendreckgeruches“ im Erzgebirge beantwortet und die Smogfrühwarnung mit Hilfe

von SODAR-Messgeräten etabliert werden. Die Ergebnisse dieser und weiterer Teilfragen finden sich in den verschiedenen wissenschaftlichen Zwischenberichten der Einzelprojekte sowie in den vier Ausgaben des „OMKAS-Newsletters“ wieder. Hierbei wurde jeweils aktuell und für die breite Öffentlichkeit verständlich über die neuesten Erkenntnisse berichtet (Internet-Adresse: <http://www.lfug.de>).

Das Motto der Abschlussveranstaltung lautet „Fit für Europa?“. Diese Frage steht vor dem Hintergrund der neuen und der in Vorbereitung befindlichen Europäischen Richtlinien zur Luftqualität. Besondere Aktualität erhält diese Fragestellung durch den zukünftigen Beitritt Tschechiens und Polens zur Europäischen Union. Die durch OMKAS erarbeiteten Erkenntnisse zeigen, dass sich die Nachbarn im Schwarzen Dreieck trotz aller noch zu lösenden Probleme hier auf einem sehr erfolgversprechenden Wege befinden.

Vier Jahre OMKAS sind zu Ende gegangen. Viele Fragestellungen wurden mit großem Engagement untersucht und erfolgreich bearbeitet. Die Ergebnisse sind auch über die Region hinaus wissenschaftlich anerkannt. Allerdings bleibt weiterhin sehr viel für die grenzüberschreitende Luftreinhaltung zu tun. Diesen – zum Teil neuen – Problemen widmen sich intensiv verschiedene politische und wissenschaftliche bilaterale und trinationale Arbeitsgruppen. Sie können auch auf den Ergebnissen des OMKAS-Projektes aufbauen.

Diese internationale Zusammenarbeit findet ihren Ausdruck beispielsweise im JAMS (Joint Air Monitoring System), dem Verbund der sächsischen, polnischen und tschechischen Luftmessnetze im Schwarzen Dreieck, in der Erarbeitung gemeinsamer Veröffentlichungen (Bilateraler Luftreinhaltberichtsgebiet Erzgebirge 1998, Trinationaler „Common Report on Air Quality in the Black Triangle Region“, erscheint Anfang April 2000) und in der Implementierung eines gemeinsamen Qualitätssicherungs- und -kontrollsystems für lufthygienische Messungen.

Der Abschluss dieses erfolgreichen Projekts ist ein guter Anlass, allen zu danken, die vier Jahre mit hohem persönlichen Einsatz an dem Erfolg von OMKAS gearbeitet haben. Neben den politisch und finanziell Verantwortlichen sind dies in erster Linie die Projektanden des ift Leipzig und der FH Zittau sowie die Mitarbeiterinnen der LfUG-Arbeitsgruppe.



Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kinze  
Präsident des Sächsischen Landesamtes  
für Umwelt und Geologie

## Ausgangssituation und Problemstellung

Heinz Gräfe

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden

### Ausgangssituation

Ende 1995 endete mit SANA ein durch das BMBF gefördertes Forschungsprojekt zur Beobachtung der in Sanierung befindlichen Atmosphäre über den neuen Ländern. Dieses erste gesamtdeutsche Projekt dokumentierte und begleitete die durch den industriellen Umbruch sowie durch moderne Luftreinhaltemaßnahmen erreichte neue Qualität der lufthygienischen Situation in Ostdeutschland. Dabei kristallisierte sich eine, im Dreiländereck zwischen Polen, Tschechien und Deutschland angesiedelte, Region stärker heraus, die aufgrund ihrer Luftschadstoffbelastung das „Schwarze Dreieck“ genannt wurde. Eine wissenschaftliche Begleitung und weitere Beobachtung der lufthygienischen Dynamik war nach Abschluss von SANA nicht geplant. Diese Situation sowie die Tatsache, dass unterschiedliche Sanierungsschritte in benachbarten Regionen zu ungewollten luftchemischen Reaktionen führen können, waren der Grund, das Projekt OMKAS zu initiieren. Ziel war zum einen, die emissionsmindernden Maßnahmen zu optimieren, zum anderen, die Luftschadstoffentwicklung und die Azidität zu kontrollieren. Die wechselnden Schwerpunkte in den lufthygienischen Fragestellungen stellten zusätzlich erhebliche Anforderungen an das Projekt, erhöhten aber gleichzeitig seine Attraktivität. So traten die Probleme der SO<sub>2</sub>-Belastung zunehmend in den Hintergrund während die Bildung und Wirkungen von Photooxidantien an Bedeutung gewannen. Das Projekt lag zeitlich an der Schnittstelle zwischen diesen beiden Belastungsarten und war damit einer permanenten Verschiebung im fachlichen Anforderungsprofil unterworfen. Auch aktuellen umweltpolitischen Anforderungen musste das Projekt genügen. Hier sind beispielsweise die Untersuchungen zur Geruchs- und Waldschadensproblematik sowie die Frage des Stromexportes zu nennen (Damit ist gemeint, Strom aus sanierten Kraftwerken in Gebiete mit unsanierten Kraftwerken zu exportieren und diese bei extremen lufthygienisch bedenklichen Wetterlagen herunterzufahren). Flexibilität war deshalb für eine erfolgreiche Arbeit unabdingbar.

### Problemstellung

In der ersten Phase des Projektes ging es vor allem darum, das notwendige technische Equipment zu sichern, die einzelnen Module handlungsfähig zu machen und mögliche Anschlüsse an SANA zu realisieren. Außerdem musste so schnell wie möglich der „status quo“ der Luftqualität erfasst und ein länderübergreifendes Qualitätssicherungsmanagement aufgebaut werden, um die lufthygienische Entwicklung im Untersuchungsraum verfolgen zu können.

In der zweiten Phase konzentrierten sich die Arbeiten auf die Beantwortung der Fragestellungen bzw. die Überprüfung der Zielstellungen, die Ausrichtung auf die neue EU-Richtlinienstrategie sowie die Bearbeitung der neu hinzugekommenen Untersuchungsbereiche. Wie schnelllebig lufthygienische Handlungsfelder sein können, verdeutlichen aus heutiger Sicht die Problem- und Fragestellungen, mit denen das Projekt vor vier Jahren gestartet wurde und deren Fortentwicklung.

- Die Emissionssituation im Schwarzen Dreieck wurde zu Projektbeginn durch die Großfeuerungsanlagen im deutschen, polnischen und tschechischen Raum dominiert. Diese Großemittenten bestimmten zu über 90 % die Luftqualität fast bei allen Komponenten. Die Frage war nun, inwieweit sich diese Quellgruppenstruktur ändert und welches im Jahr 2000 die relevanten Emissionsquellen sind.
- Ausgehend von der festgestellten Quellgruppenstruktur sollte untersucht werden, welche Verursacher (neben den Großfeuerungsanlagen) hinsichtlich der Minderungsstrategien zu priorisieren sind.
- Die Azidität im Untersuchungsraum nahm seit 1993 exponentiell zu. Ist der Wendepunkt dieser Entwicklung in der Projektlaufzeit noch nachweisbar oder steigt die Versauerung im Niederschlag durch die eingeleiteten Minderungsmaßnahmen aufgrund der Zeitdifferenz zwischen Realisierung der Entstaubung und der Entschwefelung sogar weiter an?

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

## TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN

- Mit zunehmendem Sanierungsfortschritt sinkt die Belastung durch Schwefeldioxid. Aufgrund der Häufung der Großemittenten im böhmischen Becken wird dieser Raum auf absehbare Zeit jedoch immer eine relevante Emissionsquelle bleiben. Dieser ist durch den Erzgebirgskamm vom sächsischen Teil des Untersuchungsgebietes orographisch abgeteilt. Es stellt sich daher die Frage, welche Eintragspfade in den sächsischen Teil des Untersuchungsgebietes an Bedeutung gewinnen werden und woher die Einträge anderer Belastungskomponenten, z. B. Ozon, kommen.
- Die Orographie des Untersuchungsgebietes führt zur paradoxen Situation, dass bei normalen Smoglagen (Inversionswetterlagen) der deutsche Teil des Schwarzen Dreiecks gewissermaßen „geschützt“ ist, während bei Südost-Wetterlagen ohne niedrige Inversionsgrenze mit einem hohen Schadstoffeintrag zu rechnen ist. Ist es möglich mit Sodartechnik ein Smogfrühwarnsystem für diese Situation aufzubauen?
- Mit der Verbrennung von Braunkohle kann eine Fluorwasserstoffbelastung einhergehen. Ist diese Belastung nach wie vor eine relevante Größe für die Luftqualität im Untersuchungsgebiet?
- Auf welche Quellen gehen die Geruchsereignisse im Erzgebirge zurück und sind sie durch moderne wissenschaftliche Methoden lokal genau zuzuordnen?
- Welche Rolle spielt das Schwarze Dreieck bei der Ozonbelastung und welche Quellgruppen und Belastungspfade sind relevant?
- Inwieweit zeigen die Minderungserfolge beim Schadstoffeintrag Wirkung bei der Einhaltung der critical loads für Säure und eutrophierenden Stickstoff?
- Welche Rolle spielt der feuchte Niederschlag bei der Gesamtdeposition?
- Mit welchem Niveau der Belastung im Untersuchungsgebiet muss beim Fein- und Feinststaub gerechnet werden?
- Sind die Zielvorgaben der UN-ECE (Multikomponentenprotokoll) bzw. EU (NEC-Richtlinie) im Schwarzen Dreieck erreichbar?
- Sind mit den gegenwärtig diskutierten Emissionsobergrenzen die Zielvorgaben für die Überschreitungsf lächen bei den critical loads erreichbar?
- Ist die Luftqualität im Schwarzen Dreieck europatauglich oder weiterhin ein Sanierungsfall?

Die zeitliche Entwicklung und die Erkenntnisse aus den laufenden Untersuchungen brachten folgende neue Fragestellungen ins Projekt:

Dieser Fragenkanon war die Grundlage für die Arbeiten und Untersuchungen in OMKAS. Seine Beantwortung waren und sind wichtige Bausteine auf dem Weg zu einem lufthygienisch sanierten Dreiländereck.

## Vergleichbarkeit internationaler Luftqualitätsdaten im Untersuchungsgebiet

Daniela Wilsnack

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden

Die Arbeit des OMKAS-Teilprojektes „Qualitätssicherung (QS) der Immissionsdaten“ ermöglicht erstmalig präzise Aussagen zur Vergleichbarkeit der im Gebiet des Schwarzen Dreiecks erhobenen Luftqualitätsdaten für einen Zeitraum von ca. 3 1/2 Jahren. Die erarbeitete QS-Strategie und deren Umsetzung liefert einen wichtigen Beitrag dazu, die Wirkung von emissionsmindernden Maßnahmen im Untersuchungsgebiet zu beurteilen. Gleichzeitig wurde eine wichtige Grundlage für die zukünftige Qualitätssicherung von Immissions- und Depositionsdaten im trinationalen Raum geschaffen.

Der Aufbau des QS-Systems im Gebiet des Schwarzen Dreiecks erfolgte in drei Schritten, wobei allerdings durch die ständige Entwicklung der Messnetze keine streng sequentielle Vorgehensweise sinnvoll war.

- Analyse des Qualitätsmanagements der beteiligten Messnetze der Länder Polen, Tschechien und Deutschland (Sachsen) und Erarbeiten eines Gesamt-QS-Konzeptes mit dem Ziel, die Vergleichbarkeit der international gewonnenen Messdaten herzustellen.
- Umsetzung des QS-Konzeptes und Diskussion der Ergebnisse auf der Grundlage anerkannter Bewertungskriterien.
- Bewertung der Ergebnisse der QS-Maßnahmen für die einzelnen Messnetze und Maßnahmenplanung für die Realisierung der geforderten Qualitätskriterien.

Zur Begutachtung/Bewertung der Immissions- und Depositionsdaten der drei Länder wurden seit 1997 u.a. Transferprüfungen für Ozon und SO<sub>2</sub>, ein Ringversuch zur Kontrolle der Analytik von Staubinhaltsstoffen, Ringversuche zur Analyse der nassen Deposition, ein Vergleich eingesetzter Niederschlagssammler und jährliche Methodenblindwertbestimmungen der verwendeten Niederschlagssammler durchgeführt. Inwieweit die Vergleichbarkeit der Messdaten der beteiligten Immissions- und Depositionsmessnetze gewährleistet ist und das Ziel, die Qualität der Daten zu sichern und kontinuierlich zu verbessern erreicht wurde, zeigen die nachfolgenden Ergebnisse.

### Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle der Immissionsdaten

Im Rahmen der Qualitätssicherung der anfallenden Messdaten erfolgte in den letzten Jahren eine Harmonisierung der Messnetze. In Tabelle 1 sind die Immissionsmessnetze des Schwarzen Dreiecks, deren Ergebnisse im folgenden vorgestellt werden, hinsichtlich der Messkomponenten, der Messmethodik für Staub, den geltenden Normbedingungen (Luftdruck- Temperaturbezug) und der Qualitätsprüfung (Funktionskontrolle, Kalibrierung) zusammengestellt.

Während die Bezugsgröße für den Luftdruck mit 101,3 kPa für alle Komponenten gleich ist, hat sich der Temperaturbezug für die untersuchten Komponenten im Projektzeitraum auf Grund aktueller Verordnungen und Richtlinien (Gesetz zur Änderung des BImSchG (Ozongesetz) 1995, 1999/30/EG) geändert und musste abgestimmt werden [1, 2]. So wurden in Sachsen die Ozonmessungen seit 07/1995 auf 293 K bezogen, die anderen Komponenten auf 273 K. In Polen und Tschechien erfolgte zu diesem Zeitpunkt die Ozonmessung noch auf die Bezugstemperatur 273 K. Da die verschiedenen Bezugstemperaturen einen Unterschied der Substanzkonzentrationen um 7% vorspiegeln, war eine Vereinheitlichung notwendig. Seit 01/1997 haben auch die Messnetze in Polen und Tschechien die Bezugstemperatur 293 K für die Ozonmessung eingeführt. Die Konzentrationen der anderen Komponenten wurden einheitlich auf 273 K bezogen berechnet.

Im Zuge der Umsetzung der 1. Tochterrichtlinie 1999/30/EG der EU-Rahmenrichtlinie 96/62/EG [3] ist seit 01/1999 im sächsischen Messnetz die Bezugstemperatur von 293 K für alle Komponenten festgelegt. Die Immissionsmessnetze der Länder Polen und Tschechien arbeiten, außer für Ozon, weiterhin mit der Bezugstemperatur 273 K. Eine Angleichung der Messbedingungen wird spätestens mit dem Inkrafttreten der o.g. Richtlinie erfolgen, ist aber bereits für die erste Hälfte des Jahres 2000 beabsichtigt.

Die für die Immissionscharakteristiken verwendeten Messwerte wurden auf eine einheitliche Bezugstemperatur (293 K) umgerechnet. Nur eine Harmonisierung dieser Da-

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

## TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN

Tab. 1: Vergleich der Immissionsmessnetze im Schwarzen Dreieck, Stand 01/2000

Immissionsmessnetze		Sachsen	Tschechien	Polen
Anzahl der Stationen		13	21	10
Komponenten (n <sub>Stationen</sub> , die diese Komp. messen)	SO <sub>2</sub>	13	21	10
	NO <sub>x</sub>	11	21	10
	CO	7	8	3
	BTX	3	1	–
	Schwebstaub (β-Abs.)	12	21	10
	Schwebstaub (Grav.)	6	41*	5
	O <sub>3</sub>	13	7	6
	Meteorologie	13	16	10
Staubbeprobung	Schwebstaub (β-Abs.)	TSP	PM10	PM10
	Schwebstaub (Grav.)	PM10 (seit 01/1998, vorher TSP)	PM <sub>10</sub> oder TSP *	PM10
	Probennahme Staubinhalt	24 h jeden 2. Tag	24 h jeden 5. Tag	24 h jeden 3. Tag
Temperatur/ Druck	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, BTX, Schwebstaub, Staubinhaltsstoffe	293 K 101,3 kPa	273 K 101,3 kPa	273 K 101,3 kPa
	O <sub>3</sub>	293 K (seit 07/1995) 101,3 kPa	293 K (seit 11/1997) 101,3 kPa	293 K (seit 01/1997) 101,3 kPa
Funktionskontrolle	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO	alle 23 h	alle 71 1/2 h	1x pro Woche
	O <sub>3</sub>	alle 23 h	vierteljährlich und nach Bedarf	halbjährlich
	BTX	alle 93 h	nach Bedarf	–
	Schwebstaub	nach Bedarf	nach Bedarf	1x pro Monat
	Staubinhalt	–	–	–
Kalibrierung vor Ort	alle Komponenten	vierteljährlich und nach Bedarf	nach Bedarf	nach Bedarf
Mittelwertbildung	alle Komponenten	66 % der Messwerte	66 % der Messwerte	75 % der Messwerte

\* Im Gebiet des Schwarzes Dreiecks werden an 41 Stationen im tschechischen Teil Staubinhaltsstoffe analysiert. An 36 Stationen werden Messungen mit TSP, an 5 Stationen Messungen mit PM10 durchgeführt. Während die Schwermetalle an allen Stationen analysiert werden, erfolgt dies für die PAK nur an einer Station mit TSP-Beprobung.

tenerfassung und -bereitstellung ermöglicht den unmittelbaren Vergleich der aktuellen Messwerte.

Der seit Projektbeginn bestehende Unterschied in der Realisierung der Prüfalgorithmen Kalibrierung und Funktions-

kontrolle der eingesetzten Messgerätetechnik wurde nicht behoben. Hier wird ein Ansatzpunkt für die weitere Harmonisierung der Messnetze gesehen.

Für die untersuchten Komponenten kommen unterschiedliche Messgerätetypen zum Einsatz (Tabelle 2).



# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

**TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN**

Tab. 2: Eingesetzte Gerätetypen in Polen, Tschechien, Sachsen (Stand 01/2000) [4]

	Sachsen	Tschechien	Polen
<b>Komponente (Messprinzip)</b>	<b>Messgerätetypen</b>		
SO <sub>2</sub> (UV-Fluoreszenz)	ML 9850 u. 8850, Monitor Labs APSA 350E, Horiba	M43A, Thermo Environmental	AF21M, Environnement
NO <sub>x</sub> (Chemolumineszenz)	CLD 700 AC 30 M, Environnement APNA 350E, Horiba	M42, Thermo Environmental	AC31M, Environnement
O <sub>3</sub> (UV-Absorption)	ML 9811, Monitor Labs APOA 350E, Horiba	M49, Thermo Environmental	O <sub>3</sub> 31M, Environnement
CO (NIRD-Gasfilterkorrelation, *IR-Absorption)	ML 9830, Monitor Labs APMA 350E u. 300, Horiba	M48*, Thermo Environmental	CO11M, Environnement*
BTX (GC-FID)	CP 7001, Chrompack	CP 7001, Chrompack	–
Schwebstaub (β-Absorption)	FAG FH 62IN, FAG	F703 (PM10)	MP101M, Environnement
Schwebstaub (Gravimetrie, Laboranalyse)	HVS Digital DH 80, Riemer	HVS Digital DH 80, Riemer	HVS Digital DH 80, Riemer

## Konkrete QS-Maßnahmen und ihre Ergebnisse

Die Qualitätssicherung der Immissionsdaten beinhaltete zwei Schwerpunkte. Zum einem wurden 1998 und 1999 Vergleichsmessungen für die Komponenten Ozon und Schwefeldioxid durchgeführt. Des weiteren wurde 1999 erstmalig ein länderübergreifender Ringversuch zur Beurteilung der Analytik der Staubinhaltsstoffe (Schwermetalle und PAK) im Projekt realisiert.

Ziel dieser Maßnahmen war es, zu beurteilen, inwieweit die Ergebnisse der einzelnen Messnetze vergleichbar sind. Für diese Aussage war es nicht relevant zu wissen, welche Analysen- bzw. Messtechnik eingesetzt wurde, sondern allein das Ergebnis wurde diskutiert und bewertet.

### Transferprüfungen für Ozon und SO<sub>2</sub>

Zur Prüfung der Datenqualität der wichtigen Komponenten SO<sub>2</sub> und O<sub>3</sub> wurden 1998 und 1999 Transferprüfungen an je zwei Stationen durchgeführt. Damit wurde zum einen der Wartungszustand der Messstationen, z. B. Anordnung der Messplätze, die Länge und Sauberkeit der Probennahmelei-

tungen, überprüft. Zum anderen wurde die Kalibrierung der Messgeräte kontrolliert.

Die nachfolgenden Ergebnisse resultieren aus dem Vergleich der Ergebnisse der geprüften Messnetze in Polen, Tschechien und Sachsen zu den Sollwerten der Transferstandards, die im Referenzlabor der Staatlichen Umweltbetriebsgesellschaft in Zusammenarbeit mit dem QS-Beauftragten des LfUG ermittelt wurden. Auf Grund der umfangreichen Erfahrung dieses Labors auf diesem Gebiet und der regelmäßigen erfolgreichen Teilnahme an Ringversuchen werden die ermittelten Sollwerte als „wahre Werte“ angenommen. Es wurden jeweils drei unterschiedliche Konzentrationen geprüft (Prüfgas 1 und 2: niedrige und höhere Konzentration zur Abdeckung des Konzentrationsniveaus der Stationen, Prüfgas 3: Nullluft).

Als Qualitätskriterium wurde ein Toleranzbereich von ± 10 % angesetzt. Dies entspricht der Anforderung an die Messwerte der Funktionskontrolle im sächsischen Messnetz. Die EU-Richtlinie 1999/30/EG sieht für kontinuierliche Messungen der Komponente SO<sub>2</sub> eine Genauigkeit von 15 % vor.

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

**TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN**

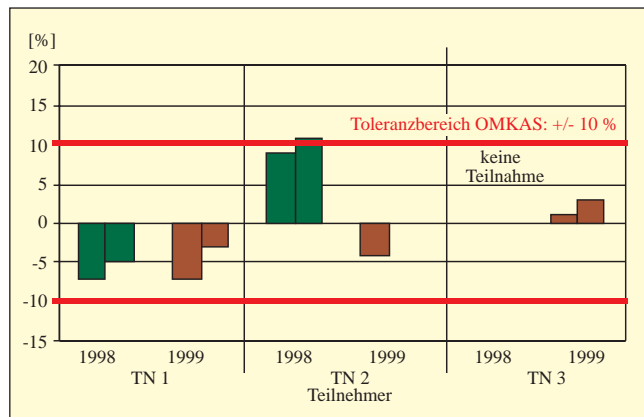


Abb. 1: Transferprüfungen für Ozon 1998, 1999, Darstellung der kleinsten und größten Abweichung vom Sollwert (TN = Teilnehmer)

Während für Ozon 1998 Abweichungen von -11 % bis +11 % auftraten, lagen die Abweichungen von den Prüfgas-sollwerten 1999 im Bereich von -7 % bis +3 %. Der festgelegte Toleranzbereich wurde an keiner Station überschritten. Damit wurde eine deutlich Verbesserung gegenüber den Vorjahresergebnissen erreicht.

Für Ozon lieferten die beteiligten Messnetze vergleichbare Werte. Die dargestellte Immissions-situation für Ozon stellt die tatsächliche Ozonimmissions-situation dar.

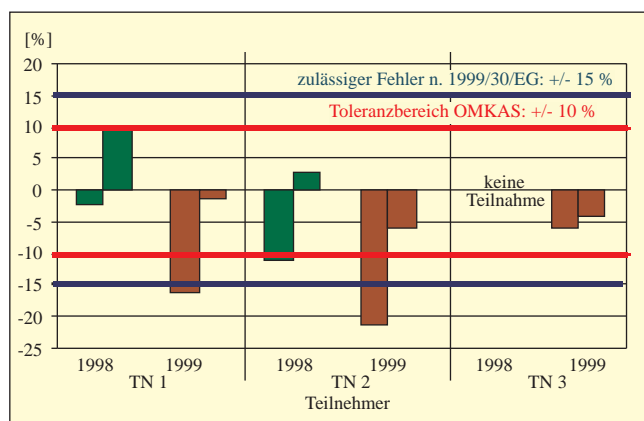


Abb. 2: Transferprüfungen für SO<sub>2</sub> 1998, 1999, Darstellung der kleinsten und größten Abweichung vom Sollwert

Für die Komponente SO<sub>2</sub> stellte sich die Situation etwas anders dar. Während 1998 die Sollwertabweichungen im Bereich von -11 bis +10 % lagen, wurden 1999 Abweichungen im Bereich von -21 % bis -1 % festgestellt. An drei Statio-

nen lagen die Abweichungen vom Sollwert außerhalb der festgelegten Toleranzbereiche [4]. Die Ergebnisse für 1999 setzen ein eindeutiges Signal für die Notwendigkeit der Qualitätssicherung auf dem Sektor der Kalibriermethoden (z.B. Einsatz zertifizierter Prüfgase) und des Erfahrungsaustausches zwischen den Messnetzbetreibern, wie er im Projekt realisiert wurde.

Die festgestellten Minderbefunde wurden bei der Beurteilung der Umweltbelastung durch SO<sub>2</sub> hinsichtlich geltender Grenz- und Richtwerte berücksichtigt.

## Ringversuch Staubinhaltsstoffe (Schwermetalle, PAK)

Im Hinblick auf die Grenzwertfestlegung für Partikel und Blei (1999/30/EG) stellte sich die Frage, inwieweit für die erhobenen Daten der Staubinhaltsstoffe eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Messnetze gegeben ist. Alle am Ringversuch beteiligten neun Labore produzieren Daten, die von Immissionsmessnetzen in Polen und Tschechien bzw. von Ländern der Bundesrepublik Deutschland verwendet werden.

In dem Ringversuch wurden zertifizierte Standardreferenzmaterialien (Referenzproben) und Umweltproben analysiert [5]. Tabelle 3 gibt Auskunft über die untersuchten Komponenten und die Probenanzahl.

Tab 3: Untersuchungsprogramm Ringversuch Staubinhaltsstoffe 1999

Komponenten	Referenzproben		Umweltproben	
	n Proben	n Elemente	n Proben	n Elemente
Schwermetalle (Pb, Cd, As, Ni, Cr)	2	5	12	5
PAK (BaA, Chry, BbF, BkF, BaP, BghiP, IcdP, DahA)	2	8	12	8

Folgende Toleranzen wurden festgelegt: Die Messergebnisse für die einzelnen Komponenten durften vom zertifizierten Wert des Referenzmaterials bzw. dem gebildeten Median der Ergebnisse der Umweltproben aller Teilnehmer nicht mehr als ± 20 % bei den Schwermetallen und ± 30 % bei den PAK abweichen. Nicht bewertet wurden die Ergebnisse, die auf Grund von hohen Blindwerten oder Bestimmungsgrenzen nicht gesichert waren

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

**TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN**

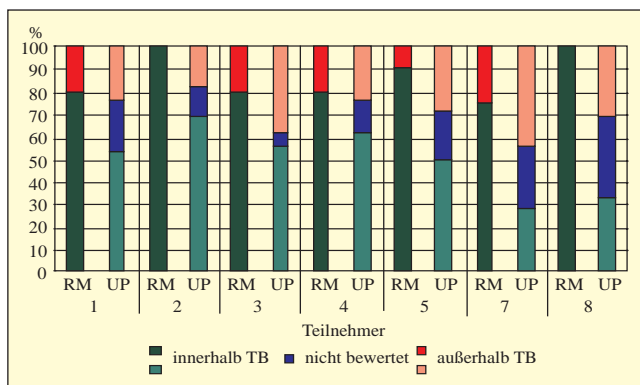


Abb. 3: Teilnehmerbezogene Darstellung der prozentualen Anteile der verschiedenen Bewertungskategorien für die Metallanalysen in Referenzmaterialien und Umweltproben [5]

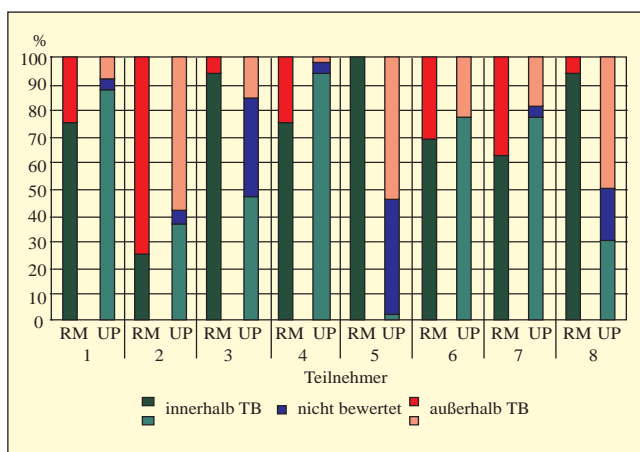


Abb. 4: Darstellung der prozentualen Anteile der verschiedenen Bewertungskategorien für die PAK-Analysen in Referenzmaterialien und Umweltproben [5]

Die Ergebnisse für die Schwermetalle und PAK sind in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt. Sehr deutlich wird die unterschiedliche Analysenqualität der Teilnehmer für die untersuchten Komponenten und damit die Notwendigkeit derartiger Vergleichsmessungen. Die Ergebnisse dieses Ringversuches haben sehr viele Fragen aufgeworfen. z.B. Welche Analytikmethode ist die richtige? Wie müssen die Proben aufgeschlossen werden, um eine möglichst effektive Ausbeute zu erreichen?

Mit den umfangreichen Ergebnissen dieses Ringversuches existiert eine erste Grundlage für die weitere Diskussion der Analytik der Staubinhaltsstoffe in Schwebstaub in den einzelnen Messnetzen.

Der Vergleich der Inhaltsstoffe im Schwebstaub (Gravimetrie, Laboranalyse) der betrachteten Ländermessnetze ist nur sehr eingeschränkt möglich.

## QS/QK Depositionsdaten

Zur Bestimmung des Eintrages von umweltrelevanten Stoffen durch nasse Deposition werden in Polen, Tschechien und Sachsen Depositionsmessnetze betrieben. Zur Sicherung der Datenqualität der Depositionsdaten wurden u.a. ein einjähriger Sammlervergleich, jährliche Ringversuche zur nassen Deposition und Methodenblindwertbestimmungen der Niederschlagssammler durchgeführt.

## Vergleich der Niederschlagssammlertypen ANTAS und Eigenbrodt

Im Zuge der Harmonisierung der Messnetze erfolgte im November 1998 die Umrüstung des sächsischen Depositionsmessnetzes analog dem polnischen und tschechischen Messnetz auf Eigenbrodt-Sammler. Bis dahin waren in Sachsen Niederschlagssammler vom Typ ANTAS im Einsatz. Die Umstellung des sächsischen Depositionsmessnetzes auf den neuen Sammlertyp wurde durch einen einjährigen Sammlervergleich abgesichert [7]. Ein Bruch in den langjährigen Messreihen war nach diesen Ergebnisse nicht zu erwarten und wurde auch nicht festgestellt. Die im Rahmen von OMKAS erstellten Depositionscharakteristiken und Trendaussagen zu niederschlagsrelevanten Schadstoffen werden durch den Sammlerwechsel also nicht beeinträchtigt.

## Ringversuche zur Analytik der nassen Deposition

Für die Beurteilung der Analysenqualität der Labore, deren Ergebnisse für die Erstellung von Depositionscharakteristiken herangezogen wurden, wurden seit 1997 jährlich Ringversuche ausgerichtet und bewertet. Ziel der Ringversuche war die Beantwortung folgender Fragestellungen:

- Ist auf der Grundlage der Messungen die Bestimmung einer repräsentativen nassen Deposition im Gebiet des Schwarzen Dreiecks möglich?
- Sind die ermittelten Depositionseinträge der Messnetze im Gebiet des Schwarzen Dreiecks vergleichbar?
- Gewährleisten die Labors mit den von ihnen angewandten Methoden die Erfassung/Messung geringer Konzentrationen entsprechend den Empfehlungen der LAWA-Richtlinie?

Die Randbedingungen (Teilnehmerzahl, Probenmaterial, untersuchte Komponenten usw.) sowie die Bewertungskriterien dieser Ringversuche sind in Tabelle 4 dargestellt.

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

**TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN**

Tab 4: Randbedingungen und Bewertungskriterien (Ringversuche 1997 bis 1999) [6]

	1997	1998	1999
Teilnehmerzahl	7	10	9
Probenzahl/-menge	2 Proben, je 100 ml		
Probenart	Referenzmaterialien		
untersuchte Komponenten	pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Na <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>		
Toleranzbereich für Abweichungen vom Referenzwert	± 15 %		± 15 % und ± 10 %

Insgesamt kann eingeschätzt werden, dass sich die Analysenqualität der betrachteten Labore z.T. bestätigt bzw. verbessert hat. Während 1998 noch 14 % der Ergebnisse außerhalb des Toleranzbereiches von ± 15 % lagen, waren es 1999 nur noch 6 % (Abbildung 5). Die festgestellten Abweichungen sind gehäuft bei bestimmten Laboren zu finden. Eine Verbesserung der Analysenqualität ist anzustreben.

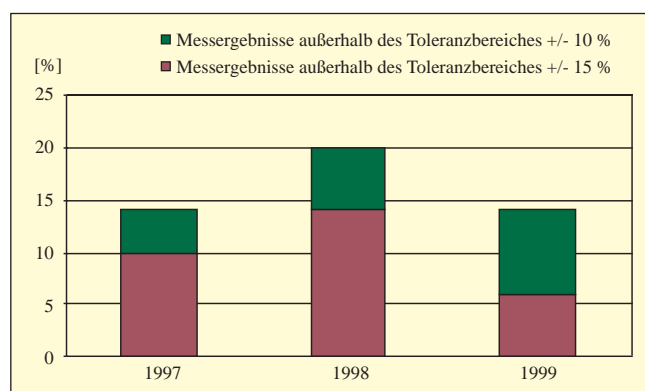


Abb. 5: Prozentualer Anteil der Gesamtheit der Messwerte aller Teilnehmer, die außerhalb der festgelegten Toleranzbereiche liegen

Schwierigkeiten traten vor allem bei der Analyse von niedrig konzentrierten Niederschlagsproben, wie sie auch im Routinebetrieb als Proben anfallen, für die Komponenten Ammonium, Calcium, Kalium, Magnesium und Natrium auf. Die Bestimmung der Komponenten pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Chlorid, Nitrat und Sulfat zeigten in der Regel gute Ergebnisse.

Für künftige Ringversuche sollte die Bewertung der Ergebnisse nur noch hinsichtlich der 10 %-Toleranzgrenze erfolgen.

Die Beurteilung der Relevanz des Schadstoffeintrages durch nasse Deposition konnte auf Grund der teilweise schlechten Analysenqualität bestimmter Elemente und ungenügender Ionenbilanzen in der Routineanalytik nicht für das gesamte Untersuchungsgebiet durchgeführt werden.

### Methodenblindwertbestimmung der Niederschlagssammler

Zur Beurteilung der Reinigungsqualität und des technischen Zustandes der Sammler wurden seit 1997 jährlich Methodenblindwertbestimmungen, 1999 erstmalig auch an polnischen und tschechischen Stationen, durchgeführt. Abbildung 6 zeigt sehr deutlich die Entwicklung in den einzelnen Messnetzen. Dargestellt ist die Konzentration von Sulfat in den Blindwertproben im Vergleich zu der durchschnittlichen ortsüblichen Konzentration (Jahresmittel).

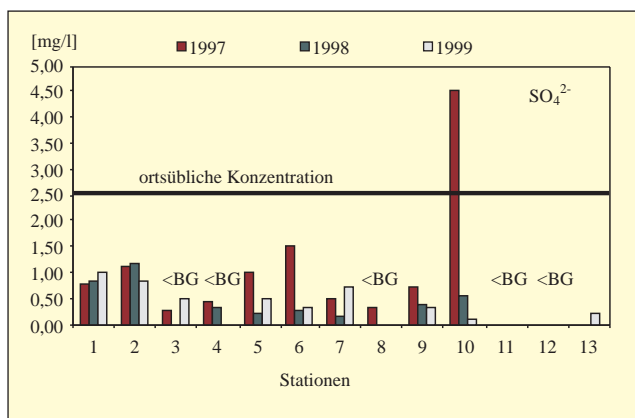


Abb. 6: Methodenblindwerte für Sulfat, 1997-1999

Diese Entwicklung zeigt sich auch bei der Betrachtung der anderen untersuchten Komponenten. Obwohl 1999 gegenüber 1998 eine Verschlechterung an manchen Stationen auftrat, ist doch allgemein eine positive Entwicklung absehbar. Die Erarbeitung konkreter Anweisungen für die Probennahme und Reinigung der Sammler hat einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Reinigungsqualität geleistet.

Die Anforderungen diesbezüglich werden sich noch verstärken, da die in den Niederschlägen gemessenen Konzentrationen sehr niedrig sind und dadurch bereits erhebliche Anforderungen an die Probennahme bestehen.

Mit Ausnahme einiger Stationen ist die wöchentliche Zuordnung der nassen Deposition an den jeweiligen Standorten gewährleistet. Für die Betrachtung größerer Mittelungszeiträume wie Sommerhalbjahr und Winterhalbjahr können die Messwert uneingeschränkt verwendet werden.

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

**TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN**

## *Fazit*

Die am Projekt beteiligten Messnetze, Institutionen und Labore haben mit ihrer Offenheit bei der Diskussion von Problemen und Fragestellungen zur gegenwärtigen Qualität der Messungen und durch die Unterstützung bei der Realisierung der QS-Maßnahmen einen wesentlichen Beitrag für die Umsetzung des QS-Konzeptes geleistet.

Entsprechend den festgelegten Qualitätskriterien kann eingeschätzt werden, dass die im Rahmen des Projektes OMKAS ausgewerteten Daten qualitätsgeprüft sind und realistisch die Entwicklung der Luftqualität im Gebiet des Schwarzen Dreiecks widerspiegeln. Die Ergebnisse zeigen aber auch sehr deutlich, dass eine kontinuierliche QS/QK der Immissions- und Depositionsdaten unverzichtbar für die Beurteilung der Luftqualität im Schwarzen Dreieck ist.

## *Literatur:*

- [1] Gesetz zur Änderung des BImSchG (Ozongesetz). 19.07.1995
- [2] Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22.04.1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickoxide, Partikel und Blei in der Luft
- [3] Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27.09.1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität
- [4] LFUG (OMKAS): Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle der Immissionsdaten. Zwischenbericht Nr. 6, 1999
- [5] LFUG (OMKAS): Ringversuch Staubinhaltsstoffe. 10/1999
- [6] LFUG(OMKAS): Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle der Immissionsdaten - Auswertung des 3. Ringversuches zur nassen Deposition, 09/1999
- [7] LFUG (OMKAS): Auswertung der Vergleichsmessungen der Niederschlagssammler TYP ANTAS und Typ Eigenbrodt NSA 181/E. 1999

## Die Emissionssituation im Schwarzen Dreieck gestern – heute – übermorgen

Frank Zimmermann und Dietmar Bothmer  
Institut für Ökologie und Umweltschutz an der Hochschule Zittau/Görlitz (FH)

### Das Schwarze Dreieck

Das Zentrum der Region, welche noch heute als Schwarzes Dreieck bezeichnet wird, bildet ein großes Braunkohlebecken, welches sich vom westlichen Niederschlesien in Polen bis zum östlichen Sachsen in Deutschland und nach Nordböhmen in Tschechien erstreckt. Eine jahrzehntelange Nutzung dieser Braunkohle zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie in der Schwerindustrie ohne Rauchgasentschwefelungsanlagen hatte gravierende Umweltschäden zur Folge.

Das Schwarze Dreieck besteht aus den sächsischen Regierungsbezirken Dresden und Chemnitz, den tschechischen grenznahen Kreisen von Sokolov im Westen bis Trutnov im Osten und den polnischen Wojewodschaften Jelenia Gora und Walbrzych. Es umfaßt die in der Tabelle 1 ausgewiesenen Flächen. Im Schwarzen Dreieck leben etwa 6 Mio. Menschen.

Tab. 1: Gebiet des Schwarzen Dreiecks.

Land	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Anteil [%]
Sachsen	14.011	43,2
Tschechien	9.853	30,4
Polen	8.546	26,4
gesamt	32.410	

Nachfolgend wird die Abnahme der emittierten Luftschadstoffe seit 1990 aufgezeigt. Die erzielten Ergebnisse verdeutlichen die umfangreichen Anstrengungen in allen drei Ländern. In den Darstellungen sind auch die durch den Straßenverkehr verursachten Luftschadstoffe enthalten, welche aufgrund der erheblichen Zunahme der Verkehrsdichte bei einigen Schadstoffen keine sinkende Tendenz aufweisen. Weiterhin erfolgt eine Abschätzung der Entwicklung der Emissionen des Treibhausgases Kohlendioxid für die betrachteten Emittentengruppen.

### Länderbezogene Entwicklung der Luftschadstoffemissionen

Die Abbildungen 1a bis 1c verdeutlichen die Reduzierungen der Emissionen von Schwefeldioxid im sächsischen, polnischen und tschechischen Teil des Schwarzen Dreiecks für den Zeitraum 1990 bis 2005. Die Entwicklung der Emissionen von Stickoxiden, Staub und NMVOC veranschaulichen die Abbildungen 2 bis 4.

Die erhebliche Verringerung bei den Großfeuerungsanlagen, umfangreiche Ablösungen des Energieträgers Braunkohle, Modernisierungen bzw. Stilllegungen veralteter Anlagen und Maßnahmen zur Energieeinsparung ermöglichten umfangreiche Emissionsreduzierungen in Sachsen. Im Zeitraum 1990 bis 1998 wurden die Emissionen von Schwefeldioxid auf 4 %, von Stickoxiden auf 53 % und von Staub auf 3 % reduziert.

Kraftwerke und Heizwerke, welche fast ausschließlich Rohbraunkohle einsetzen, hatten einen erheblichen Anteil an den Emissionen im tschechischen Teil des Schwarzen Dreiecks. Durch die Betreiber wurden bis 1998 alle weiter genutzten Anlagen modernisiert. Die Ausrüstung mit Rauchgasentschwefelungsanlagen sowie die Umrüstung von Kesseln auf das Wirbelschichtverfahren führten zu einer deutlichen Verringerung der Emissionen. Im Zeitraum 1990 bis 1998 konnten folgende Reduzierungen der Emissionen durch Großemittenten in Tschechien erreicht werden: Schwefeldioxid auf 16 %, Stickoxide auf 40 % und Staub auf 8 %.

Im polnischen Teil des Schwarzen Dreiecks ist das Kraftwerk Turow mit einer elektrischen Leistung von 2000 MW der größte Emittent. Das Kraftwerk soll bis etwa 2035 auf der Basis von Rohbraunkohle betrieben werden. Alle Blöcke, welche langfristig eingesetzt werden sollen, werden bis zum Jahr 2003 mit modernen Anlagen zur Verringerung der Emissionen ausgerüstet.

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

**TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN**

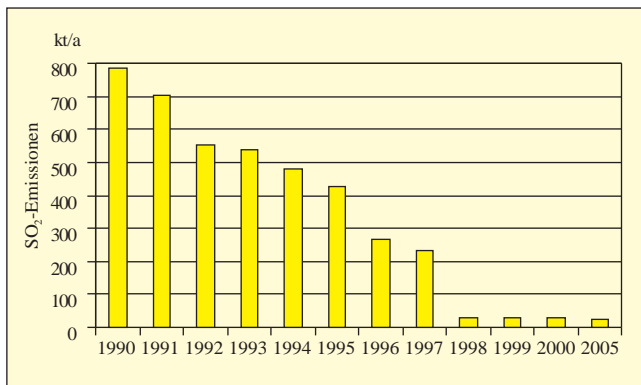


Abb. 1a: Schwefeldioxidemissionen im sächsischen Teil des Schwarzen Dreiecks (ab 1999 Schätzung)

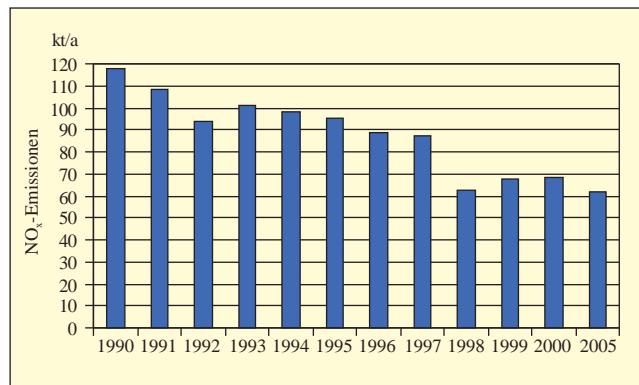


Abb. 2a: Stickoxidemissionen im sächsischen Teil des Schwarzen Dreiecks (ab 1999 Schätzung)

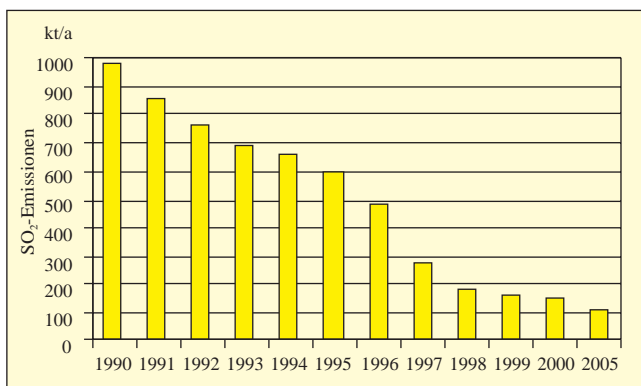


Abb. 1b: Schwefeldioxidemissionen im tschechischen Teil des Schwarzen Dreiecks (ab 1999 Schätzung)

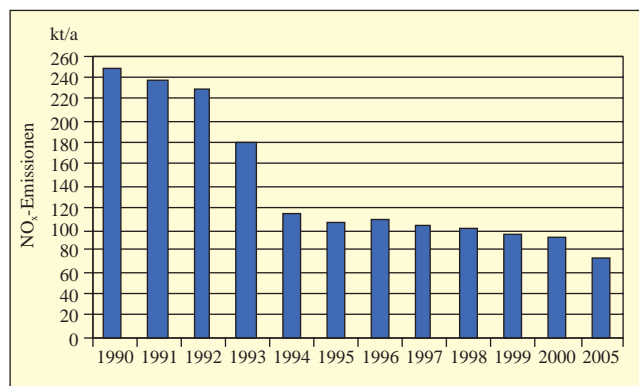


Abb. 2b: Stickoxidemissionen im tschechischen Teil des Schwarzen Dreiecks (ab 1999 Schätzung)

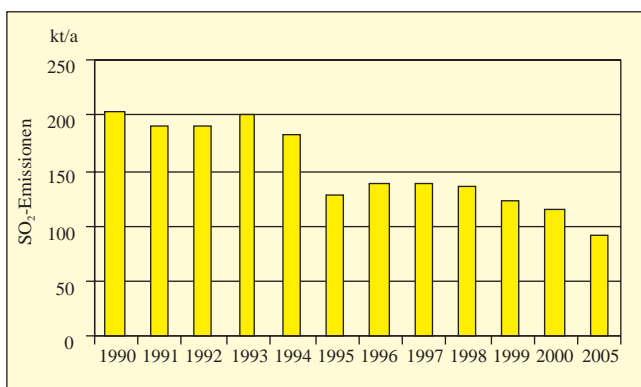


Abb. 1c: Schwefeldioxidemissionen im polnischen Teil des Schwarzen Dreiecks (ab 1999 Schätzung)

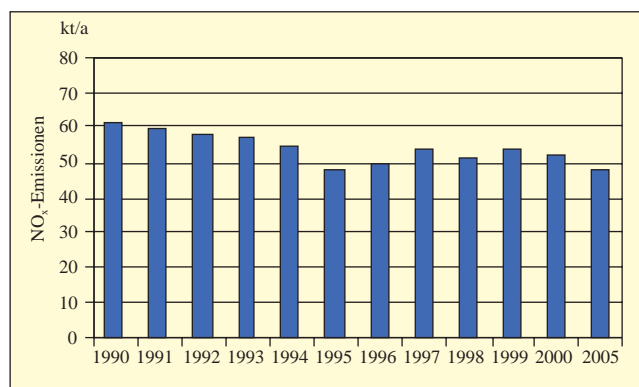


Abb. 2c: Stickoxidemissionen im polnischen Teil des Schwarzen Dreiecks (ab 1999 Schätzung)

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

**TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN**

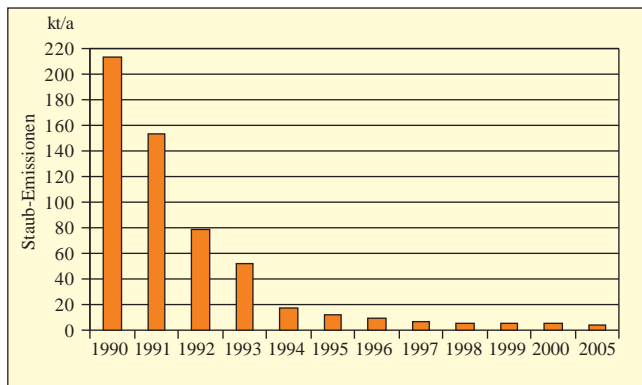


Abb. 3a: Staubemissionen im sächsischen Teil des Schwarzen Dreiecks (ab 1999 Schätzung)

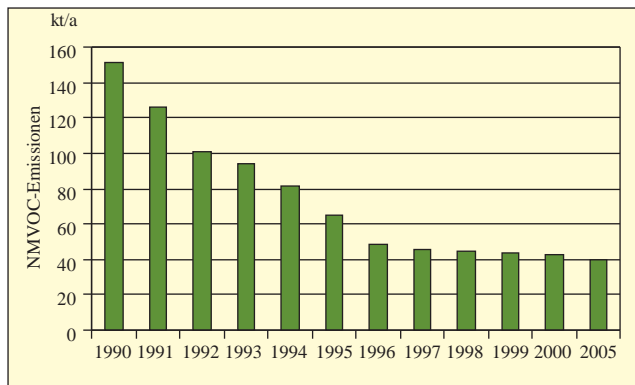


Abb. 4a: NMVOC-Emissionen im sächsischen Teil des Schwarzen Dreiecks (ab 1999 Schätzung)

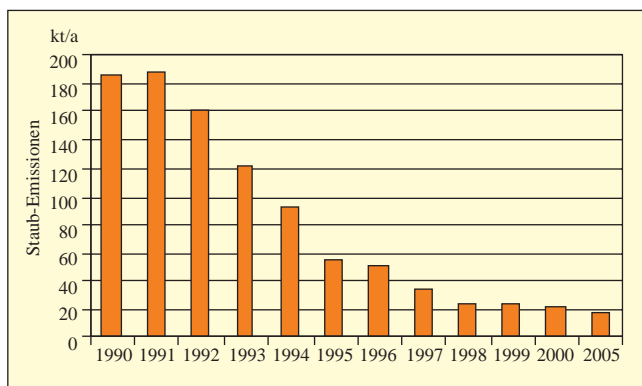


Abb. 3b: Staubemissionen im tschechischen Teil des Schwarzen Dreiecks (ab 1999 Schätzung)

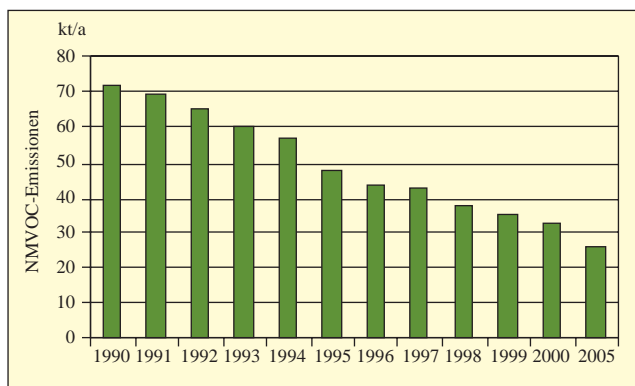


Abb. 4b: NMVOC-Emissionen im tschechischen Teil des Schwarzen Dreiecks (ab 1999 Schätzung)

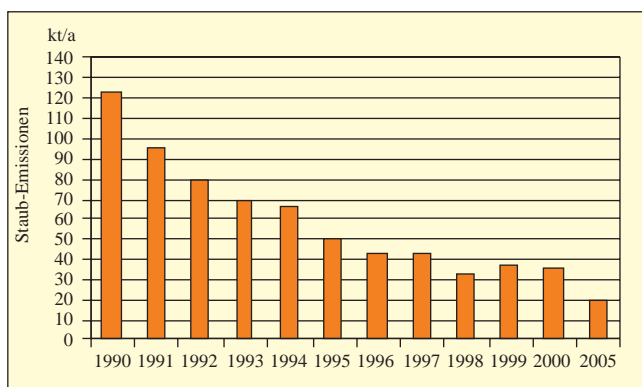


Abb. 3c: Staubemissionen im polnischen Teil des Schwarzen Dreiecks (ab 1999 Schätzung)

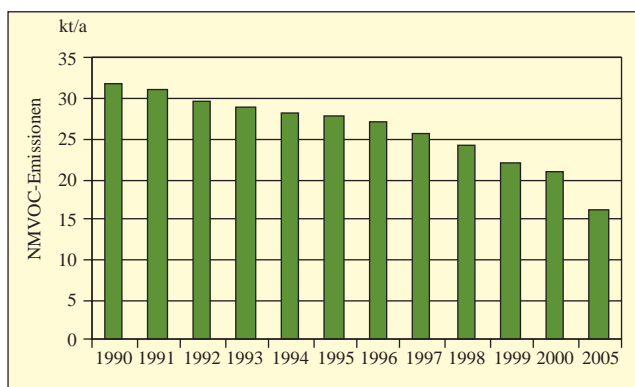


Abb. 4c: NMVOC-Emissionen im polnischen Teil des Schwarzen Dreiecks (ab 1999 Schätzung)



# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

**TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN**

Die Emissionen des Kraftwerkes Turow konnten bereits im Zeitraum 1990 bis 1998 für Schwefeldioxid auf 62 %, bei Stickoxiden auf 56 % und bei Staub auf 13 % gesenkt werden.

Die Großemittenten haben einen relativ geringen Anteil an den NMVOC-Emissionen. Zu einer Verringerung der Gesamtemissionen führten vor allem geringere NMVOC-Emissionen beim Verkehr und den Haushalten.

## Länderbezogene Anteile der Emittentengruppen

Die Abbildungen 5a und 5b zeigen die Anteile der sächsischen und tschechischen Emittentengruppen an den Schwefeldioxidemissionen im Jahr 1998. Im Jahr 1997 betrug der Anteil der sächsischen Großemittenten an der Schwefeldioxidemission noch 95 %. In diesem Jahr wurde das Kraftwerk

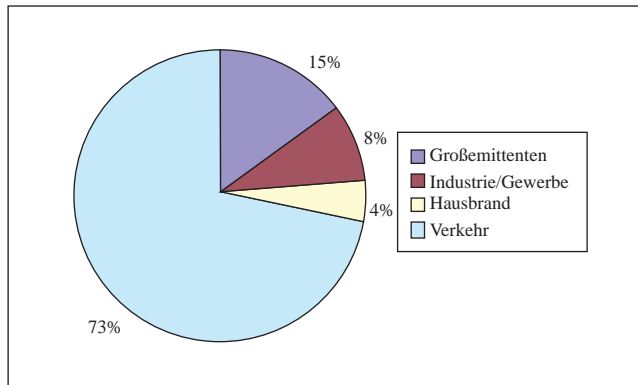


Abb. 6a: Anteile der sächsischen Emittenten an den Stickoxidemissionen (Bezugsjahr 1998)

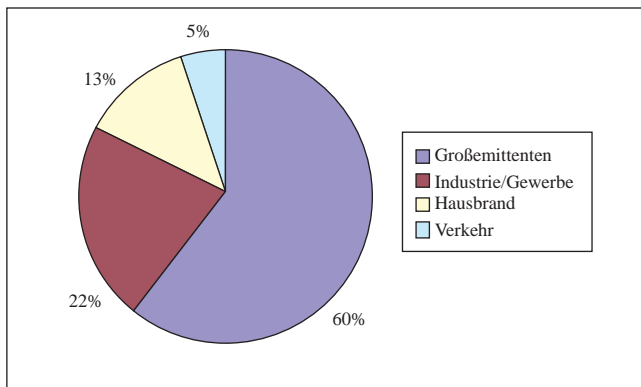


Abb. 5a: Anteile der sächsischen Emittenten an den Schwefeldioxidemissionen (Bezugsjahr 1998)

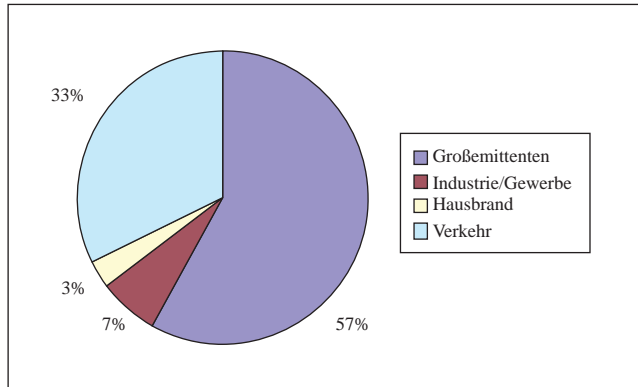


Abb. 6b: Anteile der tschechischen Emittenten an den Stickoxidemissionen (Bezugsjahr 1998)

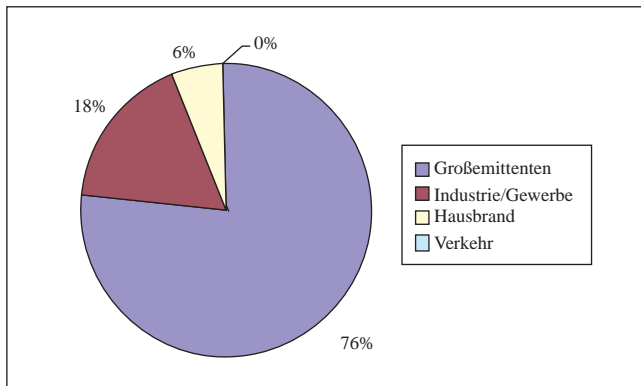


Abb. 5b: Anteile der tschechischen Emittenten an den Schwefeldioxidemissionen (Bezugsjahr 1998)

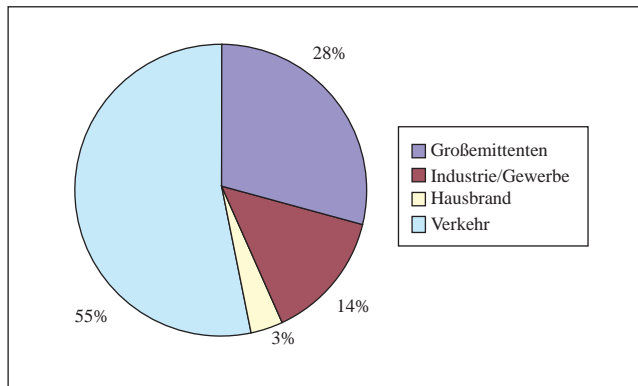


Abb. 6c: Anteile der polnischen Emittenten an den Stickoxidemissionen (Bezugsjahr 1998)

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

## TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN

Hagenwerder noch betrieben. Der Anteil des Straßenverkehrs an der Emission von Schwefeldioxid ist sehr gering. Im tschechischen Teil des Schwarzen Dreiecks wird ein hoher Anteil des Schwefeldioxids auch noch im Jahr 1998 durch Großemittenten emittiert. Die Anteile der polnischen Emittentengruppen sind nahezu mit den tschechischen Anteilen identisch.

Die Anteile der Emittenten an den Stickoxidemissionen veranschaulichen die Abbildungen 6a bis 6c. In Sachsen und in Polen hat der Verkehr den größten Anteil. In Tschechien sind die Großemittenten dominierend.

Die Abbildungen 7a bis 7c veranschaulichen die Anteile der Emittenten an den Staubemissionen. In Sachsen ist der Anteil der Großemittenten sehr gering. Industrie, Gewerbe und Verkehr emittieren den größten Teil des Staubes. In Polen und Tschechien haben sowohl die Großemittenten als auch die Industrie und das Gewerbe einen großen Anteil an der Staubemission. Der Anteil des Feinstaubes PM10 am Gesamtstaub im Schwarzen Dreieck beträgt etwa 75 % (82 % in Sachsen, 77 % in Tschechien und 71 % in Polen) im Bezugsjahr 1998.

Die Abbildungen 8a bis 8c zeigen die Anteile der Emittentengruppen an den NMVOC-Emissionen. Der Anteil der Großemittenten ist sehr gering. In Sachsen ist der Verkehr mit etwa 70 % dominierend. Etwa 23 % der NMVOC-Emissionen werden durch die Haushalte in Sachsen emittiert. In Tschechien und Polen ist der Anteil des Verkehr und der Haushalte an der NMVOC-Emission dominierend. Im Gegensatz zu Sachsen ist auch der Anteil von Industrie und Gewerbe relativ hoch. Ursache dafür ist der höhere Anteil von Kohle als Energieträger.

Bei der Bewertung der jeweiligen Emittentengruppe am länderbezogenen Anteil des Schwarzen Dreiecks muß jeweils die Menge der Gesamtemissionen beachtet werden.

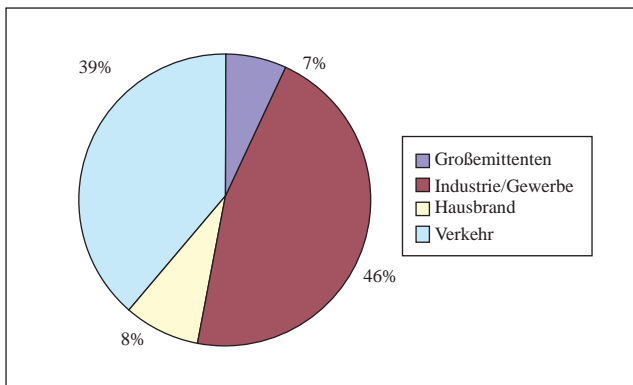


Abb. 7a: Anteile der sächsischen Emittenten an den Staubemissionen (Bezugsjahr 1998)

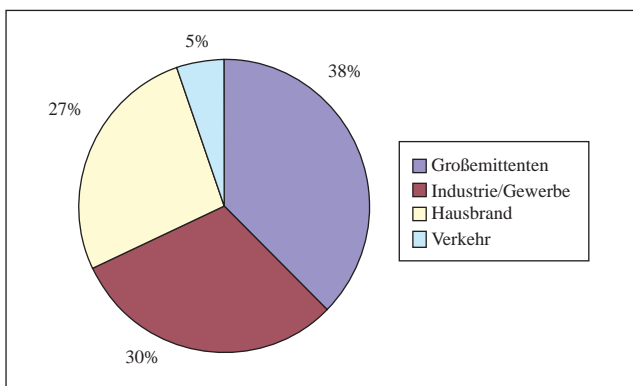


Abb. 7b: Anteile der tschechischen Emittenten an den Staubemissionen (Bezugsjahr 1998)

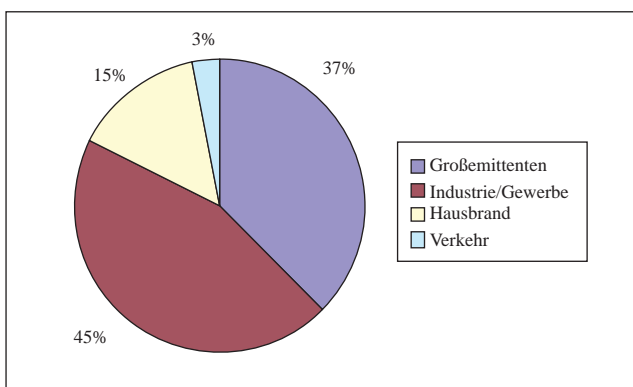


Abb. 7c: Anteile der polnischen Emittenten an den Staubemissionen (Bezugsjahr 1998)

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

**TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN**

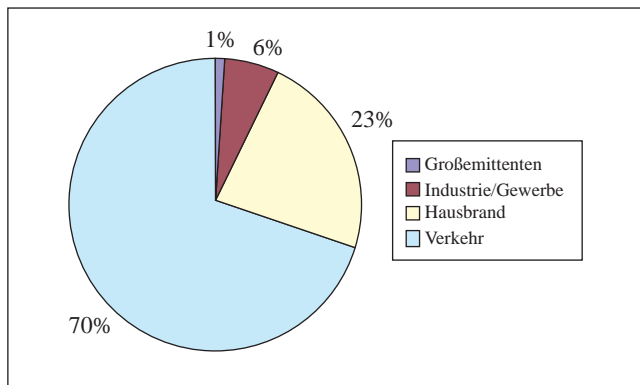


Abb. 8a: Anteile der sächsischen Emittenten an den NMVOC-Emissionen (Bezugsjahr 1998)

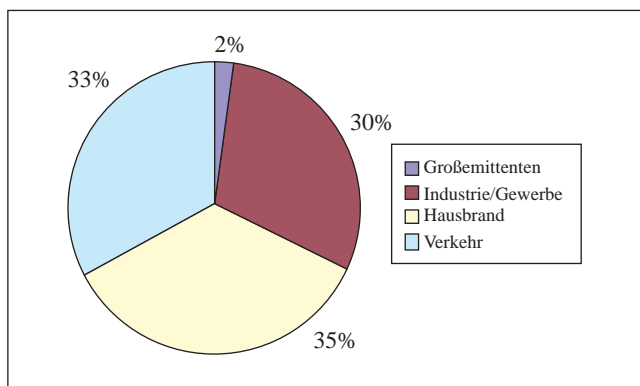


Abb. 8b: Anteile der tschechischen Emittenten an den NMVOC-Emissionen (Bezugsjahr 1998)

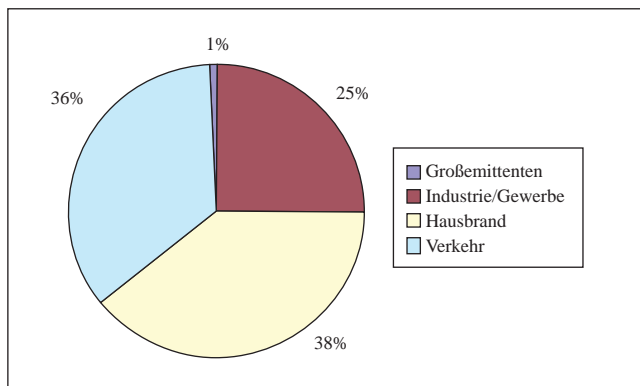


Abb. 8c: Anteile der polnischen Emittenten an den NMVOC-Emissionen (Bezugsjahr 1998)

## Schadstoffemissionen im Schwarzen Dreieck

Die Verringerung der emittierten Luftschadstoffe im gesamten Schwarzen Dreieck verdeutlichen die Abbildungen 9, 11, 13 und 15. Die Abbildungen 10, 12, 14 und 16 veranschaulichen die Anteile der Emittentengruppen an der jeweiligen Gesamtemission des Schwarzen Dreiecks für das Bezugsjahr 1998. Trotz umfangreicher bisheriger Anstrengungen, welche in allen drei Ländern die effektive Reduzierung der Emissionen der Großemittenten als Schwerpunkte beinhalten, sollte auch zukünftig eine weitere Senkung der Freisetzung von Luftschadstoffen angestrebt werden. Ein Teil der Haushalte und des Gewerbes setzen noch heute Braunkohlebrikett (teilweise sogar Rohbraunkohle) ein. Die Verringerung dieses Anteils würde vor allem in Tschechien und Polen zu einer weiteren Minderung der lokalen Luftschadstoffbelastung vor allem durch Schwefeldioxid und Staub beitragen. Weiterhin gilt es, dem teilweisen Anstieg der verkehrsbedingten Luftschadstoffe durch geeignete Maßnahmen, wie die Verminderung des Verkehrsaufkommens vor allem beim Güterverkehr oder die Modernisierung der Fahrzeugflotte, entgegenzuwirken.

Priorität haben aber alle Maßnahmen, welche zu einer Reduzierung des Energiebedarfes führen bzw. regenerative Energiequellen nutzen.

## Treibhausgas Kohlendioxid

Klimagas haben bisher zu einer Erwärmung der bodennahen Luftschichten um etwa 0,3 bis 0,6 °C geführt. Der Anteil von Kohlendioxid wird dabei auf etwa 50 % geschätzt. Hauptverursacher der Kohlendioxidemissionen ist die Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Deshalb sind auch die Kohlendioxidemissionen des Schwarzen Dreiecks für Europa von erheblicher Bedeutung. Die Abbildung 17 verdeutlicht eine Abschätzung der Kohlendioxidemissionen im Zeitraum 1990 bis 2005. Bereits im Zeitraum 1990 bis 1996 konnten die Emissionen von Kohlendioxid im Schwarzen Dreieck auf 56 % reduziert werden. In der Bundesrepublik Deutschland konnten im gleichen Zeitraum die Kohlendioxidemissionen nur auf 90 % verringert werden.

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

**TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN**

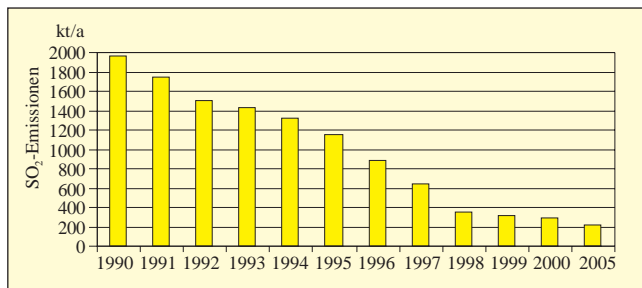


Abb. 9: Schwefeldioxidemissionen im Schwarzen Dreieck (ab 1999 Schätzung)

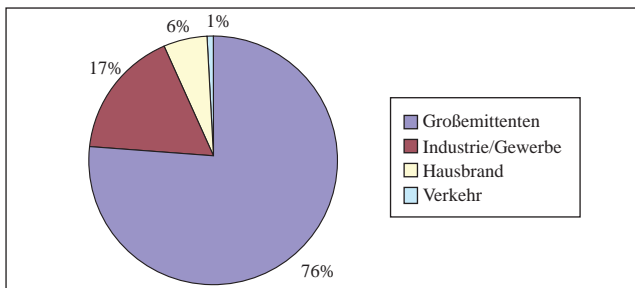


Abb. 10: Anteile der Emittenten an den Schwefeldioxidemissionen (Bezugsjahr 1998)

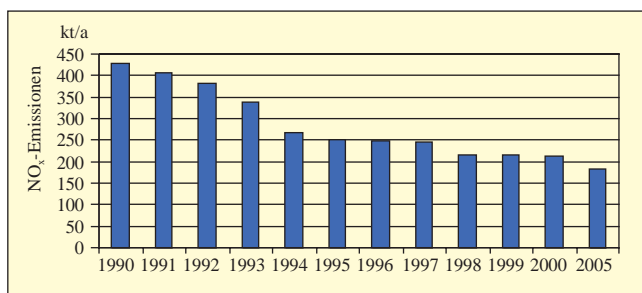


Abb. 11: Stickoxidemissionen im Schwarzen Dreieck (ab 1999 Schätzung)

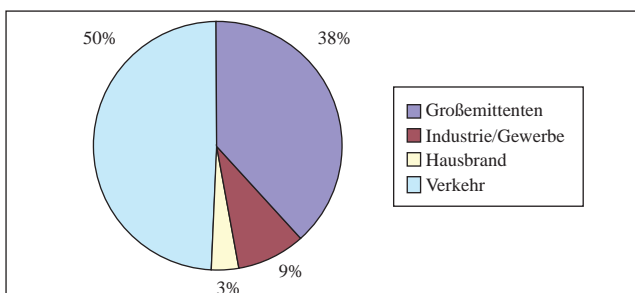


Abb. 12: Anteile der Emittenten an den Stickoxidemissionen (Bezugsjahr 1998)

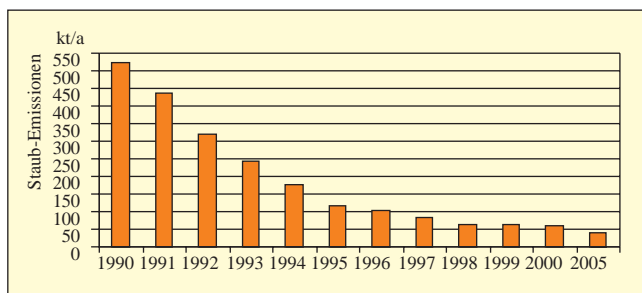


Abb. 13: Staubemissionen im Schwarzen Dreieck (ab 1999 Schätzung)

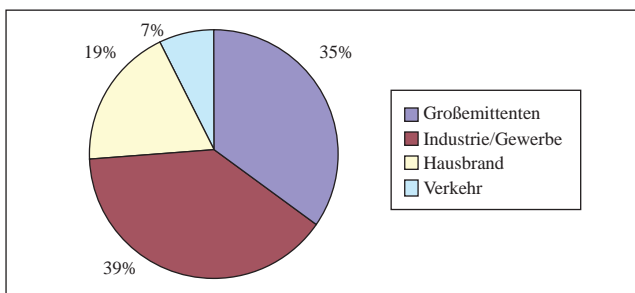


Abb. 14: Anteile der Emittenten an den Staubemissionen (Bezugsjahr 1998)

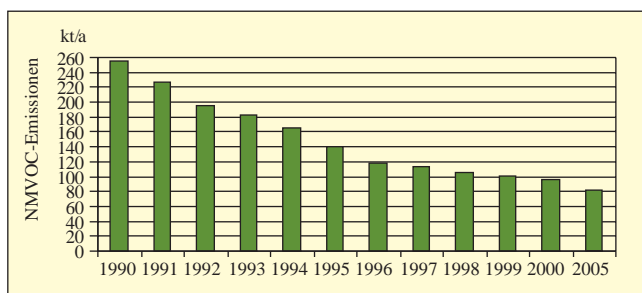


Abb. 15: NMVOC-Emissionen im Schwarzen Dreieck (ab 1999 Schätzung)

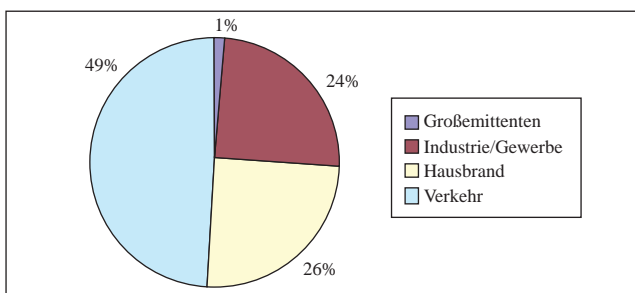


Abb. 16: Anteile der Emittenten an den NMVOC-Emissionen (Bezugsjahr 1998)

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

**TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN**

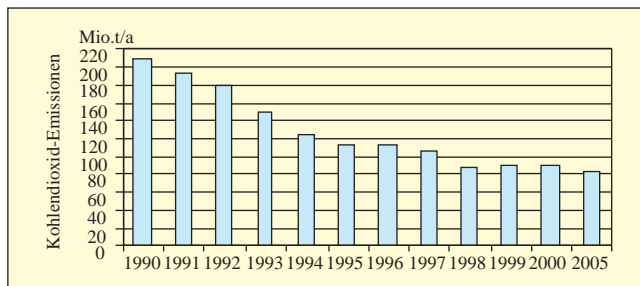


Abb. 17: Kohlendioxidemissionen im Schwarzen Dreieck

## Das „Schwarze Dreieck“ – Ein Begriff der Vergangenheit ?

Die Regierungen der europäischen Länder haben sich in einer Konvention zur Verringerung der grenzüberschreitenden Luftschadstoffemissionen verpflichtet (UN/ECE, 1999). Zur Bewertung des Standes im Schwarzen Dreieck wird eine lineare Emissionsreduzierung angenommen, d.h. im Jahr 2000 müssen 50 % der im Zeitraum 1990 bis 2010 geplanten Reduzierungen erreicht werden. Nach einer Umrechnung der Emissionen auf die Einwohner im jeweiligen Teil des Schwarzen Dreiecks sind die in den Tabellen 2 und 3 im Jahr 2000 und 2010 zu erreichenden Ziele und die im Jahr 2000 voraussichtlich vorhandenen Emissionen ausgewiesen. Bei der Bewertung der Tabellen muß auch beachtet werden, dass für die jeweilige landesweite Energieversorgung wichtige Kraftwerke im tschechischen und polnischen Teil des Schwarzen Dreiecks liegen. Die Umrechnung auf die vorhandenen Einwohner stellt somit im Schwarzen Dreieck eine problematische Vorgehensweise dar.

Trotz der erreichten Ziele bei der Senkung der Schwefeldioxid- und Stickoxidemissionen im Jahr 2000 müssen in den Folgejahren diese Emissionen weiter deutlich verringert werden.

Tab. 2: Geplante und im Schwarzen Dreieck realisierte Reduzierungen der Schwefeldioxidemissionen (Ziele nach UN/ECE (1999))

Teil des Schwarzen Dreiecks	SOLL im Jahr 2000 SO <sub>2</sub> [kt/a]	IST im Jahr 2000 SO <sub>2</sub> [kt/a]	SOLL im Jahr 2010 SO <sub>2</sub> [kt/a]
Deutschland	121	27	23
Tschechien	145	148	38
Polen	75	116	46
<b>Gesamt</b>	<b>338</b>	<b>296</b>	<b>106</b>

## Fazit

Im Schwarzen Dreieck gelang es, die Emissionen von Luftschadstoffen deutlich zu senken. Den größten Anteil daran hatten die Großanlagen, welche mit modernen Rauchgasreinigungsanlagen ausgerüstet oder stillgelegt wurden.

Eine einwohnerbezogene Umrechnung der landesweiten Zielsetzung nach den Vorgaben der UN/ECE (1999) stellt aber aufgrund der Konzentration von Anlagen im Schwarzen Dreieck eine problematische Bezugsgröße dar. Es bleibt festzustellen, dass die so ermittelten Zielsetzungen bei weiterem Einsatz von Braunkohle als Energieträger im Gebiet des Schwarzen Dreiecks nicht erreichbar sind.

Zukünftig gilt es vor allem, die Emissionen von Stickoxiden, Feinstaub PM10 (etwa 75 % des Gesamtstaubes ist Feinstaub) und Kohlenwasserstoffen weiter deutlich zu reduzieren. Schwerpunkte sind dabei mit Kohle betriebene Anlagen der Industrie und des Gewerbes in Tschechien und Polen sowie die weitere Reduzierung des Kohleinsatzes beim Hausbrand. Einen weiteren Schwerpunkt bilden die verkehrsbedingten Emissionen. Moderne Partikelfilter und strenge Abgasnormen werden einer Zunahme der Verkehrsemissionen trotz eines steigenden Verkehrsaufkommens entgegen wirken.

## Literatur:

UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE (1999): New air pollution protocol to save lives and the Environment. Press Release ECE/ENV/99/11, Geneva, 24 November 1999.

Tab.3: Geplante und im Schwarzen Dreieck realisierte Reduzierungen der Stickoxidemissionen (Ziele nach UN/ECE (1999))

Teil des Schwarzen Dreiecks	SOLL im Jahr 2000 NO <sub>x</sub> [kt/a]	IST im Jahr 2000 NO <sub>x</sub> [kt/a]	SOLL im Jahr 2010 NO <sub>x</sub> [kt/a]
Deutschland	78	68	43
Tschechien	69	91	39
Polen	75	52	29
<b>Gesamt</b>	<b>222</b>	<b>198</b>	<b>112</b>

## **Die Luftqualität im Schwarzen Dreieck gemessen an den neuen europäischen Minderungsstrategien**

Sophie Conradt und Hannelore Kuß  
Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Trotz der insgesamt erheblichen Verbesserung der Luftverunreinigungssituation in Sachsen im letzten Jahrzehnt ist der Umfang der über die Ländergrenzen hinweg transportierten Luftschadstoffe – vor allem von Stickstoff und Ozon – nach wie vor viel zu hoch, um von den Ökosystemen toleriert zu werden. In Sachsen stehen dabei folgende regionale Umweltprobleme im Vordergrund:

- **Versauerung**
- **Eutrophierung und**
- **Anstieg des troposphärischen Ozons.**

Diese Problemkreise wurden im Rahmen des Teilprojektes II auf der Basis langjähriger sächsischer Messreihen detailliert untersucht. Die wichtigsten Ergebnisse und Schlussfolgerungen werden im vorliegenden Tagungsband aufgeführt.

### **Einführung in die Problematik**

Es zeigte sich, dass einerseits zwar infolge umfangreicher nationaler und internationaler Emissionsminderungsmaßnahmen die Immissionen und Depositionen oxidierter Schwefelverbindungen stark zurückgingen, andererseits die Belastung der Atmosphäre und der Waldökosysteme mit oxidierten und reduzierten Stickstoffverbindungen auf einem hohen Niveau anhält. Die schädigende Wirkung dieser Luftschadstoffe besteht zum einen in der Versauerung, zum anderen in der Eutrophierung von terrestrischen und Gewässerökosystemen. Dabei wurde zunächst den Luftschadstoffen Schwefeldioxid (Versauerung) und Stickoxiden (Versauerung, Eutrophierung, Ozonbildung) eine weit größere Beachtung geschenkt als Ammoniak (Versauerung, Eutrophierung). In Verbindung mit der sich abzeichnenden zunehmenden Bedeutung der Stickstoffbelastung der Ökosysteme in Europa konzentriert sich das wissenschaftliche Interesse inzwischen schwerpunktmäßig auf die Spezifik der Ammoniak-Belastung.

### **Grundlagen und Strategien der europäischen Luftreinhaltepolitik**

Zwanzig Jahre nach der Unterzeichnung der Konvention über weitreichende, grenzüberschreitende Luftschadstoffe

(Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, 13.11.1979 in Genf) wurde von der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) ein neues, wirkungsbezogenes Protokoll (30.11.1999 in Göteborg) auf den Weg gebracht – das Protokoll zur Verminderung von **Versauerung, Eutrophierung und des bodennahen Ozons** (Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone). Dieses Protokoll ist das erste seiner Art, das gleichzeitig mehrere Schadstoffkomponenten und deren unterschiedliche Wirkungsbezüge behandelt. Daher wird es auch als Multi-Schadstoff/Multi-Effekt-Protokoll bezeichnet. Die Probleme der Versauerung, der Bodeneutrophierung und des Ozons sind eng miteinander verknüpft. Damit können auf der Grundlage integrierter Lösungsansätze mögliche Synergieeffekte mittels eines koordinierten, ausgewogenen, kosteneffizienten und auf verschiedene Ziele ausgerichteten Vorgehens berücksichtigt werden.

Zur Einleitung praktischer Schritte in der EU wurde gleichzeitig eine Richtlinie über nationale Emissionshöchstgrenzen für die Luftschadstoffe SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> und VOC (NEG-Richtlinie) vorgelegt.

Für die EU sollen die nationalen Emissionshöchstgrenzen gewährleisten, dass sich bis zum Jahr 2010 – im Vergleich zu den Werten von 1990 – die SO<sub>2</sub>-Emissionen um 78 %, die NO<sub>x</sub>-Emissionen um 55 %, die VOC-Emissionen um 60 % und die NH<sub>3</sub>-Emissionen um 21 % verringern (KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN, 1999).

In der Richtlinie über nationale Emissionsobergrenzen für bestimmte Luftschadstoffe (NEG-Richtlinie) werden Minderungsziele hinsichtlich der Überschreitungen der Critical Loads für Säure und eutrophierenden Stickstoff angegeben. Hierbei wird ein Ökosystem, in dem die atmosphärischen Stoffeinträge die Critical Loads überschreiten, als „ungeschützt“ bezeichnet. Unter Critical Loads versteht man das Ausmaß von Stoffeinträgen, die ein Ökosystem ohne irreversible Schäden hinnehmen kann.

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

**TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN**

Für 1990 belief sich der Anteil ungeschützter Ökosysteme in Deutschland hinsichtlich

- der Versauerung auf 80 % und
- der Eutrophierung auf 99 %.

Nach der Einhaltung der nationalen Emissionshöchstgrenzen (NEG) würden die kritischen Belastungsgrenzen in Deutschland im Jahr 2010 gegenüber 1990 auf 7,1 % der Rezeptorflächen für die Versauerung und auf immer noch 73 % der Rezeptorflächen für Stickstoff überschritten werden.

## Critical Loads-Überschreitungen für Säure und Stickstoff in Sachsen

Die flächendeckende Darstellung der Überschreitungen von Critical Loads für Sachsen ermöglicht es, Prioritäten zu setzen, welche Minderungsmaßnahmen regional am dringlichsten anzusetzen sind. Sie informiert darüber hinaus über die aktuell bestehende Distanz zu dauerhaft umweltgerechten Luftqualitätswerten (distance to target). Für die Basisjahre 1989, 1993, 1995 und 1997 wurde von der ÖKO-DATA GmbH im Auftrag des Projektes OMKAS eine Massenbilanzberechnung für Säure und eutrophierenden Stickstoff, bezogen auf Wald- und waldfreie naturnahe Ökosysteme (natürliches Grünland, Heiden, Sümpfe und Torfmoore) vorgenommen. Die so ermittelten kritischen Belastungsgrenzen zeigen im Vergleich mit den aktuellen Einträgen die Höhe der Grenzwertüberschreitungen.

### Überschreitungen von Critical Loads für Säureeinträge

Die regionale Verteilung der Überschreitungen der kritischen Belastungsgrenzen durch die Säuredeposition aus der Luft für das Jahr 1997 auf Waldstandorten und naturnahen waldfreien Ökosystemen ist aus der Karte 1 ersichtlich. Trotz drastisch verringerter Schadstoffeinträge ist auch 1997 auf allen Rezeptorflächen eine Überschreitung der ökologischen Belastungsgrenzen festzustellen. Hohe Grenzwertüberschreitungen ergeben sich für 1997 schwerpunktmäßig vor allem in folgenden Regionen: Erzgebirge, Erzgebirgsvorland, Leipziger Tiefebene, südliche Dübener Altmoräne, sächsisches Lößhügelland und Oberlausitz.

### Tendenzielle Entwicklung der Überschreitungen für Säure

Die Verteilung der Rezeptorflächen Sachsens in 7 Klassen der Überschreitungen der Belastungsgrenzwerte (Tabelle 1) hat sich von 1989 bis 1997 wie folgt (Abbildung 1) entwickelt:

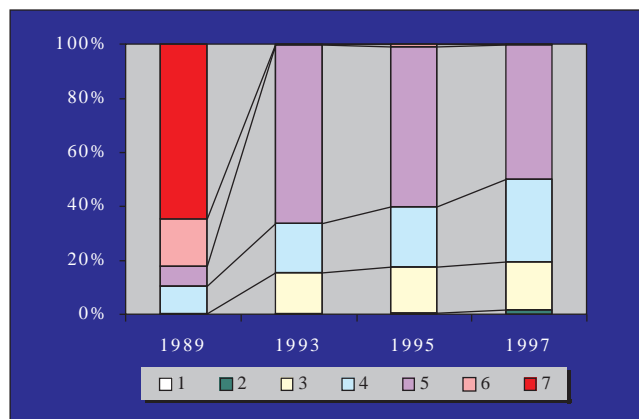


Abb. 1: Zeitliche Entwicklung der Flächenanteile in den Überschreitungsklassen bei Säureeinträgen

Tab. 1: Klasseneinteilung der Critical Loads-Überschreitungen für Säure und eutrophierenden Stickstoff

Klasse	Klassen der Überschreitung der Critical Loads	
	Säure [eq ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	eutrophierender Stickstoff [kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]
1	≤ 0	≤ 0
2	> 0 bis ≤ 000	> 0 bis ≤ 4
3	> 2000 bis ≤ 4000	> 4 bis ≤ 8
4	> 4000 bis ≤ 6000	> 8 bis ≤ 12
5	> 6000 bis ≤ 8000	> 12 bis ≤ 16
6	> 8000 bis ≤ 10000	> 16 bis ≤ 20
7	> 10000	> 20

Im Jahr 1989 war auf mehr als 70% der gesamten Rezeptorfläche Sachsens der Belastungsgrenzwert mit mehr als dem 10fachen des Critical Loads überschritten. Sogar auf den noch am wenigsten belasteten Flächen betragen die Überschreitungen etwa das 8fache des Grenzwertes. In den unteren Klassen 1 und 2 waren keine Flächenanteile vorhanden. Nur 0,1% der Rezeptorflächen konnten der Klasse 3 zugeordnet werden.

Aufgrund des drastischen Rückgangs der atmosphärischen Schadstoffbelastung konnte bis zum Jahr 1993 im Durchschnitt auf allen Flächen die Grenzwertüberschreitung um 2 Belastungsstufen gemindert werden. Die regionale Verteilung blieb im wesentlichen gleich. Insgesamt waren ab 1993 keine Flächen mehr in der Klasse der höchsten Überschreitungen (Klasse 7). 15,5% der Flächen verteilen sich nunmehr auf die Klassen 2 und 3.

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

## TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN

Bis 1995 gab es nur geringfügige Überschreitungssenkungen gegenüber 1993. Auf weniger als 50 % der Rezeptorflächen Sachsens wurde 1995 der Grenzwert noch um das 5fache überschritten.

Für 1997 sind gegenüber 1995 weitere Verbesserungen der Belastungssituation nachweisbar. Etwa 10% der Flächen, die 1995 in die Klassen 5 bzw. 6 eingestuft waren, konnten dabei im Jahr 1997 Klassen mit geringerer Überschreitung zugeordnet werden.

Besorgniserregend bleibt, dass trotz des anhaltenden Rückganges der Schadstoffeinträge noch keine Flächen ausgewiesen werden können, die nicht überbelastet waren.

Das *Minderungsziel für Sachsen* bis zum Jahr 2010 besteht darin, die Fläche ungeschützter Ökosysteme gegenüber Säureeinträgen von 100% auf 5% zu verringern.

### Überschreitungen von Critical Loads für Stickstoffeinträge

Infolge anthropogener Stickstoffemissionen aus den Bereichen Verkehr, Industrie und Landwirtschaft wurden die natürlichen Stickstoffkreisläufe bedeutend gestört. Der einstmalige Mangelnährstoff ist heute im Überfluss vorhanden. Übermäßige Stickstoffeinträge in Waldökosysteme führen zur Destabilisierung des Systems.

Entsprechend dem „Updating and Revision of the Air Quality Guidelines for Europe“ (1995) der WHO wurde hinsichtlich der Stickstoffbelastung als kritischer Wert für Ökosysteme ein Wert in Höhe von 15-20 kg N ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> und für die empfindlichsten Ökosysteme ein Wert in Höhe von 5-10 kg N ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> vorgeschlagen. Diese Werte sollten als Orientierungswerte für großräumige staatliche Luftreinhaltestrategien dienen.

In Sachsen betrug auf 80 % der Gesamt-Rezeptorfläche im Jahr 1997 die Gesamtd deposition von Stickstoffverbindungen 14 bis 30 kg N pro Hektar (ÖKO-DATA GMBH, 1999). Das sind Einträge, die die Wälder langfristig nicht verkraften.

In den höheren Lagen des Erzgebirges dürfte diese tatsächliche Belastungssituation noch weit unterschätzt sein. Die Berechnung der Gesamtd deposition erfolgt auf der Basis der trockenen und nassen Deposition. Die feuchte Deposition (durch Nebelniederschläge), die in den Höhenlagen des Erzgebirges die gleiche Höhe wie die nasse Deposition annehmen kann, wurde in die hier zugrundeliegende Kalkulation nicht integriert (ZIMMERMANN L. et al., 1999).

Die regionale Verteilung der Überschreitungen der ermittelten Belastungsgrenzen durch die atmosphärischen Stickstoffdepositionen für Sachsen im Jahr 1997 ist aus der Karte 2 ersichtlich. Auf 97,7% der Rezeptorflächen Sachsens werden die Belastungsgrenzen von Stickstoffverbindungen im Jahr 1997 immer noch überschritten.

Zu besonders hohen Überschreitungen, bis über 20 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, kam es schwerpunktmäßig im mittleren und östlichen Erzgebirge. Hier sind die Critical Loads aufgrund der niedrigen Temperaturen und geringen Bodenfruchtbarkeit sehr niedrig. Die sehr hohen Stickstoffdepositionen führen dann zu den gravierenden Überschreitungen. Hohe Überschreitungen von 12–20 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> konnten im Erzgebirgsvorland, im Westlausitzer Hügelland und in der Oberlausitz festgestellt werden. Hier liegen die Ursachen allerdings nicht bei den niedrigen Critical Loads, sondern in örtlich hohen Stickstoffdepositionen.

### Tendenzielle Entwicklung der Überschreitungen für Stickstoff

Abbildung 2 zeigt die zeitliche Entwicklung der Flächenanteile für die 7 Überschreitungsklassen bei eutrophierenden Stickstoffeinträgen für die Jahre 1989, 1993, 1995 und 1997. Etwa 95% (entspricht den Klassen 5 bis 7) der Wald- und naturnahen Flächen waren 1989 extrem überbelastet. Bereits 1993, nach dem Wegfall einer Vielzahl von bedeutenden Emittenten der Industrie und der Landwirtschaft, wurden die Überbelastungen der Rezeptorflächen um durchschnittlich eine Stufe (entspricht ca. 4 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) gesenkt. Trotzdem kamen punktuell immer noch sehr hohe Überbelastungen in den folgenden Regionen vor: Niederlausitz, Mittel- und

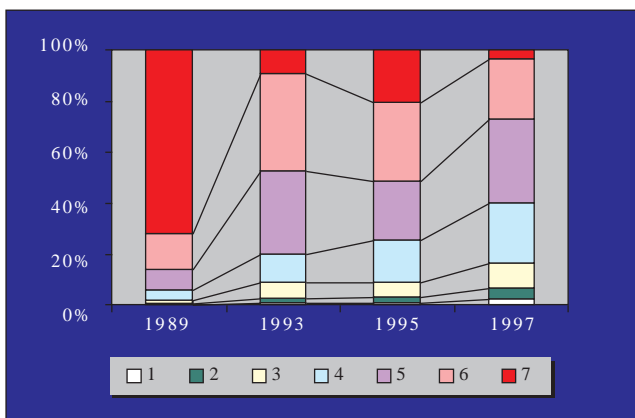


Abb. 2: Zeitliche Entwicklung der Flächenanteile in den Überschreitungsklassen bei eutrophierenden Stickstoffeinträgen



Osterzgebirge und Zittauer Gebirge. 1995 ergab sich in der Gesamtheit der Flächen kein Fortschritt bei der Reduzierung der Überbelastungen gegenüber 1993. Einige Regionen – das Mittel- und Osterzgebirge, das Erzgebirgsvorland und teilweise das Westerzgebirge – wiesen wieder stärkere Überschreitungen auf als 1993.

Für das Jahr 1997 kann wieder eine leichte Verbesserung der Belastungssituation gegenüber 1995 festgestellt werden. Dabei wurde das Belastungsniveau von 1993 erreicht bzw. geringfügig verbessert. Nur noch 3,5% der Rezeptorflächen weisen Überschreitungen von größer als  $20 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  auf. Das *Minderungsziel für Sachsen* bis zum Jahr 2010 besteht darin, die Fläche ungeschützter Ökosysteme gegenüber N-Einträgen von 99% auf 70% zu verringern.

### Zeitliche Variabilität niederschlagschemischer Kenngrößen in den Sommerhalbjahren

Für die sächsischen Depositionsmessstellen liegen inzwischen Ergebnisse über 7 bis 11 Jahre vor, auf deren Basis eine zusammenfassende Bewertung der Grundtendenzen der Zusammensetzung des Niederschlagswassers erfolgte. Nachfolgend werden die aktuellen Resultate (in den Klammern exemplarisch für die Station Radebeul-Wahnsdorf) für die Sommerhalbjahre 1990 –1999 zusammengefasst.

- Die Ionenkonzentrationen im Niederschlagswasser haben sich zwischen 1990 und 1999 drastisch verändert. Die Gesamtbelastung des Niederschlagswassers ist erheblich zurückgegangen, was sich in einer Abnahme der Leitfähigkeit widerspiegelt (um 64 % zwischen 1990 und 1999).

- Die  $\text{Ca}^{2+}$ - und  $\text{Mg}^{2+}$ -Konzentrationen (Rückgang um 85 bzw. 84 %) weisen die stärksten Veränderungen auf. Es folgen  $\text{SO}_4^{2-}$  und  $\text{Cl}^-$  (um 78 bzw. 76 % zwischen 1990 und 1999).
- Eine temporäre Zunahme der Niederschlagsazidität Anfang der 90er Jahre war vor allem auf überproportionale Rückgänge der basischen Kationen (Kalzium, Magnesium, Kalium) gegenüber den Sulfatkonzentrationen zurückzuführen. Etwa ab Mitte der 90er Jahre nahm die Niederschlagsazidität wieder ab.
- Der deutlichste Rückgang der Niederschlagsazidität erfolgte dabei im Erzgebirgsraum. Hier liegen die Protonenkonzentrationen inzwischen sogar erheblich unter den Ausgangswerten der Sommerhalbjahresmittelwerte von 1990.
- Für den Gesamtzeitraum können zwischen 1989 und 1999 keine signifikanten Änderungen der Nitrat- und Ammonium-Konzentrationen im Niederschlagswasser konstatiert werden. Ein an den Messstellen zu beobachtender vorübergehender Rückgang der  $\text{NH}_4^+$ -Konzentrationen nach der Wende dürfte auf die erhebliche Reduzierung der Tierbestände in der sächsischen Landwirtschaft zurückzuführen sein.
- Versauerungs- und Eutrophierungsprozesse in Sachsen werden in wachsendem Maße von den Stickstoffkomponenten  $\text{NH}_4^+$  und  $\text{NO}_3^-$  bestimmt, da sich deren prozentualen Anteile innerhalb des vergangenen Jahrzehnts von etwa einem Drittel auf etwa die Hälfte erhöhten.

Die Abbildungen 3a und 3b zeigen, dass sich zwischen 1990 und 1999 die Anteile von  $\text{SO}_4^{2-}$  von 37 auf 24 % und die Anteile von  $\text{Ca}^{2+}$  von 14 auf 6 % verringert haben. Andererseits sind die Anteile der Stickstoffkomponenten von

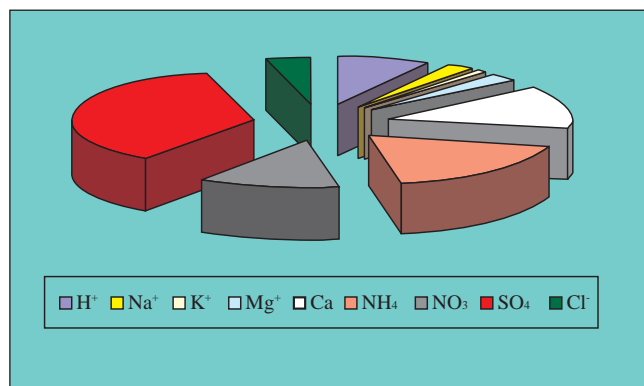


Abb. 3a: Prozentuale Anteile der Ionenkonzentrationen im Niederschlagswasser im Sommerhalbjahren 1990 an der Station Radebeul-Wahnsdorf

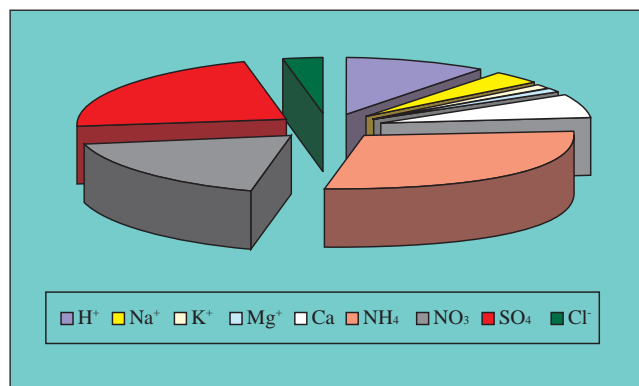


Abb. 3b: Prozentuale Anteile der Ionenkonzentrationen im Niederschlagswasser im Sommerhalbjahr 1999 an der Station Radebeul-Wahnsdorf

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

## TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN

31 auf 50 % ( $\text{NH}_4^+$  bzw.  $\text{NO}_3^-$  von 19 auf 31 % bzw. 12 auf 19 %) angestiegen.

### Anstieg des troposphärischen Ozons

#### Europäische Strategien zur Verminderung der Ozonbelastung

Neben der NEG-Richtlinie hat die Kommission der Europäischen Gemeinschaften auch den Entwurf einer *Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über den Ozongehalt in der Luft* vorgelegt (KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN, 1999). Dieser Vorschlag führt unter anderem Zielwerte für Ozonkonzentrationen ein, die innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne erreicht werden sollen.

Die Schwellenwerte der weiterhin gültigen Richtlinie 92/72/EWG für den Schutz der Gesundheit und der Vegetation werden derzeit, trotz bereits ergriffener Maßnahmen, in allen EU-Mitgliedstaaten deutlich überschritten. Der neue Vorschlag zielt insofern darauf ab, bis zum Jahr 2010 erreichbare konkrete Zwischenziele festzulegen und das Potenzial verschiedener Maßnahmen zur Reduzierung der Emission von Ozon-Vorläuferstoffen auf nationaler und lokaler Ebene zu bewerten.

Da das Ausmaß der Ozonbelastung innerhalb der Gemeinschaft sehr verschieden ist, sind die Anforderungen in bezug auf die Emissionsminderungen in den einzelnen Mitgliedstaaten differenziert. Zwischenziele für Ozon wurden jeweils als Kriterien für die menschliche Gesundheit und als Kriterien für die Pflanzen vorgeschlagen (Tabelle 2).

Tab.2: Zielwerte für Ozon

Schutz	Parameter	Zielwert
Menschliche Gesundheit	höchster gleitender 8-Stunden-Mittelwert eines Tages	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ darf nicht häufiger als an 20 Tagen pro Kalenderjahr überschritten werden (Mittelwertbildung über 3 Jahre)
Pflanzen	AOT 40-Wert, berechnet aus 1-Stunden-Werten von Mai bis Juli	17 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3*\text{h}$ (Mittelwertbildung über 5 Jahre)

Die Daten im Jahr 2010 und der folgenden 3 bzw. 5 Jahre werden erstmalig zur Beurteilung der Einhaltung dieser Zwischenziele für Ozon herangezogen.

#### Vergleich mit aktuellen Auswertungen

Eine erste Bewertung der Ozonbelastung an ausgewählten Stationen im Schwarzen Dreieck für das Jahr 1999 wurde auf der Basis der in der Ozon-Tochterrichtlinie vorgeschlagenen Kriterien durchgeführt.

An zahlreichen Messstellen in Sachsen wurde 1999 der Zielwert für die menschliche Gesundheit nicht eingehalten. An der Referenzstation Radebeul-Wahnsdorf wurde der kritische Wert an 26 Tagen, an Erzgebirgsstationen sogar an 35 bis 58 Tagen überschritten. Auch an vielen tschechischen Stationen konnte im Jahr 1999 der Zielwert nicht eingehalten werden. Am häufigsten wurde der kritische Wert an den Stationen Přebuz, Souš und Albrechtice mit 26 bis 35 Tagen überschritten.

In Abbildung 4 sind die AOT 40-Werte der Ozonkonzentrationen entsprechend den Kriterien des Zielwertes zum Schutz der Pflanzen für ausgewählte Stationen dargestellt. Diese Abbildung zeigt, dass vor allem in Mittelgebirgsregionen zum Teil erhebliche Überschreitungen des Zielwertes zu konstatieren sind.

In Tabelle 3 sind die AOT 40-Werte der Ozonkonzentrationen für die in Abbildung 4 dargestellten Stationen aufgelistet.

Die höchsten Überschreitungen im Schwarzen Dreieck konnten an den Stationen Rudolice/Tschechien (27 130  $\mu\text{g}/\text{m}^3*\text{h}$ ), Fichtelberg/Sachsen (25 386  $\mu\text{g}/\text{m}^3*\text{h}$ ) und Zinnwald/Sachsen (23 102  $\mu\text{g}/\text{m}^3*\text{h}$ ) festgestellt werden.

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

**TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN**

Tab. 3: AOT 40-Werte der Ozonkonzentrationen in  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$  (Mai bis Juli 1999) im Schwarzen Dreieck

Annaberg	6579	Aue	6945	Auerbach	9359
Carlsfeld	21152	Chemnitz-Mitte	11740	Chemnitz-Nord	4795
Dresden-Mitte	11271	Dresden-Nord	4291	Fichtelberg	25386
Freiberg	8303	Glauchau	13054	Görlitz	9984
Klingenthal	17455	Mittelndorf	13952	Olbernhau	9793
Pirna	12360	Radebeul-Wahndsdorf	15063	Schwartenberg	18512
Zinnwald	23102	Zittau-Ost	14183		
Albrechtice	19294	Most	19831	Přebuz	20914
Rudolice	27130	Sněžnik	7479	Sokolov	8957
Souš	19567	Tušimice	13639	Usti-Kočkov	17961
Usti-Město	10132			Sokolec	11020
Czarna Góra	16376	Jeleniów	7497	Sniezne Kotly	16376

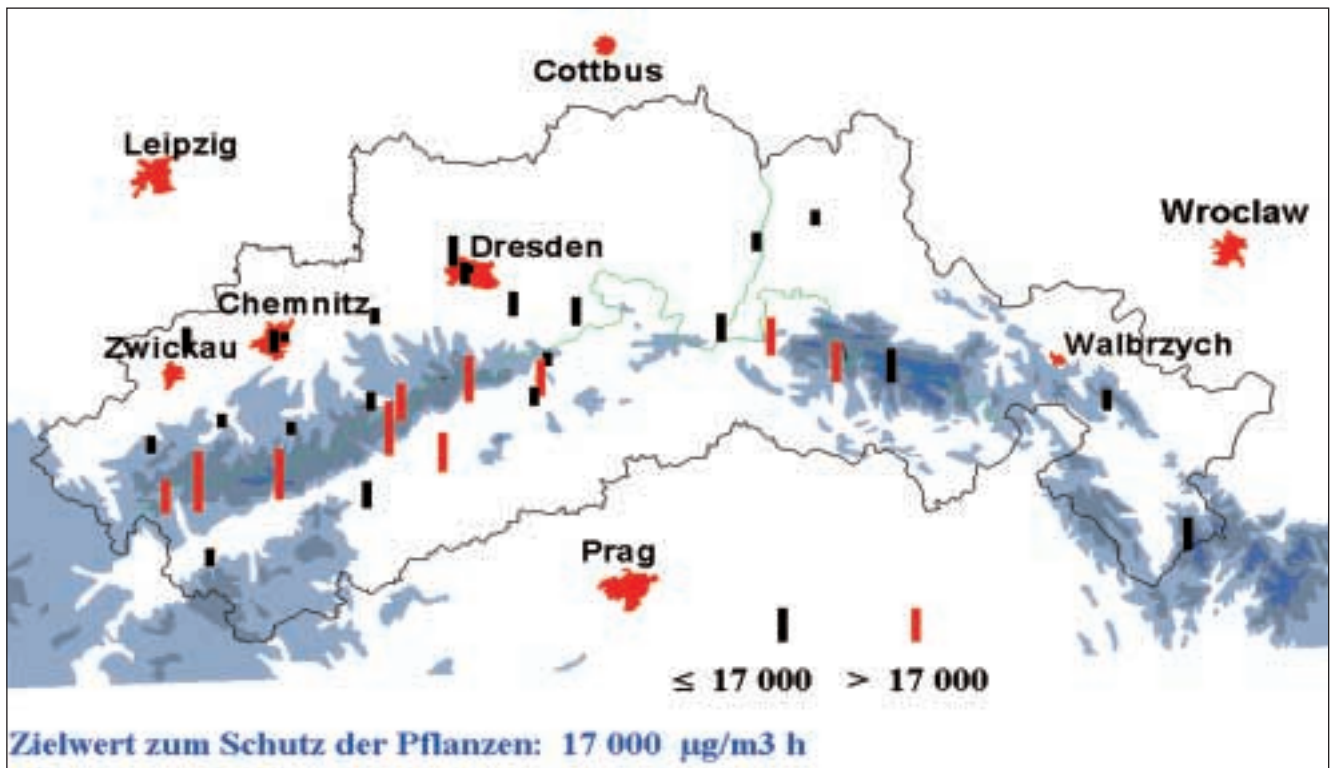


Abb. 4: AOT 40-Werte der Ozonkonzentrationen (Mai bis Juli 1999) an ausgewählten Stationen im Schwarzen Dreieck

## Drastischer Rückgang der Schwefeldioxidkonzentration in der Atmosphäre

Die nordböhmisches Großemittenten in Pruneřov, Tuřimice und Pořerady befinden sich im grenznahen Bereich und spielten bis zur Umsetzung der letzten bedeutsamen Sanierungs- bzw. Stilllegungsmaßnahmen für die Immissionssituation im Südraum des FS Sachsen eine wesentliche Rolle. Inzwischen hat sich die lufthygienische Situation in dieser bislang stark belasteten sächsischen Region erheblich verbessert.

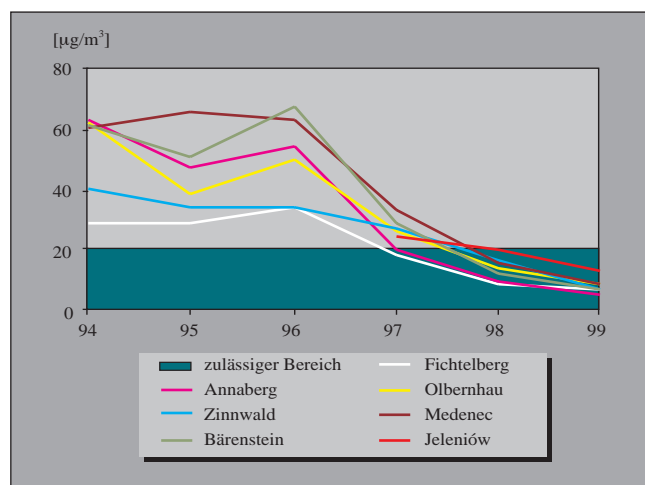


Abb. 5: Entwicklung der SO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte an ausgewählten Stationen im Zeitraum 1994-1999

In der Abbildung 5 wird die Entwicklung der Jahresmittelwerte der SO<sub>2</sub>-Konzentration an den Stationen Medenec, Bärenstein, Annaberg, Olbernhau, Zinnwald, Fichtelberg und Jeleniów im Zeitraum 1994 - 1999 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die chronische Belastung an den bis Mitte der achtziger Jahre hochbelasteten Erzgebirgsmessstellen 1999 weiter zurückgegangen ist. Die kritischen Belastungswerte (Jahresmittelwerte) gegenüber den Rezeptoren "Waldökosysteme und natürliche Vegetation" von 20 µg/m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> und für den Rezeptor "Landwirtschaftliche Nutzpflanzen" von 30 µg/m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> werden an allen Messstellen eingehalten.

Einzelne Episoden mit erhöhten SO<sub>2</sub>-Belastungen sind in den Hochlagen des Erzgebirges bei ungünstigen meteorologischen Verhältnissen (Hochdruck, Inversionslage) jedoch nach wie vor möglich. So wurde am 11. Februar 1999 an der Station Fichtelberg ein Halbstundenwert von 2440 µg/m<sup>3</sup> und ein Dreistundenmittel von 770 µg/m<sup>3</sup> gemessen. Solche kurzzeitigen Spitzen werden durch die Rauchfahnen der Kraftwerke im nordböhmisches Becken verursacht (SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, 1999).

## Zusammenfassung

Aufgrund der umfangreichen Sanierungsmaßnahmen der Großemittenten konnte die SO<sub>2</sub>-Belastung der Atmosphäre im Schwarzen Dreieck drastisch gesenkt werden. Die kritischen Belastungswerte für SO<sub>2</sub> gegenüber den Rezeptoren „Waldökosysteme und natürliche Vegetation“ und „Landwirtschaftliche Nutzpflanzen“ werden nicht überschritten.

Ein bedeutendes regionales Umweltproblem stellt die weitere Zunahme des troposphärischen Ozons dar. An zahlreichen Messstellen im Schwarzen Dreieck werden die Zielwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit und zum Schutz der Pflanzen erheblich überschritten.

Besorgniserregend ist immer noch die Belastung der Ökosysteme durch zu hohe atmosphärische Säure- und Stickstoffeinträge. Aufgrund der sich tendenziell nur unwesentlich verändernden Überschreitungen der Critical Loads durch Stickstoffeinträge besteht für die Ökosysteme die akute Gefahr einer anhaltenden Eutrophierung und Versauerung. Aus der prozentualen Zunahme der relativen Anteile von Stickstoffverbindungen im Niederschlagswasser resultierende Nährstoffungleichgewichte stellen ein weiteres Gefahrenpotenzial für die Ökosysteme dar. Diese Sachverhalte implizieren die dringende Notwendigkeit und Priorität zu konzipierender Stickstoffminderungsmaßnahmen auf europäischer, deutscher und regionaler Ebene.

## Literatur:

- KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (1999): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über nationale Emissionshöchstgrenzen für bestimmte Luftschadstoffe. Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über den Ozongehalt in der Luft. Brüssel.
- ÖKO-DATA GMBH (1999): Erfassung und Kartierung von Ökologischen Belastungsgrenzen – Critical Loads – für den Freistaat Sachsen. Abschlußbericht.
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1999): Halbjahresbericht zur SO<sub>2</sub>-Belastung in Sachsen - Winter 1998/1999. - Materialien zur Luftreinhaltung.
- WHO (1999): Air Quality Guidelines for Europe. 2<sup>nd</sup> edition. World Health Organisation, Regional Office for Europe, Kopenhagen.
- ZIMMERMANN L. et al. (1999): Abschlußbericht zum Forschungsthema „Quantifizierung der Nebeldeposition im Erzgebirge“. März 1999. Tharandt.

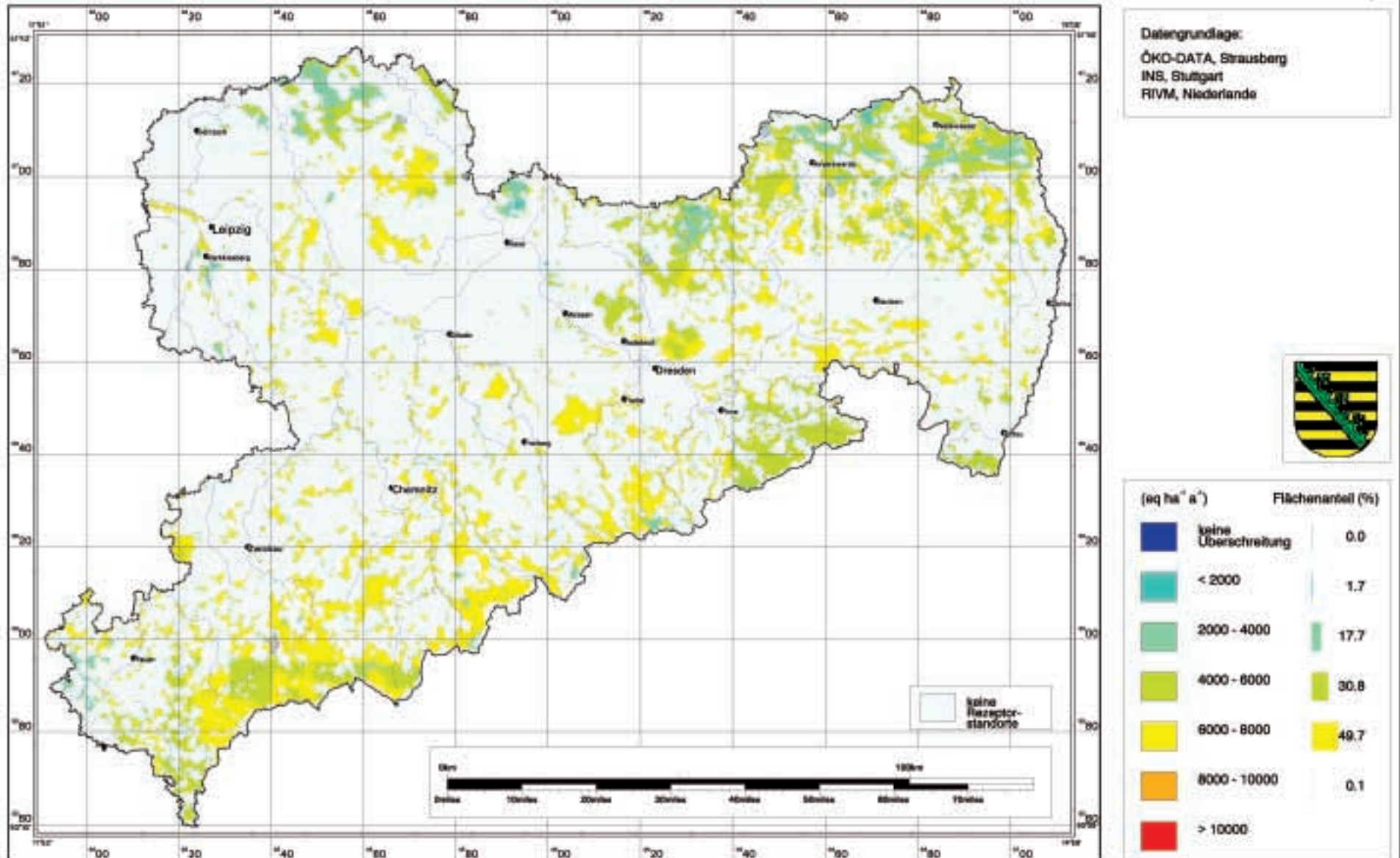
# Überschreitung der Critical Loads für Säureeinträge auf Waldstandorten und naturnahen waldfreien Ökosystemen durch die aktuelle Deposition, 1997

Projekt: ÖNKAS, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
WV 13-0345.4208.3

Karte 1  
Erfassung und Kartierung  
von ökologischen Belastungsgrenzen  
im Freistaat Sachsen



ÖKO-DATA, Gesellschaft für Ökosystemanalyse und Umweltbörnenmanagement mbH  
Am Annabell 43, 15344 Strausberg



Projektleitung: Dr. H.-D. Nagel

GIS-technische Bearbeitung: H. Eimer

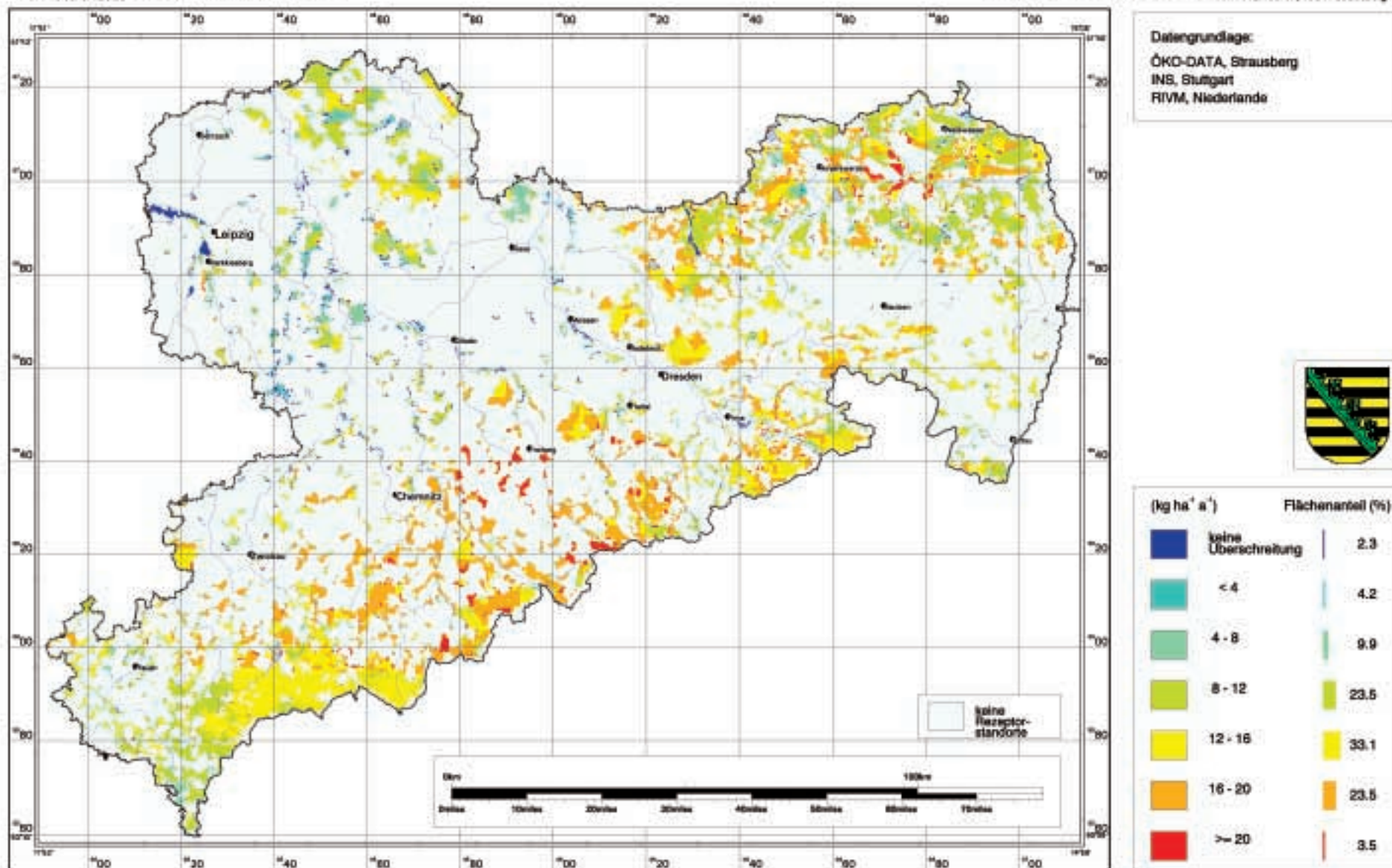
# Überschreitung der Critical Loads für eutrophierende Stickstoffeinträge auf Waldstandorten und naturnahen waldfreien Ökosystemen durch die aktuelle Deposition, 1997

Karte 2  
Erfassung und Kartierung  
von ökologischen Belastungsgrenzen  
im Freistaat Sachsen



Projekt: ONKAS, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
WV 13-03-45.4208.3

ÖKO-DATA, Gesellschaft für Ökosystemanalysen und Umweltdatenmanagement mbH  
Am Annabell 40, 15344 Strausberg



Projektleitung: Dr. H.-D. Nagel

GIS-technische Bearbeitung: H. Eilner

## Nationale und grenzüberschreitende Auswirkungen von Emissionen auf Niederschlagskomponenten in sächsischen Grenzregionen

Wolfgang Marquardt und Erika Brüggemann

Institut für Troposphärenforschung Leipzig, Permoserstr. 15, 04318 Leipzig

### Motivation

Schadstoffe im Niederschlag werden hauptsächlich von Emissionen aus den Gebieten erzeugt, welche die ausregnenden Luftmassen überquert haben. Somit ist eine direkte Ursache/-Wirkungsbeziehung auch grenzüberschreitend nachweisbar.

Das Emissionsmuster der früheren DDR (jetzt neue Bundesländer – nBL) bestand aus hohen  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  und Staubemissionen, resultierend aus veralteten Industrieanlagen, der fast ausschließlich verwendeten Braunkohle in Kraft- und Heizwerken ohne Entschwefelung und Entstaubung, großen Tierhalteanlagen und Überdüngung in der Landwirtschaft. Die mit der Vereinigung der beiden Teile Deutschlands 1990 abgelaufene Neustrukturierung der Industrie in den nBL war von einer drastischen Änderung der Emissionsstruktur begleitet. Diese Emissionsveränderung hatte neben der positiven Verringerung von Schadstoffen auch negative Auswirkungen. Die fast vollständige Entstaubung der Kraft- und Heizwerkabgase, aber die nicht im gleichen Maße durchgeführte Entschwefelung hat zu einer starken Zunahme der Azidität (Säure) in Niederschlägen aus den Industriezentren Sachsens und der Lausitz geführt. Abbildung 1 dokumentiert dies am Beispiel der Station Seehausen.

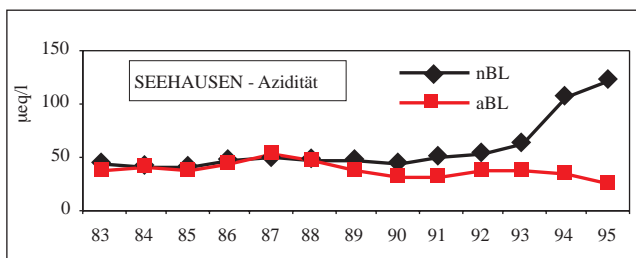


Abb. 1: Azidität im Niederschlag an der Station Seehausen für die Einzugssektoren (EzS) neue Bundesländer (nBL) und alte Bundesländer (aBL)

Die Azidität des Niederschlags aus dem Einzugssektor (EzS) nBL, die 1990/1991 im Mittel bei  $45 \mu\text{eq/l}$  ( $\text{pH}=4,34$ ) lag, verdreifachte sich bis 1995 auf  $121 \mu\text{eq/l}$  ( $\text{pH}=3,92$ ). Durch anhaltende Schadstoff- und daraus resultierende Säurebelastung der Atmosphäre kann es zur Versauerung der Ökosysteme und damit zu einer Gefährdung der Böden, Gewässer und Pflanzen kommen.

Die sächsische Grenzregion im Dreiländereck zu Polen und Tschechien (Schwarzes Dreieck) war besonders durch die Emissionen aus dem böhmischen Becken (Tschechien - CZ), aus dem schlesischen Industriegebiet (Polen - PL) und der mitteleuropäischen Industrieregion geprägt. Zur Entwicklung der Schadstoffbelastung und der Versauerung von Niederschlägen im Zuge der Sanierung, Modernisierung und Stilllegung von Braunkohlekraft- und Heizwerken in den oben genannten Regionen wurden von 1996 bis Ende 1999 Untersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse, einschließlich jener aus früheren Messungen (1983 bis 1989 – Messnetz der früheren DDR, 1991 bis 1995 – Projekt SANA) werden hier dargestellt.

### Methoden

Die Untersuchungsmethode basiert auf der Erfassung von Niederschlägen mit Sammelzeiten von  $\leq 4$  Stunden und der Rückverfolgung der Wegstrecke der vor Ort ausregnenden Luftmasse über 24 Stunden mittels Rückwärtstrajektorien der Ausgangshöhe 900 hPa (mittlere Höhe der Niederschlagswolken). Nach einem Verfahren von REIMER UND WEIß (1991) stehen für die Trajektorien dreidimensionale Daten in Stundenintervallen zur Verfügung. Die Niederschlagsprobenahme erfolgt automatisch mit sensorgesteuerten wet-only Sammlern. Im Niederschlag werden die Hauptkomponenten  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  und  $\text{Mg}^{2+}$  mittels Ionenchromatographie sowie der pH-Wert ( $\text{H}^+$ -Gehalt = Azidität) und die Leitfähigkeit untersucht. Außerdem werden meteorologische Parameter wie Niederschlagsmenge, -art und -andauer, Windrichtung und -geschwindigkeit, Vortrockenzeit, Nebel und Niederschlagstyp als modifizierende Parameter der Ionenkonzentration im Niederschlag bestimmt.

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

## TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN

Im Vordergrund der Untersuchungen standen die Probenahmeorte Carlsfeld/Westerzgebirge (seit 04/1993 ca. 2400 Proben) und Mittelndorf/Sebnitz (seit 11/1996 ca. 1000 Proben) sowie der langjährige Untersuchungsort Seehausen/Altmark (seit 10/1982 ca. 3300 Proben). Für Carlsfeld und Seehausen konnten die schon vorliegenden Untersuchungen (Carlsfeld seit 1993 aus dem Projekt SANA und Seehausen seit 1983 aus den Projekten der früheren DDR und SANA) mit einbezogen werden. Ab 01/1997 wurden die Niederschlagsanalysen der Station Seehausen von der Arbeitsgruppe Luftchemie der BTU Cottbus (Fakultät 4) durchgeführt. Eine detaillierte Beschreibung der Probensammlung, Lagerung, Transport, Analyse, Qualitätssicherungsmaßnahmen und Bestimmung der Rückwärtstrajektorien ist in BRÜGGEMANN UND ROLLE (1998) bzw. MARQUARDT ET AL. (1996) gegeben.

Ausgehend von den Probenahmeorten werden Einzugssektoren (EzS) der Niederschlagswolken gebildet, wobei Gebiete mit ähnlichen Emissionscharakteristika bzw. auch geographische Regionen zusammengefasst werden. Diese EzS wurden so gewählt, dass z.B. Industriezentren der neuen Bundesländer (nBL), von Polen, Tschechien und zu Vergleichszwecken auch Sektoren aus relativen Reinluftgebieten (alte Bundesländer – aBL) getrennt erfasst werden können (siehe Abbildung 2).

Entsprechend dem Untersuchungsziel des Projektes erfolgt die Datenanalyse schwerpunktmäßig für folgende Einzugssektoren:

- neue Bundesländer (nBL), ehemals DDR: EzS 51 (Carlsfeld), 61 (Mittelndorf) bzw. H (Seehausen)
- Nordböhmen (Tschechien – CZ): EzS 53 (Carlsfeld) bzw. 63 (Mittelndorf)
- Schlesien (Polen – PL): EzS 62 (Mittelndorf)
- alte Bundesländer (aBL) – Bayern, Baden-Württemberg: EzS 54 (Carlsfeld) bzw. 64 (Mittelndorf) und aBL-generell: I+J (Seehausen).

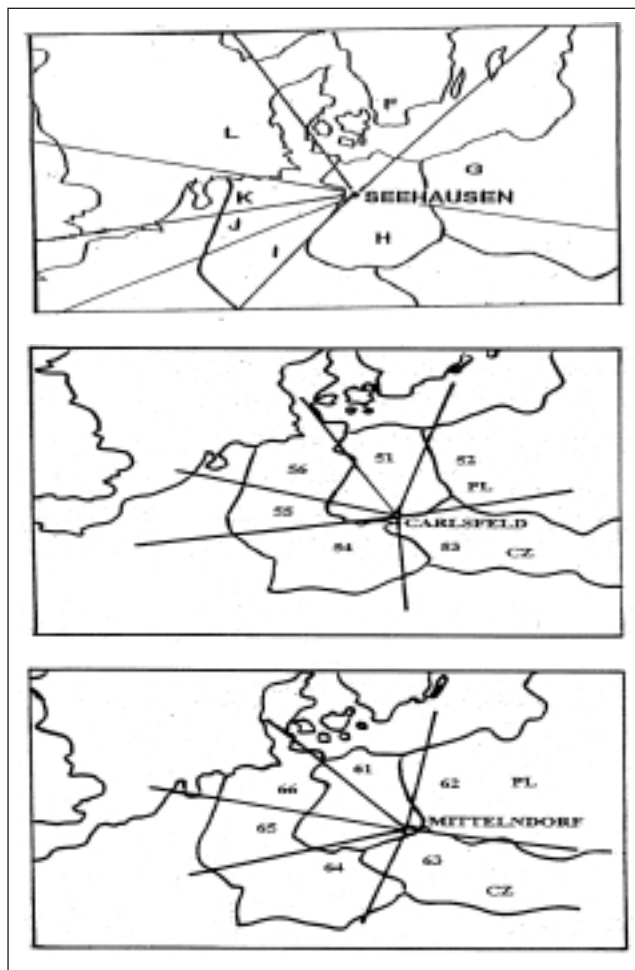


Abb. 2: Einzugssektoren des Niederschlags in Seehausen, Carlsfeld und Mittelndorf



## Ergebnisse und Diskussion

### Sektorelle Trends

Die sehr hohen SO<sub>2</sub>-Emissionen der früheren DDR (ca. 5-6 Mt bis 1989) führten nicht zu einer auch grenzüberschreitenden erhöhten Versauerung der Niederschläge (siehe Abbildung 1), da gleichzeitig große Mengen basisch wirkender Stäube (Flugaschen der Heiz- und Kraftwerke) emittiert wurden.

Die nach der Vereinigung begonnene und weitergeführte industrielle Umstellung verursachte Emissionsänderungen mit negativen Auswirkungen auf die Niederschlagsazidität. Die Untersuchungen des vom BMBF-geförderten Projektes SANA (Laufzeit von 1991 bis 1995, MARQUARDT ET AL. (1996)) zeigten, dass die einfachere und schneller realisierte Verminderung des Staubgehaltes in Ab- und Rauchgasen bei verzögert einsetzenden Entschwefelungsmaßnahmen (erst ab 06/1996 gesetzliche Pflicht) die Azidität im Niederschlag aus den Sektoren der nBL, Cz und PL drastisch erhöhte (siehe Abbildungen 1, 3 und 4). Wie haben sich der Schadstoffgehalt sowie die Azidität im Niederschlag bei differenzierten Emissionsminderungsmaßnahmen in den verschiedenen Regionen (nBL, Cz, PL, aBL) entwickelt?

Die Untersuchungen zeigen, dass

- der Calciumgehalt im Niederschlag bereits unmittelbar nach Beginn der ‚Industriereform‘ in den Gebieten der nBL, CZ und PL stark abnahm und schon 1994 auf etwa  $\frac{1}{4}$  der Konzentration der achtziger Jahre gefallen war. Seitdem schwanken diese um 40  $\mu\text{eq/l}$  in Seehausen, 12  $\mu\text{eq/l}$  in Carlsfeld bzw. 16  $\mu\text{eq/l}$  in Mitteldorf. Der Gehalt aus Polen (EzS 62) liegt bei 20  $\mu\text{eq/l}$  (siehe Abbildungen 3 und 4). Der Unterschied zwischen Seehausen und den Mittelgebirgsstationen wird durch meteorologische Faktoren wesentlich mitbestimmt (siehe Kapitel ‚Meteorologische Einflüsse‘).
- die Sulfatkonzentration zwar schon 1989 abnahm (Ausgang bei durchschnittlich 290  $\mu\text{eq/l}$ ), aber wesentlich moderater als die Calciumkonzentration. Sie halbierte sich etwa bis 1994 (ca. 140  $\mu\text{eq/l}$ ). Eine weitere Halbierung wurde erst 1999 auf ca. 75  $\mu\text{eq/l}$  erreicht. In Carlsfeld und Mitteldorf fielen die Konzentrationen für die EzS nBL auf knapp 60  $\mu\text{eq/l}$ . Für die EzS 53 bzw. 63

(CZ) erfolgte eine starke Sulfatabnahme gar erst nach 1997, allerdings innerhalb zweier Jahre gleich um 60 %. Die jetzigen Konzentrationen liegen bei ca. 50  $\mu\text{eq/l}$  und sind etwas niedriger als jene aus dem EzS nBL. Generell ist jedoch der Sulfatgehalt in Niederschlägen aus den EzS nBL, CZ und PL noch rund doppelt so hoch wie der aus den EzS aBL (54, 64, I+J), siehe Abbildungen 3, 4 und 5.

- der Nitratgehalt im Niederschlag aus den EzS nBL etwa doppelt so hoch ist wie in dem aus den EzS aBL. Trotz eingeleiteter Sanierungsmaßnahmen in den nBL divergieren die Konzentrationen leicht, wobei die Nitratwerte für die EzS nBL seit 1993 über denen aus Tschechien liegen (siehe Abbildungen 3, 4 und 5). Eine Aufschlüsselung auf die potentiellen Verursacher Verkehr, Heiz- und Kraftwerke sowie Sonstige ist nicht möglich.
- der Ammoniumgehalt im Niederschlag stärkeren Schwankungen unterliegt. Allgemein dominiert eine leicht fallende Tendenz. Markant ist ebenfalls, dass die Konzentrationen aus den EzS aBL generell höher sind als aus den EzS nBL, CZ und PL (siehe Abbildung 5).
- Die Niederschlagsazidität resultiert aus der Konzentrationsdifferenz der säure- und basenbildenden Einzelkomponenten. In den achtziger Jahren (nur Seehausen) lagen die Werte aus allen diskutierten EzS bei pH 4,34 (entspricht 45  $\mu\text{eq/l}$ ). Mit der Durchführung einer effektiven Abgasreinigung in den nBL in der ersten Hälfte der neunziger Jahre nahm die Versauerung stark zu, der pH-Wert 4 wurde auch im Mittel unterschritten (siehe Abbildung 5). In Carlsfeld übertraf die Azidität im Niederschlag aus den EzS 51 und 53 diejenige aus Bayern und Baden-Württemberg (EzS 54) 1994/1995 sogar um das Fünffache (siehe Abbildung 4). Bis Projektende 1999 nahm dann die Azidität deutlich ab und die Mittelwerte sind geringfügig niedriger als vor 1989/1990. Sie betragen jetzt knapp 40  $\mu\text{eq/l}$  aus den EzS nBL, rund 30  $\mu\text{eq/l}$  aus den EzS CZ und nur noch 10–20  $\mu\text{eq/l}$  aus den EzS aBL. Besonders auffällig war die Verminderung der Aziditätsgehalte um reichlich zwei Drittel innerhalb von nur zwei Jahren aus den EzS 53 bzw. 63. Durch Stilllegungs- und Entschwefelungsmaßnahmen gingen die Sulfatgehalte im Niederschlag aus CZ besonders stark, um ca. 60 %, zurück (siehe Abbildungen 3 und 4).

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

**TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN**

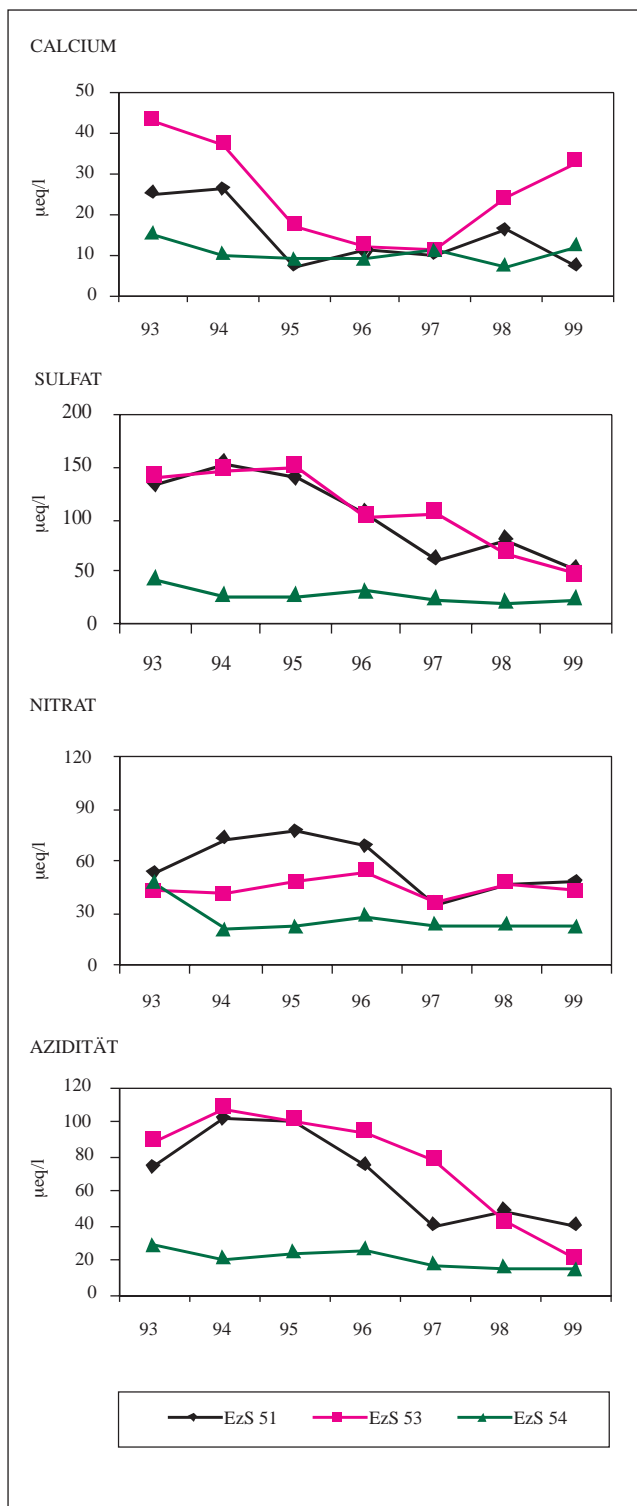
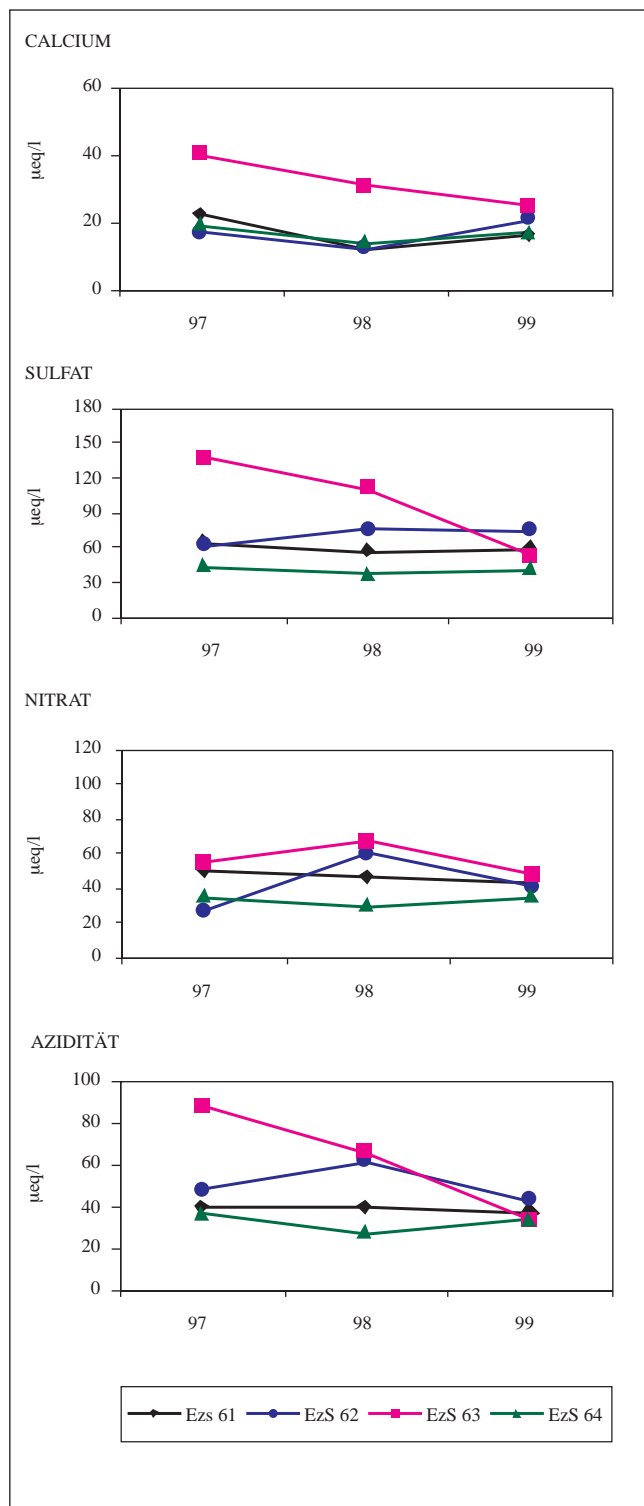


Abb. 3: Calcium-, Sulfat- und Nitratkonzentration sowie die Azidität im Niederschlag von Mittelndorf für die EzS 61 (nBL), 62 (PL), 63 (CZ) und 64 (aBL).

Abb. 4: Calcium-, Sulfat- und Nitratkonzentration sowie die Azidität von Carlsfeld für die EzS 51 (nBL), 53 (CZ) und 54 (aBL).

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN

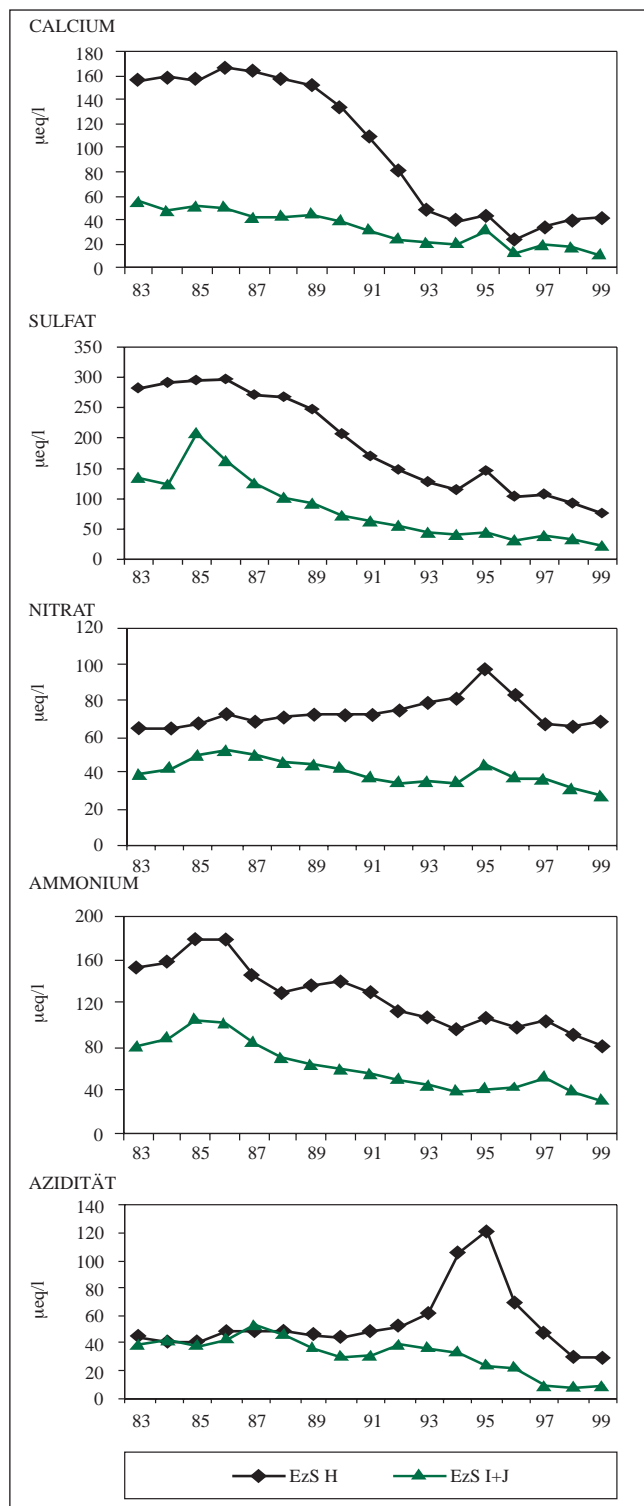


Abb. 5: Calcium-, Sulfat-, Nitrat- und Ammoniumkonzentration sowie die Azidität im Niederschlag von Seehausen für die EzS H (nBL) und I+J (aBL).

## Meteorologische Einflüsse

Der im vorigen Kapitel diskutierten Ursache-Wirkungsbeziehung für die Schadstoffbelastung des Niederschlags sind jedoch einige meteorologische Beeinflussungen überlagert, welche erheblich modifizierend wirken können. Im Folgenden sollen die wichtigsten Parameter mit ihrer Wirkung diskutiert werden. Für die Betrachtung von Einzelproben sollten diese nicht außer Acht gelassen werden, obwohl sich über längere Zeiträume inverse Effekte einiger Parameter wieder aufheben können.

Zu den Letzteren zählen die Länge der Trockenperiode vor Niederschlägen sowie deren Andauer. Während lange Vortrockenzeiten z.B. den Calcium- und Ammoniumgehalt mindestens verdoppeln können, bewirken Niederschlagszeiten > 12 Stunden eine Halbierung. Für Sulfat und Nitrat ergibt sich eine Schwankungsbreite von ungefähr  $\pm 50\%$  (MARQUARDT UND IHLE, 1988).

Wesentlich ist die Transportgeschwindigkeit im Wolkenlevel. Je langsamer eine Luftmasse ein Emissionsgebiet überquert, desto stärker kann sie mit dessen Emissionsprodukten kontaminiert werden. Geringe Geschwindigkeiten dominieren häufig aus östlichen und südlichen Richtungen. Nordböhmische (CZ) und polnische (PL) Emissionen können daher die Schadstoffe im Niederschlag in Sachsen deutlich beeinflussen, wohingegen Starkwinde aus Nordwest nötig sind, um an den gleichen Orten maritime Einflüsse nachzuweisen. Für sektorale Mittelwertangaben kann dies für die diskutierten EzS in erster Näherung vernachlässigt werden, jedoch nicht für die EzS 55,65,56 und 66.

Bei den Situationen ‚Nebel bei Niederschlag‘ an Mittelgebirgsstationen werden die Aziditätsgehalte um ca. 40 % und die Sulfat- sowie Nitratkonzentrationen um knapp 20 % erhöht, dagegen halbiert sich der Calciumgehalt. Ferner spielen heftige und wiederholte Vertikalbewegungen der Luft bei nur geringem Advektivtransport (in Mittelgebirgen) eine Rolle, deren reinigende Wirkung den Niederschlag stärker kontaminiert. Auch die unterschiedliche Aufnahme von Emissionsprodukten an bzw. in verschieden große Wolkentropfen kann die Quantität von Komponenten im Niederschlag beeinflussen. In Nieseltröpfchen kann der Aziditätsgehalt bis zu 50 % erhöht sein.

Es soll nochmals wiederholt werden, dass diese Aspekte für Konzentrationen in Einzelproben sehr wesentlich sein können, sie jedoch bei der Diskussion von Mittelwerten über ein Jahr und für nur eine konkrete Station geringere Bedeutung haben. Für die Betrachtung der Werte analoger Stationen,

aber verschiedener Probenahmeorte (z. B. Flachland- oder Bergstationen) können andere Eintrittswahrscheinlichkeiten beeinflussender Faktoren (z. B. Nebel) zu unterschiedlichen Mittelwerten führen, z. B. für den Calcium- und Aziditätsgehalt an den Mittelgebirgsorten Carlsfeld und Mittelndorf gegenüber dem Flachlandort Seehausen.

## Nasse Deposition

Die nasse Deposition ist das Produkt aus der Konzentration der Komponenten ( $\mu\text{eq/l}$ ) und der jeweiligen Niederschlagshöhe ( $\text{l/m}^2$ ). Die Angaben erfolgen für längere Zeiträume meist in  $\text{meq/m}^2$  bzw.  $\text{meq/ha}$ . Etwa 80 % der Niederschläge können eindeutig einem Einzugssektor zugeordnet werden und sind somit die Basis für die vorliegende Datenauswertung. Hinzu kommen z.B. noch Minderungen durch Geräteausfälle, zu geringe Niederschlagsmengen für die Analyse und Probenverluste. Daraus folgt, dass pro Jahr 60 bis 80 % aller Niederschläge bei der sektorellen Auswertung Berücksichtigung fanden. Für Berechnungen der Jahresdeposition muss daher noch ein zusätzlicher Faktor  $> 1$  (meist zwischen 1,2 und 1,7) eingefügt werden.

Die Niederschlagsmenge kann sowohl von Jahr zu Jahr als auch von EzS zu EzS erheblich schwanken. Im Untersuchungsgebiet fallen im allgemeinen aus den hochbelasteten EzS der nBL, CZ und PL wesentlich weniger Niederschläge (jeweils nur maximal  $\frac{1}{8}$  der Jahresniederschlagsmenge, siehe Abbildung 6).

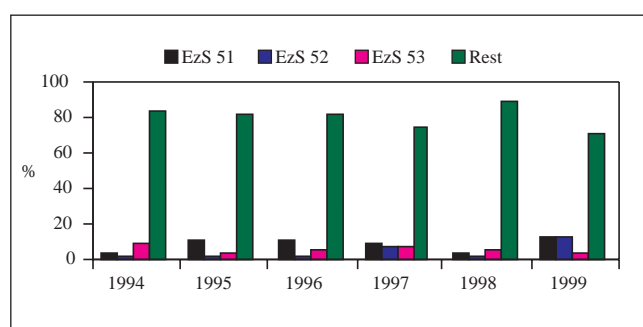


Abb. 6: Anteil der Niederschlagsmengen der EzS 51 (nBL), 52 (PL), 53 (CZ) und Rest (aBL) an der Gesamtniederschlagsmenge.

Selbst bei mehrfach höheren Ionengehalten aus diesen Gebieten übertrifft daher die Jahresdeposition in Seehausen und Carlsfeld aus den nBL bzw. CZ jene aus den aBL (EzS 54 und I-J) nur selten und auch nur bis 1996. Die Nassdeposition aus den EzS aBL, aus welchen ca. 25 bis 40 % des Jah-

resniederschlags fallen, überwiegt bei der Betrachtung längerer Zeiträume. Dieser Unterschied zwischen potentiellen Kurzzeit- und Langzeitbelastungen ist bei ökologischen Interpretationen zu berücksichtigen.

## Zusammenfassung

Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen Vergleiche und Tendenzen der Schadstoffe im Niederschlag aus den Einzugssektoren neue Bundesländer, Tschechien, Polen und alte Bundesländer. Die Neustrukturierung der Industrie führte infolge unterschiedlicher Reduzierungen der Schadstoffe zunächst zu einer markanten Versauerung der Niederschläge aus den EzS nBL, CZ und PL. Bis 1999 wurden die Differenzen der absoluten Ionengehalte zwischen den Einzugssektoren deutlich abgebaut, z.B. auf nur noch 25 bzw.  $6 \mu\text{eq/l}$  für die sektorellen Vergleiche nBL/aBL bzw. CZ/aBL der Azidität und auf 29 bzw.  $24 \mu\text{eq/l}$  für analoge Vergleiche der Sulfatgehalte. Dagegen sind die Ionenkonzentrationen im Niederschlag aus den nBL bzw. CZ immer noch doppelt so hoch wie jene aus den aBL, da gleichzeitig auch in den aBL Emissionsabnahmen wirksam wurden. Die Unterschiede zwischen den EzS nBL und CZ ergeben sich aus dem späteren Beginn (1998/1999) umfassender Sanierungsmaßnahmen in Tschechien.

## Literatur:

- BRÜGGEMANN E. und ROLLE W. (1998): Changes of some components of precipitation in East Germany after the unification. *Water, Air, and Soil Pollution* 107, 1-23.
- MARQUARDT W. und IHLE P. (1988): Acid and alkaline precipitation components in the mesoscale range under the aspects of meteorological factors and the emissions. *Atmospheric Environment* 22, 2707-2713.
- MARQUARDT W., BRÜGGEMANN E. und IHLE P. (1996): Trends in the composition of wet deposition, effects of the atmospheric rehabilitation in East Germany. *Tellus* 48B (3), 361-371.
- REIMER E. UND WEIß F. (1991): An operational meteorological diagnostic system for regional air pollution and long-term modelling. In: *Proceedings of 19<sup>th</sup> ITM on air pollution modelling and its applications*. Crete, **Vol. II**, 421-428.

## Danksagung

Die Autoren danken dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie für die Förderung und Unterstützung dieses Teilprojektes. Außerdem danken wir den Mitarbeitern der Stationen des DWD für die Hilfe bei der Sammlung, Lagerung und dem Versand der Niederschlagsproben.

## Szenarienrechnungen zur Immissionsbelastung mit SO<sub>2</sub>, Ozon und Feinstaub: Analyse und Prognose

Annette Münzenberg, Roland Göldner, Birgit Heinrich, Eberhard Renner, Wolfram Schröder, Detlef Theiss und Ralf Wolke  
Institut für Troposphärenforschung, Leipzig

### Einleitung

Das Gebiet des Schwarzen Dreiecks gehörte bis zur politischen Wende am Ende der achtziger Jahre zu einem der am höchsten schadstoffbelasteten Gebiete Europas. Zunächst spielte vor allem Schwefeldioxid für die Umweltbelastung eine wesentliche Rolle, aber auch das Schadgas Ozon gewann mehr und mehr an Bedeutung. Am Institut für Troposphärenforschung in Leipzig wurden im Rahmen des Teilprojektes Ia von OMKAS Modelluntersuchungen zur Luftqualität im Schwarzen Dreieck durchgeführt. Mit Hilfe eines gekoppelten Meteorologie-Chemietransportmodells wurde die lufthygienische Situation für die relevanten Schadstoffe nach verschiedenen Kriterien betrachtet. Die Untersuchungen dienten der Analyse und Prognose der Immissionsbelastung bei den entsprechenden anthropogenen Emissionsszenarien sowie der Aufklärung des Einflusses der beteiligten Emittentengruppen auf die Gesamtbelastung.

Staubpartikel mit Durchmessern von weniger als 10 µm (die sogenannte PM<sub>10</sub>-Fraktion) sind thoraxgänglich und stellen somit eine unmittelbare Belastung für die menschliche Gesundheit dar. Zum Abschluß des Projektes wurden noch einige Untersuchungen zu dieser Komponente ausgeführt.

### Das Modell, Modellspezifikationen und Eingangsdaten

Die Modellstudien erfolgten mit dem gekoppelten Modellsystem METRAS-MUSCAT. Mit METRAS (SCHLÜNZEN ET AL., 1996) wurden die meteorologischen Verhältnisse berechnet, MUSCAT (KNOTH UND WOLKE, 1998) diente zur Berechnung des Chemietransports. Berücksichtigt wurden außerdem Depositionsprozesse. Für die Berechnung der chemischen Umwandlungen kam der Chemiealgorithmus Euro-RADM von STOCKWELL UND KLEY (1994) zur Anwendung. Euro-RADM berücksichtigt 71 Stoffe und 192 chemische Reaktionen. Während zur Darstellung der komplexen Ozonchemie der vollständige Chemiealgorithmus notwendig war, wurde für das Schwefeldioxid lediglich eine Umwandlung in Sulfat berücksichtigt.

Das Gebiet des Schwarzen Dreiecks wurde für die Schwefeldioxid- und Staubuntersuchungen mit einer horizontalen Gitterweite von 2 km aufgelöst. Bei den Ozonsimulationen konnte wegen des erhöhten Speicherplatzbedarfs in der Regel nur eine horizontale Auflösung von 4 km verwendet werden. Das Modellgebiet umfaßte das Erzgebirge und angrenzende Gebiete und hatte eine horizontale Erstreckung von 120 x 104 km<sup>2</sup> (Schwefeldioxid-Untersuchungen) bzw. 196 x 148 km<sup>2</sup> (Ozon- und Feinstaub-Simulationen).

Die Vorgabe der meteorologischen Bedingungen konzentrierte sich auf charakteristische Verhältnisse, bei denen mit einer erhöhten Belastung des betrachteten Schadstoffes gerechnet werden konnte bzw. kann. Dies sind bei Schwefeldioxid winterliche stabile Wetterlagen, verbunden mit reduziertem Austausch durch das Vorhandensein von Inversionen, und mit Winden aus Ost und Südost. Solche Bedingungen wurden auch bei den Feinstaubuntersuchungen angenommen. Hohe Ozonwerte andererseits treten typischerweise bei sommerlichen Hochdrucklagen mit schwachen Winden und hohen Temperaturen auf. Im Modell wurden deshalb Temperaturen angenommen, die am Tage ca. 30° C erreichten, und Winde aus südlichen Richtungen mit einer Windstärke von etwa 3 ms<sup>-1</sup> in Bodennähe.

Die Untersuchungen der Immissionsbelastung erfolgten im Hinblick auf die gegebene Emissionssituation im Schwarzen Dreieck und deren zeitliche Änderung. Datenbasis war das Erhebungsjahr 1996. Für den sächsischen Teil des Gebietes stand ein dynamisiertes Emissionskataster zur Verfügung, bei dem sozioökonomische Daten mit spezifischen Eigenschaften der Emittenten (z.B. Energieträger) in Bezug gesetzt werden. Die Emissionsangaben für die tschechischen und polnischen Gebiete wurden durch die Kooperationspartner von der HTWS Zittau erhoben und bereitgestellt. Insgesamt lagen Emissionsdaten für SO<sub>2</sub>, Stickoxide, Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMVOC) und Staub vor. Berücksichtigt wurden die wichtigsten Emittentengruppen Industrie, Haushalte, Kleinverbraucher/verarbeitendes Gewerbe und Verkehr. Die Hochrechnung für Prognose-Szenarien erfolgte entweder mit spezifischen Angaben der Betreiber oder mit Entwicklungsfaktoren.

## Immissionsbelastung durch SO<sub>2</sub>

Im folgenden werden Untersuchungen zur Immissionsentwicklung und zum Einfluß von Emissionssenkungsmaßnahmen für den Schadstoff SO<sub>2</sub> dargestellt. Dabei werden drei Stichjahre, 1996 als „Vorsanierungszustand“, 1998 als „heutiger“ Zustand und 2005 als „Zukunftsszenario“ betrachtet. Die Entwicklung der zugehörigen Emissionssituation zeigt die Tabelle 1. Umfangreiche Sanierungsmaßnahmen hatten insbesondere bei den Großfeuerungsanlagen (z.B. Rauchgasentschwefelung), die den wesentlichen Teil der Punktquellen ausmachen, vor allem zwischen 1996 und 1998 eine deutliche Emissionssenkung zur Folge.

Tab. 1: SO<sub>2</sub>-Jahresemissionen (in t/a), nach Verursachergruppen, Summen über das Modellgebiet.

	<b>Punktquellen</b>	<b>Haushalte</b>	<b>Kleinverbraucher, verarbeitendes Gewerbe</b>	<b>Summe</b>
<b>1996</b>	529877	7693	14818	552388
<b>1998</b>	133688	6159	10982	150829
<b>2005</b>	55875	4682	8888	69445

In Abbildung 1 sind beispielhaft die Tagesmittel der bodennahen SO<sub>2</sub>-Konzentrationen bei einer Anströmung aus Ost für die drei betrachteten Jahre dargestellt. Im Jahr 1996 führten die Emissionen insbesondere der tschechischen Großfeuerungsanlagen zu hohen Belastungen in Nordböhmen, aber auch im sächsischen Erzgebirgsraum. Danach ist aber eine entscheidende Abnahme der Immissionsbelastung durch Schwefeldioxid zu erkennen. Besonders prägnant ist die bereits schon anhand von Tabelle 1 besprochene Änderung von 1996 nach 1998. Für das Jahr 2005 ist zu erwarten, daß auch die EU-Richtlinie 1999/30/EG zum Schutz der menschlichen Gesundheit, bei der ein Grenzwert (24-Stunden-Mittelwert) von 125 µgm<sup>-3</sup> nicht mehr als dreimal im

Kalenderjahr überschritten werden darf, im wesentlichen eingehalten werden kann. Vereinzelt kann es nach der jetzigen Prognose bei ungünstigen Wetterlagen eventuell noch zu Überschreitungen kommen, vor allem in Nordböhmen. Um hier die Immissionsbelastung noch weiter zu senken, sind weitere gezielte Sanierungsmaßnahmen bei allen beteiligten Verursachergruppen erforderlich.

Bezüglich des verursacherspezifischen Einflusses (Abbildung 2) kann gesagt werden, daß in der Vergangenheit die tschechischen Großfeuerungsanlagen den größten Teil der Immissionsbelastung lieferten. Verglichen hiermit waren die Konzentrationen, die durch Emissionen von Haushalten und Kleinverbrauchern erzeugt wurden, nahezu vernachlässigbar. In Regionen, die im wesentlichen nur durch diese beiden Emittentengruppen beeinflusst sind, kann es jedoch durchaus auch zu Belastungen von 120 µgm<sup>-3</sup> (Haushalte) bzw. 210 µgm<sup>-3</sup> (Kleinverbraucher) kommen. Durch die ergiebigen Emissionen aus Großfeuerungsanlagen kann eine nennenswerte Verfrachtung von SO<sub>2</sub> erfolgen, wovon auch der sächsische Raum betroffen sein kann. Der Transport über den Erzgebirgskamm findet nicht überall in gleichem Maße statt. Vielmehr gibt es zwei Haupttransportpfade, einen in das Schwartenberggebiet und einen bei Bärenstein. Der zweite dieser beiden Pfade ist in den Abbildungen 1 und 2 gut zu erkennen. Bei den Quellgruppen Hausbrand und Kleinverbraucher/verarb. Gewerbe wird vor allem die unmittelbare Umgebung belastet. Eine Verfrachtung in entferntere Gebiete erfolgt nicht, da der hierbei ohnehin geringere SO<sub>2</sub>-Konzentrationsanteil schon vorher stark verdünnt wird.

Im Laufe der Jahre haben durchgreifende Sanierungsmaßnahmen bei den Großfeuerungsanlagen vor allem in Tschechien das Problem erheblich entschärft. Hier sind die Emissionssenkungen am deutlichsten und effektivsten. Aber auch bei den beiden anderen Quellgruppen haben entscheidende Reduktionen stattgefunden. Insgesamt wird die Verbesserung der Luftqualität durch Messungen bestätigt.

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN



Abb. 1: Tagesmittel der bodennahen Gesamtbelastung durch  $\text{SO}_2$  (in  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) für die Jahre 1996, 1998 und 2005.

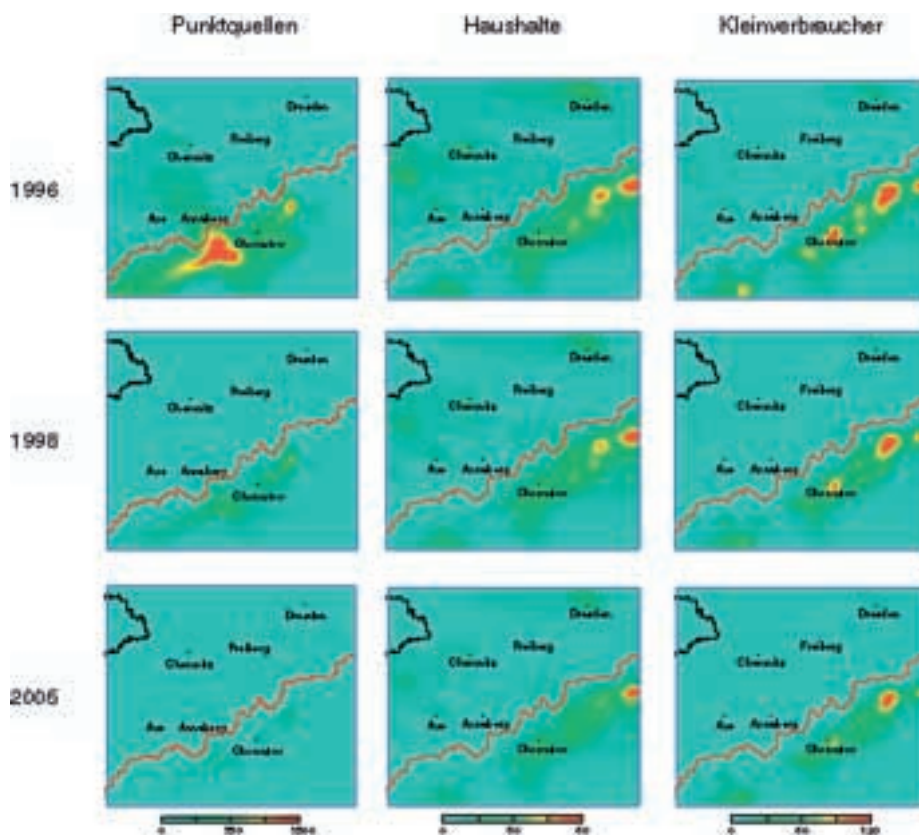


Abb. 2: Tagesmittelwerte der bodennahen  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen (in  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) nach Verursachergruppen, für die Bezugsjahre 1996, 1998 und 2005. Die Skalierung der Isoplethen ist unter der jeweiligen Spalte angegeben.

## Immissionsbelastung durch Ozon

Ozon rückte als umweltbelastende Spezies in den letzten Jahren immer weiter in den Mittelpunkt des Interesses. Es wird nicht direkt emittiert, sondern als sekundäres Schadgas aus den Vorläufersubstanzen Stickoxid und Kohlenwasserstoffen gebildet. Deshalb ist es wichtig, die Emissionen dieser Vorläufersubstanzen möglichst genau zu erfassen. Anthropogen werden sie vor allem durch Industrie und Kraftfahrzeugverkehr in die Atmosphäre eingetragen. Aber auch biogen werden ozonrelevante Mengen an Kohlenwasserstoffen (Isopren- und Terpenemissionen aus Wäldern) sowie NO (Düngung landwirtschaftlicher Nutzflächen) freigesetzt. Entscheidend für die Ozonbildung sind nicht nur die Mengen der emittierten Vorläufersubstanzen, sondern vor allem ihr mengenmäßiges Verhältnis zueinander. Die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge sind in Bezug auf die Ozonbildung sehr komplex. Mit Modellen können diese Zusammenhänge formuliert werden. Sie bilden damit ein wichtiges Hilfsmittel zur Untersuchung, Beurteilung und Prognose der lufthygienischen Situation.

Die Studien beinhalten die Emissionsszenarien der Jahre 1996 und 2005. Die Simulationen wurden für das Szenario „Gesamtbelastung“ sowie für die Emittentengruppen „Großfeuerungsanlagen“, „Lösungsmittel“ und „Verkehr“ durchgeführt. Da der Entwurf einer EU-Richtlinie über den Ozongehalt in der Luft (99/0068 (COD)) für das Jahr 2005 einen Grenzwert von  $120 \mu\text{g m}^{-3}$  als höchsten 8-Stunden-Mittelwert während eines Tages vorschreibt, wurden die Rechnungen mit einer großräumigen Vorbelastung durch Ozon von  $120 \mu\text{g m}^{-3}$  gestartet. Im folgenden wird hauptsächlich die Überschreitung dieses Grenzwertes diskutiert.

Abbildung 3 zeigt im oberen Teil die bodennahen maximalen 8-Stunden-Mittelwerte von Ozon für die Emissionsszenarien 1996 und 2005. Es ist festzustellen, daß für beide Szenarien der EU-Grenzwert im gesamten betrachteten Gebiet z. T. weit überschritten wird. Es ist auch zu erkennen, daß trotz einer prognostizierten Abnahme der VOC-Emissionen von ca. 30 % und einer sehr geringen Zunahme der  $\text{NO}_x$ -Emissionen die Ozonbelastung von 1996 nach 2005 nur sehr wenig abnimmt. Der Grenzwert von  $120 \mu\text{g m}^{-3}$  kann dabei an einem Tag mit hoher Ozonbelastung im Jahr 2005 für ca. zehn 8-Stunden-Mittelwerte noch um bis  $30 \mu\text{g m}^{-3}$  überschritten werden. Bei der gewählten großräumigen Hintergrundbelastung kann man davon ausgehen, daß die Überschreitung des Grenzwertes durch die Emissionen im Untersuchungsgebiet selbst erzeugt wird.

Im unteren Teil der Abbildung 3 ist für das Emissionsszenario 2005 eine verursacherspezifische Betrachtung zu sehen. Dargestellt ist wieder das maximale 8-Stunden-Mittel. Es zeigt sich, daß auch bei der hypothetischen Betrachtung eines Szenarios ohne Emissionen aus Großfeuerungsanlagen nur geringfügige Änderungen der Ozonkonzentrationen und diese auch nur im unmittelbaren Einflußbereich der Emittenten zu finden wären. Bei einem Szenario ohne Verkehrsemissionen würden die bodennahen Ozonwerte zwar um etwa 10 bis  $15 \mu\text{g m}^{-3}$  sinken, eine Unterschreitung des EU-Grenzwertes könnte dennoch nicht erzielt werden. Die Verursachergruppe „Lösungsmittel“ (nicht dargestellt) hat den geringsten Einfluß und trägt nur noch mit weniger als  $5 \mu\text{g m}^{-3}$  zur Zunahme der Ozonkonzentrationen bei.

Die Gesamtkonzentrationen bodennahen Ozons werden entscheidend durch die großräumige Vorbelastung bestimmt. In einer Sensitivitätsstudie für das Jahr 2005 wurde deshalb untersucht, welchen Einfluß sie auf eine mögliche Überschreitung des oben angegebenen EU-Grenzwertes hat. Abbildung 4 zeigt die maximalen 8-Stunden-Mittelwerte für verschiedene Hintergrundkonzentrationen. Es ist zu sehen, daß bei Hintergrundkonzentrationen von 100 bzw.  $120 \mu\text{g m}^{-3}$  der Grenzwert großräumig überschritten wird. Bei der Vorbelastung von  $100 \mu\text{g m}^{-3}$  reduziert sich der Zeitraum der Überschreitung bereits auf 4 Stunden und maximal  $15 \mu\text{g m}^{-3}$ . Erst bei Vorbelastungen von 60 und  $80 \mu\text{g m}^{-3}$  ist mit keiner Überschreitung des EU-Grenzwertes zu rechnen, d.h. ein Einhalten dieser Richtlinie ist auch im Untersuchungsgebiet nur durch eine europaweite Emissionssenkung zu erreichen.

## Immissionsbelastung durch Feinstaub

Epidemiologische Studien haben gezeigt, daß die Erkrankungen des Herz-Lungensystems und der Atemwege in starkem Zusammenhang mit der Luftverschmutzung durch Aerosolpartikel stehen. Jedoch ist noch unklar, welche Eigenschaften der Partikel, bzw. welche chemischen Substanzen sich besonders negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken. Fest steht jedoch, daß nur Partikel mit Durchmessern von weniger als  $10 \mu\text{m}$  tiefer in die Atemwege eindringen können. Einige Studien deuten darauf hin, daß feinere Partikel mit Durchmessern unterhalb von  $2,5 \mu\text{m}$  besonders gesundheitsschädlich sind. Eine Untersuchung der Belastung durch Partikel und ihrer gesundheitlichen Folgen sowie effektive Gegenmaßnahmen sind nur möglich, wenn die physikalischen und chemischen Eigenschaften dieser Luftbeimengung und ihre Ausbreitung und Verteilung bekannt sind.



# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN

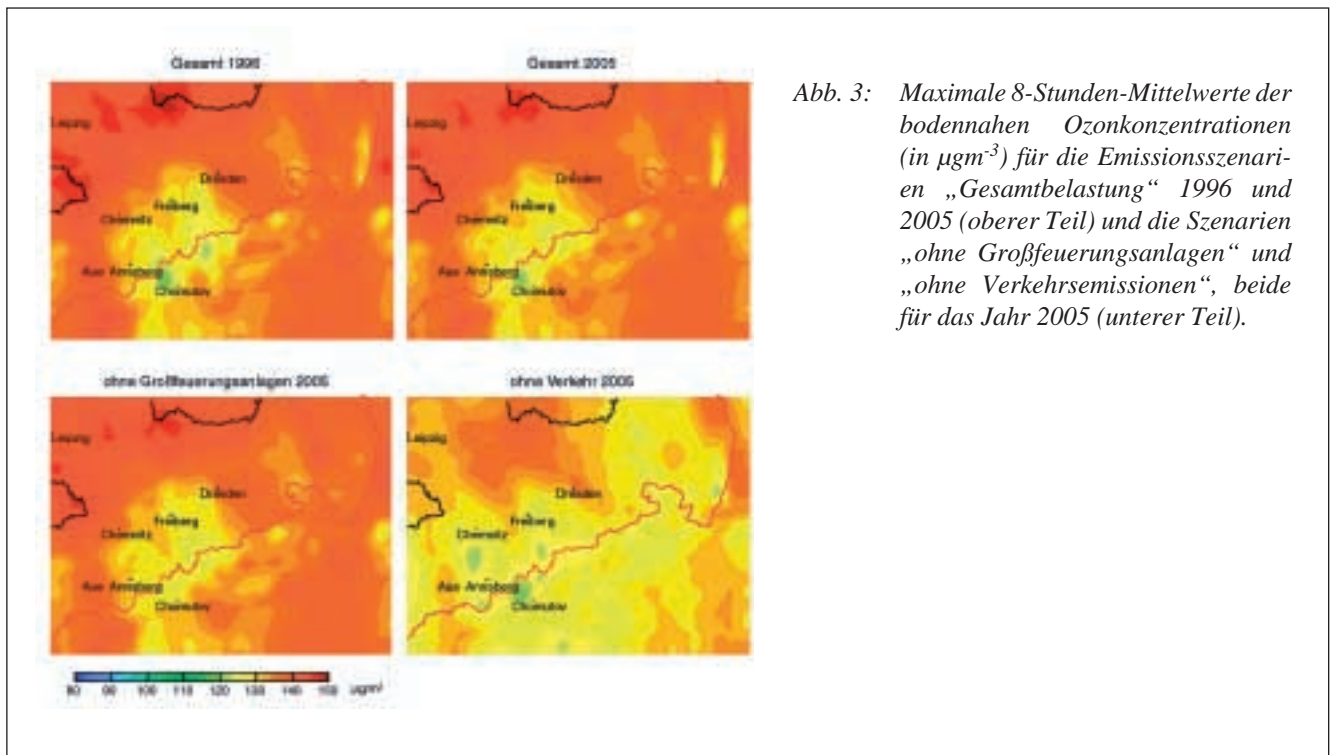


Abb. 3: Maximale 8-Stunden-Mittelwerte der bodennahen Ozonkonzentrationen (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) für die Emissionsszenarien „Gesamtbelastung“ 1996 und 2005 (oberer Teil) und die Szenarien „ohne Großfeuerungsanlagen“ und „ohne Verkehrsemissionen“, beide für das Jahr 2005 (unterer Teil).

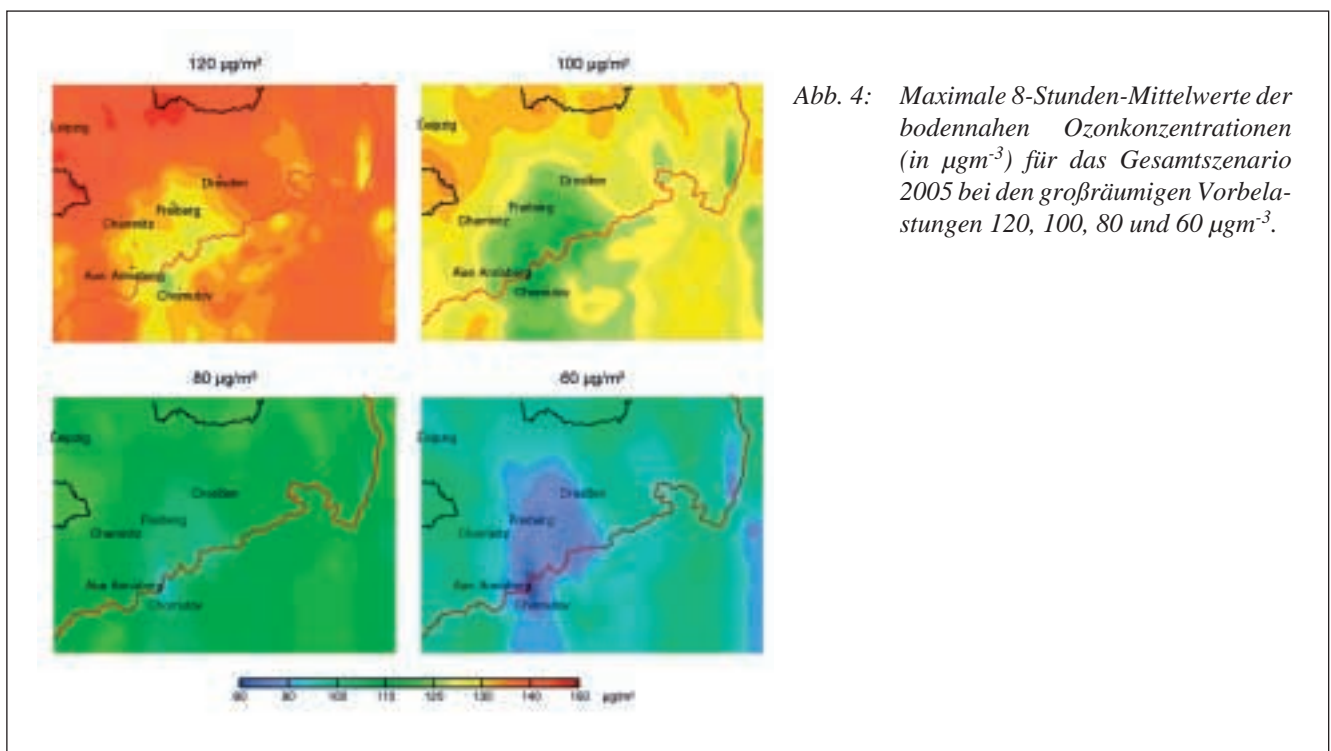


Abb. 4: Maximale 8-Stunden-Mittelwerte der bodennahen Ozonkonzentrationen (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) für das Gesamtszenario 2005 bei den großräumigen Vorbela-stungen 120, 100, 80 und 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

## TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN

Ein Teilaspekt ist die modellmäßige Abschätzung der Massenkonzentrationen von Feinstaub in der Luft. Hierzu wurde das Modellsystem METRAS-MUSCAT um ein Aerosolmodul (MADMAcS I, WILCK UND STRATMANN, 1996) erweitert. Zu untersuchen war die Ausbreitung der PM 10-Fraktion, d.h. Partikel mit Durchmessern kleiner als 10  $\mu\text{m}$ . Aus den Staubemissionen für das Schwarze Dreieck wurde deshalb auch nur dieser Anteil berücksichtigt. Verursachergruppenspezifisch wurden zwei charakteristische Partikeldurchmesser angenommen. Feinstaubemissionen durch Verkehr sind z.B. vollständig der Subgruppe PM 2,5 (Partikel mit Durchmessern  $< 2,5 \mu\text{m}$ ) zuzuordnen, während die anderen Emissionen anteilmäßig auf die PM 2,5-Fraktion und die Fraktion mit Durchmessern zwischen 2,5 und 10  $\mu\text{m}$  aufgeteilt wurden.

Abbildung 5 zeigt die Entwicklung der bodennahen Massenkonzentrationen von Feinstaub im 24-Stunden-Mittel auf der Basis der Gesamt-Feinstaubemissionen der Jahre 1996 und 2005 für eine winterliche austauscharme Hochdruckwetterlage mit Winden aus Ost. Es wurde eine großräumige Hintergrundbelastung durch Feinstaub von 25  $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$  angenommen. Die Situation wird von den ergiebigen Punktquellen dominiert. Während als Spitzenbelastungen vor allem in Quellnähe der Großemittenten in Nordböhmen für 1996 noch Werte von einigen hundert  $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$  auftreten, wird dort

für 2005 eine deutliche Reduzierung auf unter 100  $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$  prognostiziert. In Sachsen werden 1996 in hochbelasteten Gebieten noch Werte von ca. 80  $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$  erreicht. Im Jahr 2005 sollten die 24-Stunden-Mittelwerte sachsenweit deutlich unter 50  $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$  bleiben. Damit ist zu erwarten, daß die EU-Richtlinie 1999/30/EG erfüllt werden kann, die für die PM 10-Fraktion einen Grenzwert von 50  $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$  im 24-Stunden-Mittel vorschreibt, der ab 2005 nicht häufiger als 35 mal pro Jahr überschritten werden darf. Obwohl seit 1996 die Staubemissionen insbesondere aus Großfeuerungsanlagen bereits stark reduziert wurden, ist abzuschätzen, daß noch weitere Sanierungsmaßnahmen notwendig sind, um diesen Grenzwert auch in Nordböhmen einzuhalten.

### Schlußbemerkung

Die Modelluntersuchungen, die im Rahmen von OMKAS durchgeführt wurden, haben bestätigt, daß die Schadstoffbelastung durch  $\text{SO}_2$  entscheidend abgenommen hat. Dies ist vor allem den umfangreichen Sanierungsmaßnahmen an den Großfeuerungsanlagen zu verdanken. Auch die Umstellung von Kohle- auf Gas- bzw. Ölheizung bei vielen Haushalten und Kleinverbrauchern hat zur Verbesserung der Luftqualität beigetragen. Weiterhin konnte abgeschätzt werden, daß die  $\text{SO}_2$ -Belastung in Zukunft keine bedeutende Rolle mehr spielen wird.

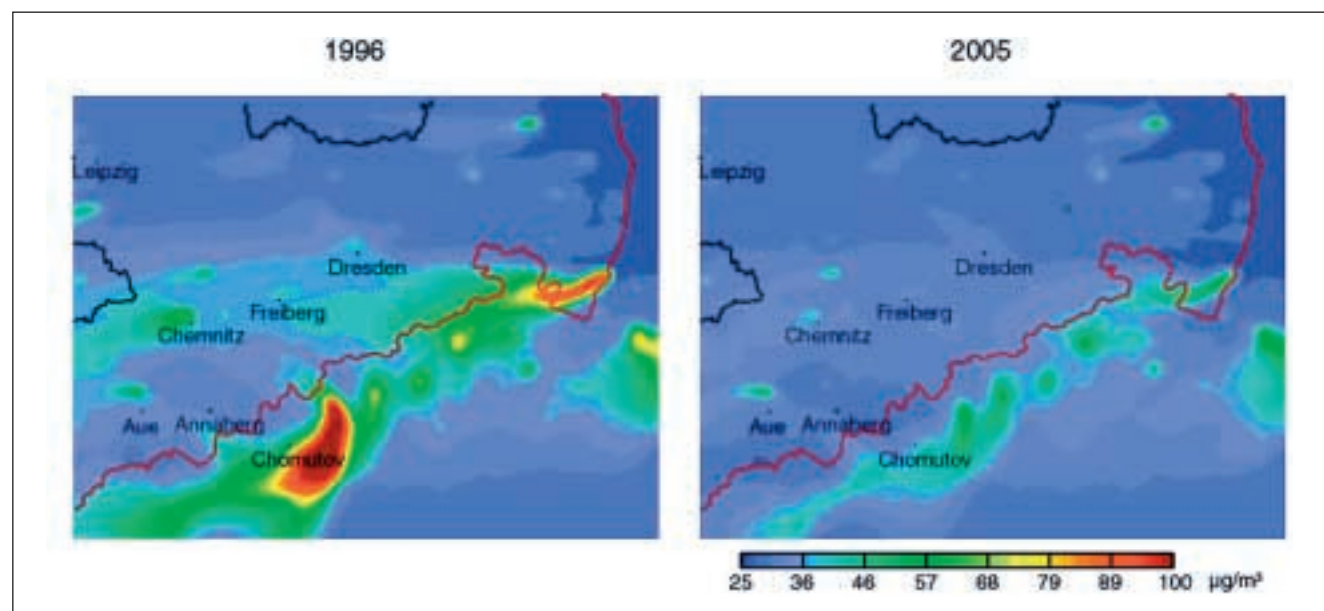


Abb. 5: 24-Stunden-Mittel der bodennahen Massenkonzentrationen von Feinstaub (PM 10) in  $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$  für die Emissionsszenarien 1996 und 2005, bei einer austauscharmen winterlichen Wetterlage mit Ostanströmung.

Beim Schadgas Ozon sind die Möglichkeiten zur Reduzierung der Ozonbelastung durch lokale Senkungen der anthropogenen Emissionen begrenzt. Um das Belastungsniveau insgesamt zu reduzieren, sind großräumige, europaweite Maßnahmen zur Emissionssenkung bei den Vorläufersubstanzen erforderlich.

Die Belastung durch Feinstaub wird bis zum Jahre 2005 weiterhin sinken, wenngleich die dramatische Abnahme der zurückliegenden Jahre nicht anhalten wird. Diese Thematik bleibt weiterhin hochaktuell. Zum einen sind die Emissionen der einzelnen Verursachergruppen noch nicht hinreichend mengenmäßig, teilchengrößenaufgelöst und in ihrer chemischen Zusammensetzung verfügbar. Zum anderen gibt es noch großen Forschungsbedarf bei der Aufklärung der aerosoldynamischen Prozesse, die unter anderem die Verweildauer der Partikel in der Atmosphäre wesentlich beeinflussen. Insbesondere gibt es noch Klärungsbedarf für den Zusammenhang zwischen der lufthygienischen Belastung durch Massenkonzentrationen bzw. Teilchenanzahl-Konzentrationen, da deren unterschiedliche Auswirkung auf die menschliche Gesundheit noch nicht ausreichend bekannt ist.

#### **Literatur:**

- KNOTH, O. UND WOLKE, R. (1998): An explicit-implicit numerical approach for atmospheric chemistry-transport-modeling. *Atmos. Environ.* **32**, 1785-1797.
- SCHLÜNZEN, K.H., BIGALKE, K., LENZ, C.-J., LÜPKES, C., NIEMEIER, U. UND VON SALZEN, K. (1996): Concept and Realization of the Mesoscale Transport and Fluid Model METRAS. METRAS Technical Report 5, Meteorologisches Institut der Universität Hamburg, 131pp.
- WILCK, M. UND STRATMANN, F. (1996): A lognormal model for the size-resolved treatment of particle dynamics and liquid phase chemistry. *J. Aerosol. Sci.* **27**, 583-584.
- STOCKWELL, W.R., KLEY, D. (1994): The Euro-RADM mechanism: A gas-phase chemical mechanism for European air quality studies. *Berichte des Forschungszentrums Jülich*, 2868.

## Die Luftbelastung mit Partikeln, Schwermetallen und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen

Heike Kaupp

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Zur Wetterwarte 11, D-01109 Dresden

### Einleitung

Die Luftbelastung mit Partikeln stellt eine potentielle Gefährdung der menschlichen Gesundheit dar. Nach derzeitiger Einschätzung sind die schädlichen Eigenschaften überwiegend mit feinen Partikeln assoziiert, die in den unteren Respirationstrakt eindringen und in den Bronchien und den Alveolen abgelagert werden können. Uneinigkeit besteht aber weiterhin darüber, wodurch genau die negativen gesundheitlichen Wirkungen ausgelöst werden. Hierfür werden zum einen Eigenschaften des Partikelkollektivs selbst (Oberfläche, Anzahl) und zum anderen die Gehalte verschiedener partikelgebundener organischer und anorganischer Substanzen (z. B. Metalle, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Säure) diskutiert.

Den Erkenntnissen über die schädliche Wirkung feiner Partikel wird von der europäischen Gesetzgebung Rechnung getragen (Richtlinie 1999/39/EG). Ein erster Schritt hierzu sind die Grenzwerte für die  $PM_{10}$ -Partikelmassenkonzentration (MC) von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für das Jahresmittel und von 35 Überschreitungen pro Jahr für den Tagesmittelwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , die am 1. Januar 2005 in Kraft treten (Stufe 1). Zum derzeitigen Stand ist beabsichtigt, diese Grenzwerte ab 2010 nochmals zu verschärfen (Stufe 2). In der Richtlinie wird dem z. Zt. begrenzten Kenntnisstand Rechnung getragen, indem nach Ablauf des Jahres 2003 eine Überprüfung der Grenzwerte beider Stufen unter Berücksichtigung neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse verfügt wird. Weiterhin hält sich die Kommission die Option offen, im Zuge dieser Überprüfung Grenzwerte für die Fraktion  $PM_{2,5}$  oder andere Partikelfraktionen festzulegen.

Um eine fundierte Entscheidung zu ermöglichen müsste in den kommenden Jahren in den Mitgliedsstaaten – zusätzlich zu der vorgeschriebenen Erfassung der MC der  $PM_{10}$ - (und sporadisch  $PM_{2,5}$ -) Fraktion – eine Datengrundlage für alle Parameter erarbeitet werden, für die ein wesentlicher Beitrag zur negativen Wirkung von Partikeln als wahrscheinlich erachtet wird. Die notwendige Datenbasis lässt sich wie folgt umreißen

- Korngrößenverteilung der MC von Partikeln und für ihre Wirkung evtl. relevanten Inhaltsstoffen.
- Messungen zur Anzahlgrößenverteilung von Partikeln in unterschiedlichen Belastungsregimen.
- Höhe der Belastung.
- Zeitliche Entwicklung der Belastung.

Für das Gebiet von Sachsen liegen zu allen Bereichen Informationen vor, die im folgenden in Ansätzen vorgestellt werden. Soweit möglich wurden zum Vergleich auch tschechische Daten herangezogen. Diese wurden Berichten des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts (CHMI 1996, 1997, 1998) entnommen.

### Messnetz, Messtechnik, erfasste Komponenten

Der für Sachsen ausgewertete Datensatz deckt den Zeitraum 1995 bis 1999 ab. Generell wurden bis Ende 1999 zwei grundsätzlich unterschiedliche Verfahren zur Bestimmung der Partikelbelastung eingesetzt.

Zum einen wurden seit 1994 aufgrund der Wintersmogverordnung an allen Stationen des Sächsischen Messnetzes mit  $\beta$ -Strahlen-Absorption ( $\beta$ -Absorption) zeitlich hochaufgelöste Daten zur Belastung mit Gesamtstaub ( $TSP^1$ ) erhoben. Bei diesem Verfahren wird die MC der Partikel indirekt bestimmt: Die Partikel werden auf einem Filterband abgeschieden und ihre Masse radiometrisch (Änderung der  $\beta$ -Strahlenabsorption) ermittelt.

Seit Anfang 1995 wurden zusätzlich an ausgewählten Stationen jeden zweiten Tag Probenahmen mit High-Volume Sammlern (HVS) durchgeführt. Dabei werden die Partikel mittels eines Filters aus dem Luftstrom abgeschieden. Die verwendeten Geräte sind mit automatischen Probenwechslern ausgestattet, die sich in den klimatisierten Stationen befinden. Nach erfolgter Beprobung eines Filtersatzes wird dieser ins Analysenlabor transportiert. Die Bestimmung der Partikelmasse erfolgt gravimetrisch durch Differenzwägung, die luftgetragene Partikel-MC wird durch Bezug auf das angesaugte Luftvolumen berechnet. Nach der Partikelmassenbestimmung ist eine Analyse des Materials auf organische

<sup>1</sup> TSP = Total Suspended Particulate Matter (gesamtes luftgetragenes Partikelmaterial)

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

## TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN

und/oder anorganische Inhaltsstoffe möglich, was im Sächsischen Luftmessnetz routinemäßig für Blei (Pb), Cadmium (Cd), Nickel (Ni), Chrom (Cr), Arsen (As), Ruß sowie für eine Reihe von PAK durchgeführt wurde.

Bis einschließlich Januar 1998 wurde mit HVS an 16 Stationen des sächsischen Luftmessnetzes TSP beprobt. Anfang Februar 1998 wurden sieben und im Januar 1999 die restlichen Stationen auf PM<sub>10</sub>-Probenahme umgestellt. Die Umstellung wurde an mehreren Stationen mit Parallelmessungen begleitet, einerseits um Informationen über die Verteilung der untersuchten Komponenten auf verschiedene Korngrößenfraktionen zu erhalten und andererseits zum Zwecke der Qualitätssicherung und -kontrolle der HVS-Daten. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die sächsischen HVS-Messstellen (Stand 1/1999).



Abb. 1: PM<sub>10</sub>-Messstellen in Sachsen (Stand 1/1999)  
Kartengestaltung: H. Kuß, OMKAS

### Korngrößenverteilung der Massenkonzentrationen von Partikeln, Schwermetallen und PAK

Die Korngrößenverteilung gehört zu den wichtigsten Eigenschaften eines Partikelkollektivs, da alle Prozesse des Partikelverhaltens – die trockene und nasse Entfernung aus der Atmosphäre genauso wie die Deposition in der menschlichen Lunge – von der Partikelgröße abhängen. Luftgetragene Partikel umfassen einen Größenbereich von etwa 0,0006 bis 100 µm aerodynamischer Durchmesser ( $d_{ac}$ ). Feine Partikel < ca. 2 µm  $d_{ac}$  entstehen durch Gas-Partikel-Umwandlung und bei unvollständigen Verbrennungsprozessen. Der anthropogene Beitrag überwiegt in diesem Größenbereich. Dagegen stammen grobe Partikel hauptsächlich aus mechanischen Prozessen wie z. B. Abrieb, Erosion, Windaufwirbelung von

Bodenpartikeln oder sind pflanzlicher Natur. Der Beitrag verschiedener Quellen zu den groben Partikeln ist daher stark abhängig von den Quellen in der Umgebung des Messpunktes.

An den beiden städtischen Standorten Chemnitz-Nord und Dresden-Mitte wurden von Februar 1998 bis Januar 1999 parallel die beiden Partikelfraktionen TSP und PM<sub>10</sub> gemessen. Bei relativ hohen Schwankungen der Tageswerte ergab sich daraus für die Partikel-MC ein mittlerer Anteil von PM<sub>10</sub> an TSP von 59 bzw. 63 % (vgl. Abbildung 2).

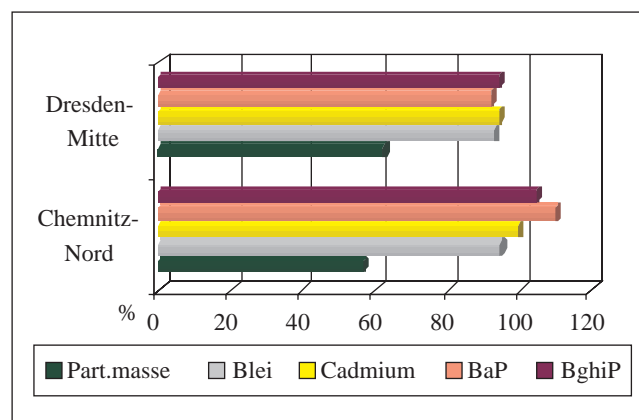


Abb. 2: Anteil (%) der PM<sub>10</sub>-Fraktion an den MC von Partikeln, Schwermetallen und PAK im TSP

Für einige Inhaltsstoffe ergaben sich rein rechnerisch Anteile von PM<sub>10</sub> an TSP (Abbildung 2) bzw. von PM<sub>2,5</sub> an PM<sub>10</sub> (Abbildung 3), von mehr als 100 %. Für diese Komponenten wurde von einem vollständigen Vorliegen in der feineren Fraktion ausgegangen.

Während ein wesentlicher Anteil der Partikelmasse im Bereich der großen Partikel vorlag, war dies für Blei, Cadmium und die PAK mit fünf oder mehr kondensierten Ringen nicht der Fall. Für diese Komponenten betrug der mittlere Anteil der PM<sub>10</sub>-Fraktion an TSP mindestens 90 %.

Einen weitergehenden Eindruck vermitteln Parallelmessungen der Partikelfraktionen PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub>. Diese wurden seit Januar 1998 in Chemnitz-Nord und seit Februar 1999 auch in den beiden anderen sächsischen Ballungsräumen an den Stationen Dresden-Mitte und Leipzig durchgeführt. Zusätzlich existieren Daten vom ländlichen Standort Schwarzenberg. Hier wurden die Messungen im Oktober 1998 begonnen.

Für die Massenkonzentrationen von Partikeln und ausgewählten Inhaltsstoffen ist der Median des Anteils von PM<sub>2,5</sub>

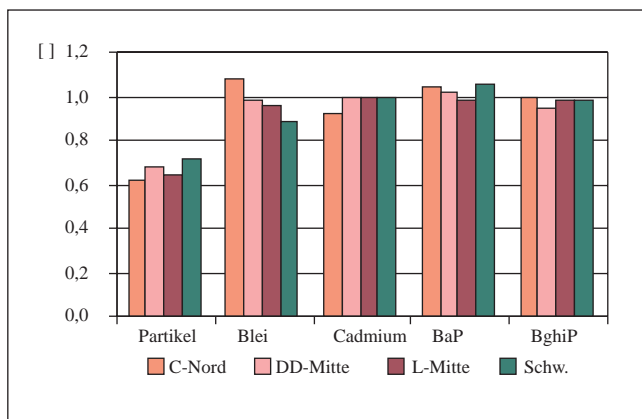


Abb. 3: Median der Anteile der PM<sub>2,5</sub>-Fraktion an den MC von Partikeln, Blei, Cadmium und zwei PAK in der Fraktion PM<sub>10</sub>

an PM<sub>10</sub> in Abbildung 3 dargestellt. Datengrundlage war für die städtischen Standorte und die Partikel-MC vom Schwarzenberg das gesamte Jahr 1999, für die Messung der Inhaltsstoffe am ländlichen Standort dagegen nur die ersten fünf Monate 1999.

An den vier Standorten lagen etwa 60 bis 70 % der Partikelmasse im Größenbereich PM<sub>2,5</sub> vor, wobei der ländliche Standort Schwarzenberg den höchsten Wert aufwies. Die vier betrachteten Inhaltsstoffe Blei, Cadmium, Benzo[a]pyren und Benzo[ghi]perylen lagen dagegen an allen Standorten mehr oder weniger vollständig in der Fraktion PM<sub>2,5</sub> vor. Dieser Befund deckt sich weitgehend mit Informationen aus der Literatur.

### Anzahlgrößenverteilung von Partikeln

Die Verwendung der Partikel-MC ist als Maß für die potentielle Gefährdung des Menschen durch luftgetragene Partikel umstritten, da in verschiedenen Untersuchungen der deutlichste Zusammenhang zwischen der Partikelanzahlkonzentration und negativen gesundheitlichen Effekten beobachtet wurde.

Da für Sachsen bislang kaum Daten über Partikelanzahlkonzentrationen und Anzahlgrößenverteilungen vorlagen, wurden im November/Dezember 1998 in Chemnitz im direkten Einflussbereich des Straßenverkehrs vier Wochen lang orientierende Messungen durchgeführt (LENZEN ET AL, 1999). Damit sollten auch Informationen über den Einfluss des Straßenverkehrs auf die vorgenannten Größen gewonnen werden. Im weiteren werden einige Ergebnisse für die drei Korngrößenbereiche PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub> vorgestellt. Hin-

tergrund dieser Einteilung sind Unterschiede in der Herkunft dieser Fraktionen: Partikel mit d<sub>ae</sub> bis 1 µm (PM<sub>1</sub>) entstehen durch Gas-zu-Partikel-Umwandlungen und in frischen Verbrennungsaerosolen während die Partikel > 2,5 µm d<sub>ae</sub> v.a. aus mechanischen Prozessen und Aufwirbelung stammen. Der Größenbereich 1 bis 2,5 µm d<sub>ae</sub> stellt einen Übergangsbereich dar.

Die mittlere Anzahlkonzentration der Partikelfraktion PM<sub>1</sub> betrug ca. 92000/cm<sup>3</sup>, in den Fraktionen 1-2,5 µm und 2,5-10 µm lagen im Mittel weitere 2,2 bzw. 0,4 Partikel pro Kubikzentimeter vor. Die Fraktion PM<sub>1</sub> enthielt also fast die gesamte Partikelzahl, was mit Literaturangaben übereinstimmt. Durch die Lage des Standortes waren die gemessenen Partikelzahlen im Bereich PM<sub>1</sub> in Chemnitz höher als Literaturangaben für andere Standorte, bei denen die Daten meist in größerer Entfernung zu stark befahrenen Straßen erhoben wurden. Mit einer Entfernung von 6 bis 8 m von der nächsten Straße dürften die Messungen in Chemnitz die Exposition von Fußgängern auf dem Bürgersteig immer noch unterschätzen.

Ein Vergleich der gemessenen Anzahlgrößenverteilung aus der Richtung der Hauptverkehrsstraße mit der aus entgegengesetzter Windrichtung ergab, dass der Straßenverkehr hauptsächlich Partikel < 0,6 µm d<sub>ae</sub> emittierte. Der Vergleich zeigte ausserdem, dass die PM<sub>1</sub>-Partikelanzahlkonzentration in direkter Nähe zum Straßenverkehr nochmals um ca. Faktor 1,7 über der des städtischen Hintergrundes lag. Der Straßenverkehr hatte danach eine erhebliche Bedeutung für die Belastung der Luft am Standort mit feinen Partikeln. Bei dem derzeitigen Kenntnisstand besteht allerdings keine Möglichkeit, diese Messwerte zu Kenngrößen für die menschliche Gesundheit in Beziehung zu setzen.

### Zeitliche Entwicklung und Höhe der Belastung

Die Luftbelastung in Sachsen mit Partikeln sowie ausgewählten Schwermetallen und PAK von 1995 bis 1999 ist in Tabelle 1 und Abbildung 4 dargestellt. Für die Jahre 1995 – 1997 und 1999 wurden die Jahresmittelwerte (JMW) aller Stationen gemittelt, für 1998 die mittleren Werte getrennt für die TSP- und die PM<sub>10</sub>-Messreihen betrachtet.

Für alle Komponenten wurde seit 1995 ein starker Rückgang der Konzentrationen beobachtet.

Die JMW der Partikel-MC lagen 1998 für die TSP-Messreihen im Mittel bei 80 % und für die PM<sub>10</sub>-Messreihen im Mittel bei 43 % des Wertes von 1995. Von 1998 zu 1999 wurde nur noch eine geringfügige Abnahme der PM<sub>10</sub>-JMW beobachtet.

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

## TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN

Für Blei und die beiden betrachteten PAK lagen die Konzentrationen 1998 und 1999 etwa 50-60 % unter denen im Jahr 1995.

Für Arsen und Chrom betragen die JMW 1998 in der TSP- bzw. die JMW 1998/1999 in der PM<sub>10</sub>-Fraktion im Schnitt 55 bzw. ca. 40 % der 1995er Werte. Weniger deutlich als für die vorgenannten Komponenten fiel die Minderung für Cadmium aus, dessen Konzentration in der PM<sub>10</sub>-Fraktion 1998 bzw. 1999 im Mittel immer noch bei 63 bzw. 56 % der 1995er TSP-Werte lagen.

Im Gegensatz zu den anderen Substanzen lagen die Nickelkonzentrationen in der TSP-Fraktion 1998 sondern sogar etwas über denen des Bezugsjahres. Die Konzentrationen in der PM<sub>10</sub>-Fraktion betragen 1998 bzw. 1999 noch 60 bzw. 45 % des Wertes von 1995.

Um eine Einschätzung der absoluten Höhe der Belastung zu treffen, wurden – wo möglich – die gemessenen Konzentrationen mit Grenz- oder Beurteilungswerten verglichen. Dazu wurden nach Möglichkeit auch tschechische Daten herangezogen.

Allerdings ist zum derzeitigen Stand der Vergleich deutscher und tschechischer Daten zur Belastung mit Partikeln und

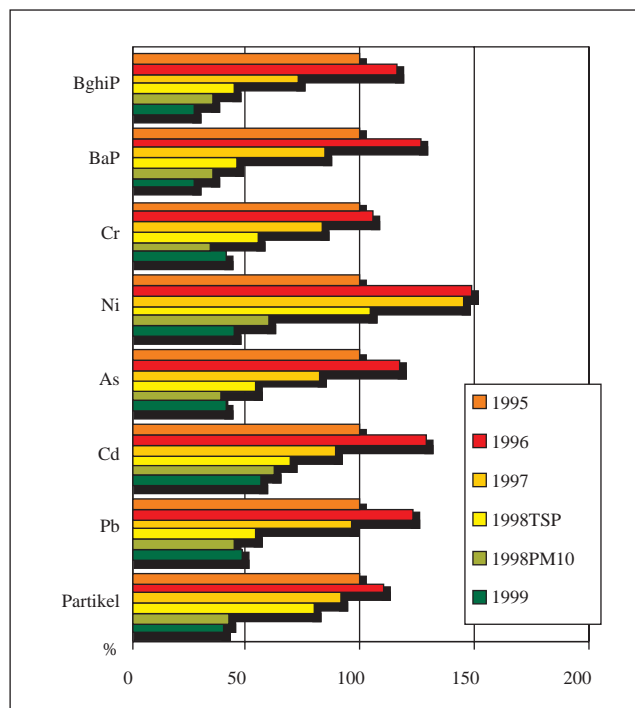


Abb. 4: Mittlere zeitliche Entwicklung der Luftbelastung (JMW) in Sachsen mit Partikeln, Schwermetallen und PAK zwischen 1995 und 1999 (1995 = 100 %)

Tab. 1: Spannweite der Jahresmittelwerte an 13 Messstationen für Massenkonzentrationen von Partikeln ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Schwermetallen und partikelgebundenen PAK ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ). Die Probenahme erfolgte bis 1997 an allen Stationen mit Ringspalt-Vorabscheider als TSP, ab Februar 1998 an acht und ab 1/99 an allen Standorten als PM<sub>10</sub>.

Jahresmittelwerte	1995	1996	1997	1998	1999
<b>Partikel (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	27 - 95	29 - 104	25 - 82	22 - 60	14 - 34
<b>Metalle (<math>\text{ng}/\text{m}^3</math>)</b>					
Blei	18 - 106	23 - 94	19 - 81	10 - 38	9,6 - 36
Cadmium	0,37 - 1,5	0,53 - 1,5	0,35 - 1,3	0,30 - 0,79	0,17 - 0,91
Arsen	3,9 - 13	4,9 - 13	3,0 - 12	2,0 - 4,8	1,55 - 4,0
Nickel	1,8 - 17	3,3 - 29	3,5 - 45	2,1 - 16	0,90 - 6,1
Chrom	2,6 - 11	3,9 - 11	2,8 - 8,9	1,3 - 4,9	1,2 - 3,9
<b>PAK (<math>\text{ng}/\text{m}^3</math>)</b>					
Fluoranthen	0,96 - 3,3	2,3 - 6,8	1,3 - 4,4	0,5 - 1,5	0,26 - 0,84
Benz[a]anthracen	0,45 - 2,7	0,93 - 4,6	0,65 - 3,2	0,23 - 1,2	0,13 - 0,73
Chrysen	0,60 - 3,1	1,3 - 5,0	0,91 - 3,6	0,37 - 1,7	0,21 - 1,2
Benzo[b]fluoranthen	0,65 - 3,1	1,3 - 4,9	1,0 - 4,0	0,44 - 1,9	0,29 - 1,4
Benzo[k]fluoranthen	0,28 - 1,5	0,49 - 2,0	0,38 - 1,5	0,17 - 0,71	0,11 - 0,54
Benzo[a]pyren	0,44 - 2,8	0,75 - 3,4	0,55 - 2,5	0,26 - 1,2	0,16 - 0,79
Benzo[ghi]perylen	0,62 - 3,8	0,99 - 4,3	0,60 - 3,0	0,31 - 1,6	0,22 - 1,1
Indeno[1,2,3,c,d]pyren	0,53 - 2,9	0,78 - 3,7	0,68 - 2,5	0,31 - 1,2	0,21 - 1,1
Dibenz[a,h]anthracen	0,062 - 0,26	0,076 - 0,26	0,047 - 0,15	0,032 - 0,11	0,030 - 0,090
<b>Ruß (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	–	–	–	2,8 - 4,7	3,1 - 5,3

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

## TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN

ihren Inhaltsstoffen ausgesprochen schwierig. Für die Ermittlung der grenzwertrelevanten Parameter stellt die gravimetrischen Bestimmung das Referenzverfahren dar. Andere Verfahren dürfen hierfür nur dann eingesetzt werden, wenn ihre Vergleichbarkeit mit dem Referenzverfahren gesichert ist. Dies ist zur Zeit nur für TEOM (*Tapered Element Oscillating Microbalance*, Oszillierende Mikrowaage), nicht aber für die weit verbreitete  $\beta$ -Absorption der Fall.

Sowohl in Sachsen als auch in der Tschechischen Republik werden zur Bestimmung der Partikel-MC  $\beta$ -Absorption und HVS eingesetzt. Nach derzeitiger Einschätzung kann keine ausreichende Korrelation zwischen den Verfahren vorausgesetzt werden, um eine Umrechnung von Werten vorzunehmen. Zwischen den beiden Ländern gibt es weitere Unterschiede in der Probenahme von Partikeln, die ebenfalls zu Lasten der Vergleichbarkeit der Daten gehen:

- $\beta$ -Absorption wird in Sachsen zur Bestimmung von TSP, in der Tschechischen Republik aber zur Messung von  $PM_{10}$  eingesetzt.
- Bei der Beprobung von Partikeln mit HVS wird in Sachsen die  $PM_{10}$ -Fraktion erfasst, in der Tschechischen Republik mit wenigen Ausnahmen aber TSP. Die so ermittelten MC sind damit für Partikel und diejenigen Inhaltsstoffe, die zu nennenswerten Anteilen an größeren Partikeln als  $PM_{10}$  vorliegen (z. B. Arsen, Chrom, Nickel), nicht vergleichbar. Nur für die überwiegend mit feinen Partikeln assoziierten Inhaltsstoffe, wie z. B. Blei, Cadmium und die PAK mit fünf oder mehr kondensierten Ringen, ist ein direkter Vergleich der Daten möglich.

In Sachsen wurde 1998 und 1999 an keiner Station der ab 2005 einzuhaltende Grenzwert für das Jahresmittel der  $PM_{10}$ -MC überschritten (Abbildung 5), obwohl im Januar 1998 noch als TSP gemessene Daten in die Mittelwertbildung eingingen. Allerdings lagen die  $PM_{10}$ -Konzentrationen an den betrachteten Stationen deutlich über dem Richtgrenzwert der 2. Stufe.

Trotz der fehlenden Anerkennung der  $\beta$ -Absorption als Äquivalenzverfahren wurden diese Daten für einen Vergleich der chronischen Belastung mit Partikeln in Sachsen und Nordböhmen verwendet (Abbildung 6).

Für Sachsen wurden TSP-JMW der sieben am höchsten belasteten Stationen entsprechend der Vorgabe in Richtlinie 1999/30/EG mit dem Faktor 0,83 multipliziert, um eine konservative Abschätzung für die  $PM_{10}$ -Konzentration zu erhalten. Hieraus ergaben sich andere Verhältnisse der Belastung zwischen einzelnen Stationen als bei HVS-Messungen, was

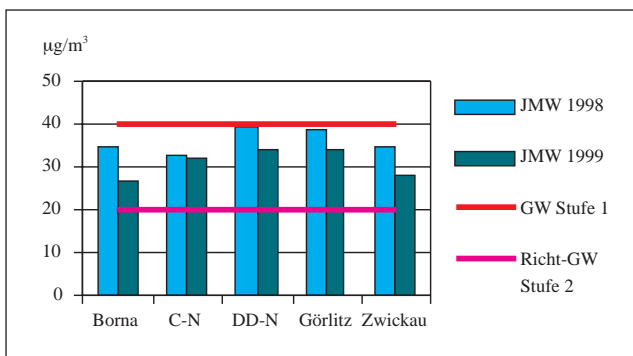


Abb. 5: JMW 1998 und 1999 der  $PM_{10}$ -Partikel-MC (grav.) an sächsischen Stationen im Vergleich zu den Vorgaben der Richtlinie 1999/30/EG

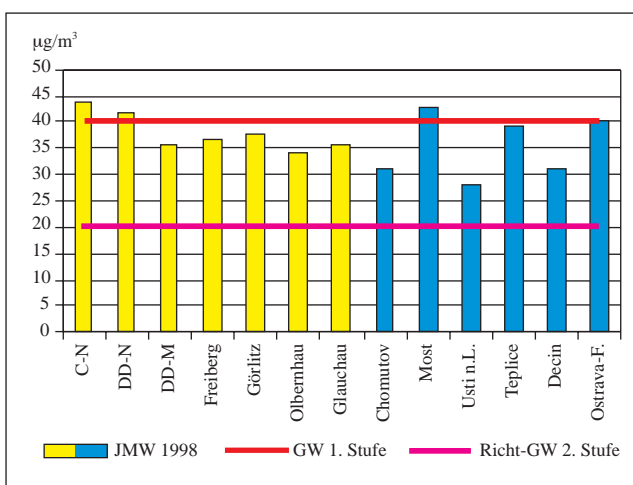


Abb. 6: Vergleich von JMW der  $PM_{10}$ -MC an deutschen und tschechischen Stationen. (Messverfahren:  $\beta$ -Absorption; Werte für die deutschen Stationen aus TSP-Messungen abgeschätzt.)

die fehlende Vergleichbarkeit der beiden Verfahren nochmals unterstreicht.

Für die Tschechische Republik wurden JMW der  $PM_{10}$ -Konzentrationen an Stationen in grenznahen Bezirken für diesen Vergleich verwendet.

Für fast alle sächsischen und die Hälfte der betrachteten tschechischen Stationen ergaben sich  $PM_{10}$ -Jahresmittel von mehr als  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wobei der Grenzwert der 1. Stufe für das Jahresmittel an jeweils zwei der ausgewählten Stationen erreicht bzw. überschritten wurde. Es deuteten sich aber keine gravierenden Grenzwertüberschreitungen an.



# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

## TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN

Ein Maß für die Akutbelastung durch Partikel stellt der Wert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Tagesmittel dar. Dieser zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegte Grenzwert darf ab 2005 nicht mehr als 35 mal pro Jahr überschritten werden. Um einen Eindruck der aktuellen Akutbelastung zu erhalten, wurden mit den HVS-Daten für die Jahre 1998 und 1999 die Überschreitungshäufigkeiten an allen Sächsischen Stationen abgeschätzt (Abbildung 7). Da die Messungen nur jeden zweiten Tag durchgeführt wurden, wurde die Zahl der Überschreitungen mit dem Faktor 2 multipliziert. Eine Korrektur für Messausfälle wurde nicht durchgeführt. Zu beachten ist, dass die Berechnung für 1998 tendenziell eine Überschätzung darstellt, da für Januar nur TSP-Werte zur Verfügung standen.

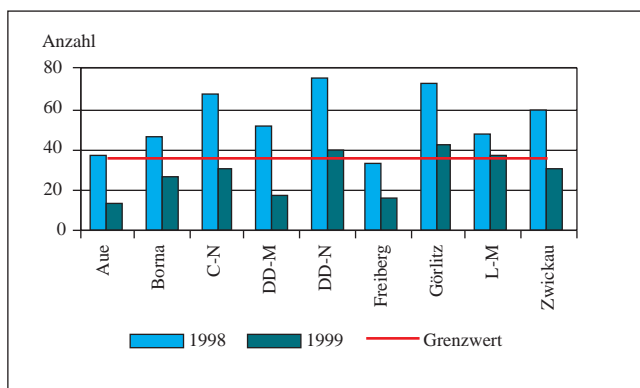


Abb. 7: Berechnete Zahl von Überschreitungen der  $\text{PM}_{10}$ -Konzentration von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Tagesmittel an ausgewählten sächsischen Stationen in den Jahren 1998 und 1999

Die Abschätzung deutet für 1998 auf massive Überschreitungen des zukünftigen Grenzwertes hin, da sich für sieben von acht Stationen mehr als 35 Überschreitungen des Tagesmittelwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ergaben. Im Vergleich dazu war die Situation im Jahr 1999 wesentlich entspannter. Dennoch wurden immer noch für drei von 15 Stationen (Dresden-Nord, Görlitz, Leipzig-Mitte) mehr als 35 Überschreitungen berechnet, und zwei weitere Standorte (Chemnitz-Nord, Zwickau) waren relativ nahe an diesem Wert. Die akute Belastung stellt somit momentan eher ein Problem dar als die chronische.

Für Blei ist in der Richtlinie 1999/30/EG ein Grenzwert von  $500 \text{ ng}/\text{m}^3$  für das Jahresmittel festgelegt. Wegen des in aller Regel hohen Anteils an feinen Partikeln sind auch die Jahresmittel der früheren Jahre (TSP-Messungen) aussagekräftig für die Belastung im Bereich  $\text{PM}_{10}$ . Der Grenzwert wurde in den vergangenen Jahren an keiner sächsischen und tschechischen Station auch nur annähernd erreicht (Abbildung 8).

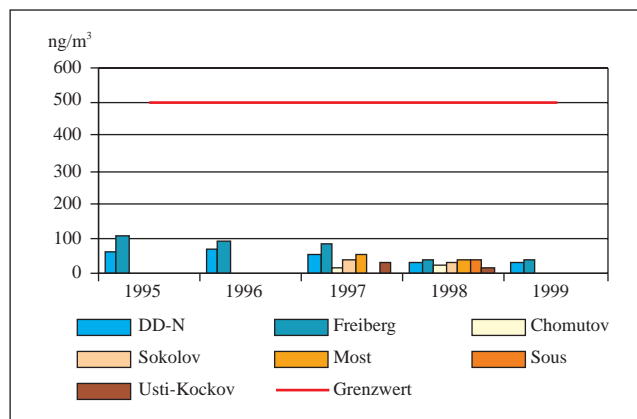


Abb. 8: JMW der Bleikonzentration im Vergleich zum Grenzwert nach der Richtlinie 1999/30/EG

Cadmium, Arsen, Ruß und Benzo[a]pyren sind als krebserzeugend eingestuft. Für diese Komponenten gibt es bisher keine Grenzwerte nach europäischem Recht. Die Immissionskonzentrationen werden im folgenden mit den vom „Länderausschuss Immissionsschutz“ entwickelten Beurteilungsmaßstäben für Konzentrationen in Gebieten (LAI, 1992) verglichen. Diese besitzen zwar keinen Grenzwertcharakter, wurden aber zur Einschätzung der Immissionskonzentrationen verwendet, da sie dem chronisch gesundheitsgefährdenden Potential der Substanzen durch vergleichsweise strenge Werte Rechnung tragen.

Die JMW für Cadmium (Abbildung 9) lagen i.d.R. deutlich unterhalb des LAI-Beurteilungswertes von  $1,7 \text{ ng}/\text{m}^3$ . Nur an der tschechischen Station Souš wurde für 1998 mit  $9,4 \text{ ng}/\text{m}^3$  ein sehr viel höherer Wert ermittelt.

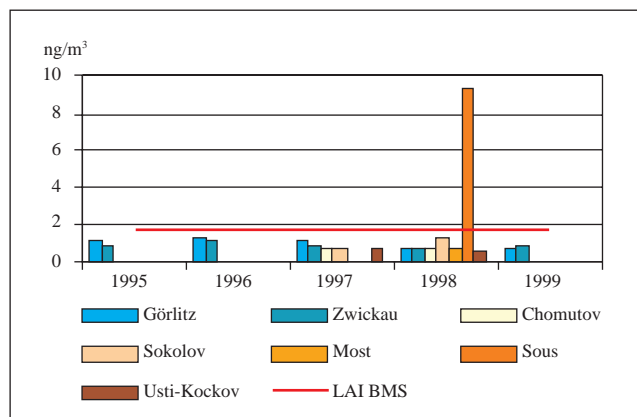


Abb. 9: JMW für Cadmium im Vergleich mit dem LAI-Beurteilungswert

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

## TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN

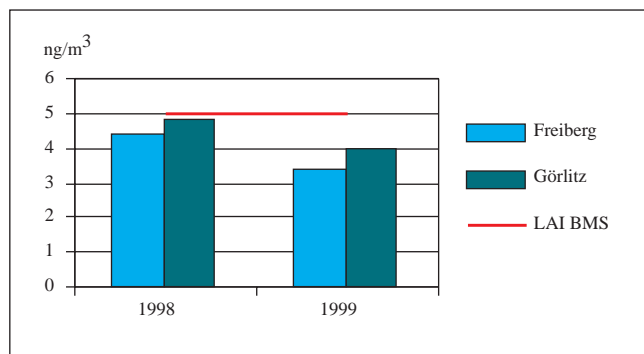


Abb. 10: JMW für Arsen im Vergleich mit dem LAI-Beurteilungswert

Für Arsen (Abbildung 10) wurden nur die am höchsten belasteten sächsischen Stationen betrachtet, da wegen der relativ hohen Anteile der Substanz an großen Partikeln keine Vergleichbarkeit von TSP- und PM<sub>10</sub>-Messungen zu erwarten ist. Im Jahr 1998 lagen die JMW an den beiden Messpunkten Freiberg und Görlitz noch in der Nähe des LAI-Beurteilungsmaßstabes, während der Wert 1999 nur noch zu höchstens 80 % ausgeschöpft wurde. Der Konzentrationsunterschied zwischen den beiden Jahren ist sicherlich zum Teil auf die Verwendung von TSP-Daten für 1/98 zurückzuführen, da Arsen relativ hohe Anteile im Korngrößenbereich > 10 µm d<sub>ae</sub> aufweist.

Ruß wird als Kenngröße für Dieselmotoremissionen erfasst, für die Straßenverkehr die Hauptquelle darstellt. Damit ist auch die Rußbelastung ein Problem der Städte. In Abbildung 11 ist die Rußbelastung an acht städtischen Standorten in Sachsen in den Jahren 1998 und 1999 dargestellt. In allen Fällen lagen die Konzentrationen unterhalb des Grenzwertes

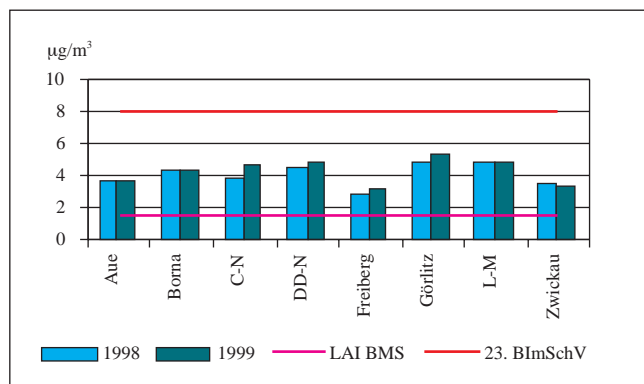


Abb. 11: JMW für Ruß 1998 und 1999 im Vergleich zu Grenzwert nach 23. BImSchV und LAI-Beurteilungswert

der 23. BImSchV von 8 µg/m<sup>3</sup>, aber um das zwei- bis dreieinhalbfache über dem LAI-Beurteilungswert.

PAK sind wie Ruß Produkte unvollständiger Verbrennungsprozesse. Als Kenngröße für die PAK-Belastung wird häufig die bekanntermaßen krebserzeugende Einzelsubstanz Benzo[a]pyren herangezogen. Da die Substanz überwiegend im Bereich feiner Partikel vorliegt, sind auch Messungen in der Gesamtstaubfraktion aussagekräftig. Der LAI-Beurteilungswert für Benzo[a]pyren von 1,3 ng/m<sup>3</sup> wurde den JMW an tschechischen und sächsischen Stationen gegenübergestellt (Abbildung 12). Nach einem kräftigen Rückgang der mittleren jährlichen Konzentrationen lagen die Werte im Jahr 1998 an den beiden höchstbelasteten sächsischen Stationen in der Nähe und an den betrachteten tschechischen Stationen oberhalb des Beurteilungswertes von 1,3 ng/m<sup>3</sup>. Für die beiden sächsischen Messpunkte wurde 1999 ein weiterer Rückgang der Konzentrationen beobachtet. Der höchste für eine sächsische Station berechnete JMW für Benzo[a]pyren im Jahr 1999 lag bei 0,79 ng/m<sup>3</sup>, also deutlich unterhalb des LAI-Beurteilungswertes. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass die Festlegung eines Grenzwertes für Benzo[a]pyren in europäischem Recht geplant ist. Dafür sind Werte in der Diskussion, die sehr deutlich unterhalb des LAI-Wertes liegen.

Bei Jahresmitteln, die in der Nähe von Grenz- oder Beurteilungswerten liegen, spielt für die menschliche Exposition auch der jahreszeitliche Verlauf der Konzentrationen eine Rolle. Dies wird im folgenden am Beispiel von Benzo[a]pyren illustriert. Für PAK wurden i. d. R. ausgeprägte Jahresgänge mit Maximalwerten im Winter beobachtet (z. B. MASCLET et al., 1990) und deren Auftreten mit dem Zusammenwirken von jahreszeitlich bedingter Änderungen der

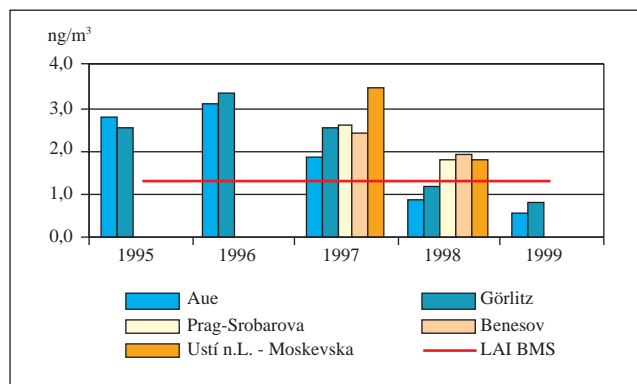


Abb. 12: JMW für Benzo[a]pyren im Vergleich mit dem LAI-Beurteilungswert

Quellen- (z.B. Heiztätigkeit im Winter) und Senkensituation (z. B. verstärkter Abbau im Sommer) sowie der meteorologischen Bedingungen (Hauptwindrichtung, Mischungsschichthöhe) begründet.

In Abbildung 13 sind die mittleren Jahrgänge der Benzo[a]pyren-Konzentrationen in Sachsen in den Jahren 1995 bis 1999 dargestellt. Dazu wurden die Monatsmittelwerte jeder Station auf den zugehörigen JMW bezogen und dann für jedes Jahr die Jahresverläufe aller Stationen gemittelt. Es ergaben sich sehr ausgeprägte Jahrgänge, wobei die maximalen Monatsmittel bis zu fünfmal höher waren als das Jahresmittel und bis zu 40fach höher als die niedrigsten Monatsmittel.

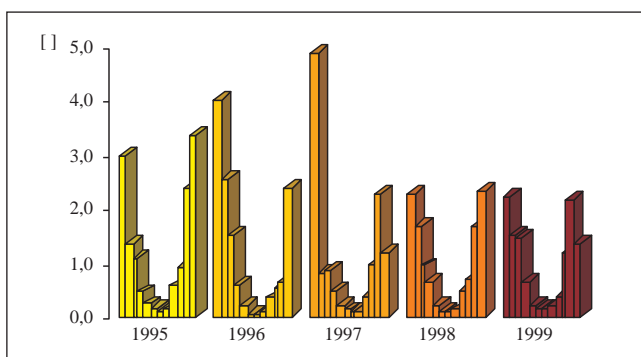


Abb. 13: Mittlerer Jahrgang für B[a]P an den sächsischen Stationen im Zeitraum 1995 – 1998

## Zusammenfassung und Fazit

Die vorliegenden Daten aus den Jahren 1995 bis 1999 zeigen, dass auch in Sachsen alle möglicherweise für die gesundheitsschädlichen Eigenschaften von Partikeln verantwortlichen Parameter überwiegend mit feinen Partikeln assoziiert waren. Vor allem die feinen Partikel der Fraktion  $PM_{2.5}$  wiesen erheblich über ihren Anteil an der Partikelmassenkonzentration hinausgehende Anteile an verschiedenen Schwermetallen und an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen mit fünf oder mehr kondensierten Ringen auf.

Darüber hinaus wurde bei einer orientierenden Messkampagne im Winter 1998 festgestellt, dass an einem städtischen, stark verkehrsbeeinflussten Standort in Chemnitz nahezu die

gesamte Partikelanzahlkonzentration (und damit auch -oberfläche) im Korngrößenbereich  $PM_1$  vorlag.

Daten aus Sachsen und aus Böhmen zeigen, dass bereits 1998 der 2005 in Kraft tretende Grenzwert für die chronische Belastung mit  $PM_{10}$ -Partikeln weitgehend eingehalten wurde. Ein etwas anderes Bild ergab sich hinsichtlich der akuten Belastung mit Partikeln: 1998 wurde der Grenzwert für die Überschreitungshäufigkeit des Tagesmittelwertes von  $50 \mu g/m^3$  an sieben von acht und 1999 an drei von 16 Stationen überschritten.

Die Belastung mit Partikeln und Inhaltsstoffen ist, was die Einhaltung von Grenzwerten betrifft, ein Problem der Ballungsräume. Die weitere Entwicklung hängt daher zum einen ganz wesentlich von der Entwicklung der Emissionen bei den Quellgruppen Verkehr und Hausbrand ab. Zum anderen werden in den kommenden Jahren europäische Standards für zusätzliche Komponenten festgelegt werden, deren absolutes Niveau die Anforderungen an die Luftreinhaltung ebenfalls mitbestimmen wird.

## Literatur:

- CHMI (1996): Znečištění ovzduší a chemické složení srážek na území České republiky včetně doprovodných meteorologických dat. Souhrnný roční tabelární přehled.
- CHMI (1997): Air Pollution and Atmospheric Deposition in Data.
- CHMI (1998): Air Pollution and Atmospheric Deposition in Data.
- LAI (1992): Länderausschuß für Immissionsschutz: Beurteilungsmaßstäbe für krebserzeugende Luftverunreinigungen. *Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW.*
- LENZEN T., KUHNBUSCH T., JOHN A. UND FISSAN H. (1999): Anzahlgrößenverteilungen von Partikeln in einem Sächsischen Ballungsraum. *Endbericht des Fachgebietes Prozess- und Aerosolmesstechnik der Universität Duisburg zum Forschungsprojekt im Auftrag des Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.*
- MASCLÉ P., PISTIKOPOULOS P. UND MOUVIER G. (1990): A Receptor Modell Adapted to Reactive Species - Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; Evaluation of Source Contributions in an open Urban Site- I. Particle Compounds. *Atmos. Environ.* **24A**, 1189-1197.

## Ergebnisse und Zusammenfassung

Heinz Gräfe

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden

Nach vierjähriger Laufzeit und viel Engagement aller Beteiligten lassen sich folgende Ergebnisse festhalten:

- Die Emissionsbelastung im Untersuchungsgebiet hat sich verringert, ebenso die Emissionsstruktur. Zwar sind die Braunkohlekraftwerke aufgrund ihrer Häufung nach wie vor der bestimmende Emissionsfaktor im Dreiländereck, jedoch haben die Quellgruppen Verkehr und Industrie an Bedeutung gewonnen. Der Hausbrand ist nur noch bei der Staubbelastung und den NMVOC-Emissionen eine relevante Größe.
- Hinsichtlich der diskutierten Emissionshöchstgrenzen für  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$  ist festzustellen, dass die Zwischenziele für das Jahr 2000 im Schwarzen Dreieck erreicht werden. Ob die Zielvorgaben des Jahres 2010 erreichbar sind (je nach Komponente ist nochmals eine Reduzierung um bis zu 65 % vorgesehen) erscheint allerdings zweifelhaft.
- Die Azidität im Niederschlag nimmt mit dem Jahr 1996 deutlich ab. Die Befürchtung, dass durch die Anstrengung der polnischen und tschechischen Luftreinhaltepolitik, ähnlich wie in Ostdeutschland, der Versauerungsschub der Jahre 1993–1995 paradoxerweise verstärkt würde, hat sich erfreulicherweise nicht bestätigt.
- Die Ionenkonzentrationen des Niederschlagswassers im Untersuchungsraum hat sich zwischen 1990 und 1999 stark verändert. Die Gesamtbelastung ist erheblich zurückgegangen. Die  $\text{Ca}^{2+}$ - und  $\text{Mg}^{2+}$ - bzw.  $\text{SO}_4^{2-}$  und  $\text{Cl}^-$ -Konzentrationen weisen dabei die stärksten Veränderungen auf (Rückgang bis zu 85 % bzw. 78 %).
- Versauerungs- und Eutrophierungsprozesse in Sachsen werden in wachsendem Maße von den Stickstoffkomponenten  $\text{NH}_4^+$  und  $\text{NO}_3^-$  bestimmt, da sich deren prozentualer Anteil an der Ionenkonzentration innerhalb des vergangenen Jahrzehntes von etwa einem Drittel auf etwa die Hälfte erhöhten.
- Aufgrund der gesunkenen Belastung aus dem böhmischen Becken ist ein Smogfrühwarnsystem für den sächsischen Teil des Untersuchungsgebietes nicht mehr relevant. Die Bedeutung für den Einsatz von Sodar in diesem stark gegliederten Gebiet hat sich jedoch gezeigt. Die Sodartechnik in diesem Raum kann sehr gut für den Routinebetrieb der Luftschadstoffüberwachung sowie insbesondere zur Sommersmogvorhersage genutzt werden.
- Für den Immissionseintrag in den Dresdner und Chemnitzer Raum konnten folgende Eintragspfade identifiziert werden: Neben dem Gebiet um den Schwarzenberg und dem Bereich Vejprty-Bärenstein gewinnt der Eintrag über das Obere Elbtal zunehmend an Bedeutung.
- Die Diskussion über die Geruchsereignisse im Erzgebirge wurden auf eine solide fachliche Datenbasis gestellt. Die Modellläufe mit Rückwärtstrajektorien bestätigten den Verdachtsraum Most-Litvinov. Inzwischen sind die Geruchsereignisse selten geworden.
- Die Fluorwasserstoffbelastung ging in der Untersuchungszeit permanent zurück. Die gemessenen Konzentrationen liegen weit unterhalb der Grenzwerte.
- Die  $\text{SO}_2$ -Immissionen haben im Untersuchungszeitraum drastisch abgenommen. Die kritischen Belastungswerte für die Rezeptoren „Waldökosysteme und natürliche Vegetation“ und „Landwirtschaftliche Nutzpflanzen“ werden seit 1998 nicht mehr überschritten. Die Prognose für 2005 ergab, dass der Tagesgrenzwert der neuen EU-Richtlinie zum Schutz der Gesundheit voraussichtlich eingehalten wird.
- Die  $\text{NO}_x$ -Belastung in den Ballungsräumen des Untersuchungsgebietes liegen auch 1999 noch zu hoch und über dem Grenzwert der neuen EU-Richtlinie von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Jahresmittel (ab 2005 einzuhalten).
- Der Grenzwert der Stufe 1 für die chronische Feinstaubbelastung (PM<sub>10</sub>) der neuen EU-Richtlinie (einzuhalten ab 2005) wird ab 1998 weitgehend eingehalten. In Sachsen sind keine Überschreitungen festzustellen, während der Richtgrenzwert der Stufe 2 (gültig ab 2010) deutlich überschritten wird. Dagegen liegt die akute Belastung an verkehrsreichen Standorten in den unter-

# OMKAS

Optimierung emissionsmindernder Maßnahmen bei gleichzeitiger Kontrolle der Aziditäts- und Luftschadstoffentwicklung für die Grenzregionen des FS Sachsen

## TAGUNGSBAND ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG AM 16. MÄRZ 2000 IN DRESDEN

suchten Ballungsräumen an mehr als 35 Tagen über dem Tagesgrenzwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (einzuhalten 2005). Orientierende Messungen an einem städtischen, stark verkehrsbeeinflussten Standort zeigten, dass nahezu die gesamte Partikelanzahlkonzentration im Korngrößenbereich  $1 \mu\text{m}$  (PM1) lag.

Die Prognose für 2005 ergab, dass im sächsischen Teil des Untersuchungsgebietes der Tagesgrenzwert eingehalten wird, während in Nordböhmen noch weitere Sanierungsmaßnahmen notwendig sind.

- Die Belastung mit Feinstaub und Inhaltsstoffen ist fast ausschließlich ein Problem der Ballungsräume und hängt damit auch wesentlich von der Entwicklung der Emissionen bei der Quellgruppe Verkehr ab.
- Gegenläufig dazu ist die Tendenz beim Ozon. Während bei dieser Komponente die Akutbelastung in den letzten Jahren nicht gestiegen ist, erhöht sich die chronische Belastung von Jahr zu Jahr. Sowohl die gegenwärtig gültigen Grenzwerte für Vegetation und Gesundheit als auch die diskutierten Zielwerte für das Jahr 2010 werden außerhalb der Ballungsgebiete flächendeckend überschritten. Die höchsten Überschreitungen sind auf dem Erzgebirgskamm festzustellen. Szenarienrechnungen für 2005 ergaben je nach Vorbelastung eine deutliche Überschreitung des 8-h-Zielgrenzwertes. Offen bleibt bei dieser Prognose die Häufigkeit der Überschreitungen. Im Weiteren ergaben die Modellrechnungen, dass nur europaweite Emissionssenkungen eine Einhaltung des Zielwertes erreichbar erscheinen lassen.
- Die Erfolge der Minderungsstrategien aus ökosystemarer Sicht lassen sich über die Überschreitungsflächen der critical loads noch nicht überzeugend nachweisen. Das liegt vermutlich daran, dass die Modellierung zeit-

lich die ganz aktuellen Sanierungserfolge noch nicht einbezieht sowie an der Tatsache, dass die Ökosysteme sehr viel träger auf Entlastungen reagieren.

- Der zusätzliche Eintrag durch feuchten Niederschlag hinsichtlich der Gesamtdeposition kann in den Höhenlagen des Erzgebirges aufgrund der häufigen Nebeltage die gleiche Größenordnung wie die der nassen Deposition annehmen.
- Auch das Einhalten der nationalen Emissionshöchstgrenzen garantiert noch nicht die Einhaltung der critical loads in Sachsen.
- Unterschiede hinsichtlich der Bezugsgrößen bei den einzelnen Schadstoffkomponenten sind bei den beteiligten Partnern im Untersuchungsgebiet nach wie vor vorhanden. Ebenso unterschiedliche Messtechniken. Dies zeigt sich insbesondere bei den Feinstaubmessungen. Eine Vereinheitlichung wird spätestens durch die geplanten EU-Beitritte geleistet.

OMKAS endet, aber wichtige Fragen bleiben offen. Die Problembereiche Feinstaub, Ozon, Versauerung aber auch die Frage nach dem „Wie?“ hinsichtlich der Erreichung der diskutierten Emissionsobergrenzen sind da zu nennen. Unter der Überschrift „Fit für Europa?“ sollen diese in der abschließenden Podiumsdiskussion diskutiert werden.

All denen, die direkt oder indirekt zum Erfolg von OMKAS beigetragen haben, sei an dieser Stelle noch einmal herzlichst gedankt.

Unser besonderer Dank gilt der EU für die finanzielle Unterstützung und dem SMUL für ideelle und konstruktiv-kritische Begleitung.



Sächsisches  
Landesamt  
für Umwelt  
und Geologie