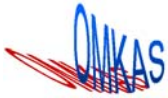


# Nationale und grenzüberschreitende Auswirkungen von Emissionen auf Niederschlagskomponenten in sächsischen Grenzregionen

Erika Brüggemann, Wolfgang Marquardt und Annelie Thomas



Institut für Troposphärenforschung, Permoserstr. 15, D-04318 Leipzig, Germany  
erika@tropos.de



## MOTIVATION

In die Atmosphäre emittierte Schadstoffe können im Wolkenniveau über große Entfernungen transportiert werden, bevor sie durch Niederschläge am Erdboden bzw. auf Vegetation und Bauwerken abgelagert werden. Qualität und Quantität der Niederschlagskomponenten werden von den Emissionen in den Gebieten bestimmt, welche die ausgrenzenden Luftmassen überquert haben. Dabei bestehen enge Ursache-/Wirkungsbeziehungen. Aus entsprechenden Untersuchungen lassen sich, besonders unter Einbeziehung der wesentlichen meteorologischen Einflussfaktoren, sowohl direkte nationale als auch grenzüberschreitende Veränderungen der Emissionen auf die Ablagerung von Schadstoffen durch Niederschläge nachweisen. Es werden Zusammenhänge zwischen den Emissionsgebieten

- Nordböhmisches Industriegebiet (CZ – EzS 53 und 64)
- Neue Bundesländer (nBL (ehemalige DDR) – EzS 51, 61 und H)
- Südwest-Polen (PL – EzS 52 und 62)

und der Konzentration bzw. Deposition von Niederschlagskomponenten untersucht. Zu Vergleichen werden Niederschlagsdaten aus gering belasteten Einzugsgebieten der alten Bundesländer (aBL), speziell von Bayern und Baden-Württemberg, herangezogen.

## METHODEN

Die Untersuchungsmethode basiert auf der Erfassung von Niederschlägen mit Sammelzeiten von vier Stunden und der dreidimensionalen Rückverfolgung der Wegstrecke der vor Ort ausgrenzenden Luftmassen im Wolkenniveau mittels Rückwärts-Trajektorien. Die Probenahme erfolgt automatisch mit sensorgesteuerten wet-only – Sammlern (siehe Abb. 1). Untersucht werden die Leitfähigkeit, der pH-Wert ( $H^+$ -Gehalt = Azidität) und die Hauptkomponenten Sulfat ( $SO_4^{2-}$ ), Nitrat ( $NO_3^-$ ), Chlorid ( $Cl^-$ ), Calcium ( $Ca^{2+}$ ), Ammonium ( $NH_4^+$ ), Natrium ( $Na^+$ ), Kalium ( $K^+$ ) und Magnesium ( $Mg^{2+}$ ). Die Leitfähigkeit und die Ionenbilanz dienen als Plausibilitätskriterium zur Qualitätssicherung der Analyseergebnisse.

Die Probenahmeorte sind die DWD-Stationen Carlsfeld (Westerzgebirge) – seit 1993, Mitteldorf (Ostrand der sächsischen Schweiz) – seit 11/1996 und zu Vergleichszwecken Seehausen (Altmark) – seit 1983. Ausgehend von den Probenahmeorten werden Einzugssektoren (EzS) gebildet, wobei Gebiete mit ähnlicher Emissionscharakteristik bzw. geographische Regionen zusammengefasst werden. Diese EzS können somit Ballungscharakter der früheren DDR (nBL), von Polen, Tschechien sowie für Vergleiche auch relative Reinluftgebiete (vor allem alte Bundesländer) getrennt erfassen (siehe Tab. 1 und Abb. 2)

Tab. 1: Einzugssektoren des Niederschlags in Carlsfeld, Mitteldorf und Seehausen

Sektor	Gebiet	Emissionscharakteristik
CARLSFELD	51 Mitte und Norden der nBL, Raum Halle/Leipzig	schwefelhaltige Braunkohle, Verbrauchsrückgang
	52 Lausitz, Ostsachsen, (Polen)	
	53 Tschechien, Nordböhmen	
	54 aBL, südlich Main und Mosel, Bayern, Baden-Württemberg	
MITTELDORF	61 Norden und Osten der nBL	Braunkohle – Rückgang
	62 Polen	
	63 Tschechien/Nordböhmen	
	64 Baden-Württemberg, Bayern, sächsische Erzgebirgsregion	
SEEHAUSEN	H nBL, (Nordböhmen, Polen)	Industrie, Braunkohle – starker Rückgang
	I aBL, südlich des Ruhrgebietes	
J Ruhrgebiet, Belgien		Steinkohle, Öl, Stein, Braunkohle, Industrie

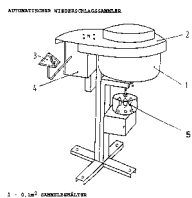


Abb. 1: Wet-only Niederschlagsammler

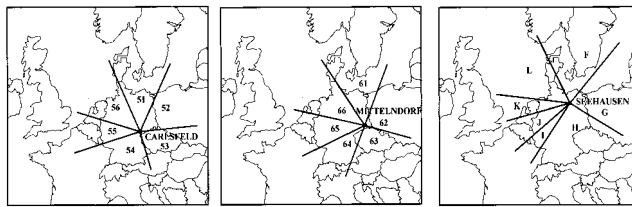


Abb. 2: Probenahmeorte und dazugehörige Einzugssektoren

## ERGEBNISSE

Die sehr hohen  $SO_2$ -Emissionen der früheren DDR (ca. 5-6 Mt bis 1989) führten nicht zu einer auch grenzüberschreitenden erhöhten Versauerung der Niederschläge (siehe Abb. 3 – Azidität), da gleichzeitig große Mengen basisch wirkender Stäube (Flugaschen der Heiz- und Kraftwerke) emittiert wurden. Die nach der Vereinigung begonnene und weitergeführte industrielle Umstellung verursachte Emissionsveränderungen mit negativen Auswirkungen auf die Niederschlagsazidität.

Die Untersuchungen bis 1995 (SANA-Projekt) zeigten, daß die einfachere und schnellere realisierte Verminderung des Staubgehaltes in Ab- und Rauchgasen bei verzögert einsetzenden Entschwefelungsmaßnahmen die Azidität im Niederschlag aus den EzS nBL, CZ und PL drastisch erhöhte.

Die Untersuchungen im Projekt OMKAS sollen zeigen, wie sich der Schadstoffgehalt sowie die Azidität im Niederschlag im Schwarzen Dreieck (Dreieck Sachsen, Tschechien, Polen) bei differenzierten Emissionsminderungsmaßnahmen in den verschiedenen Regionen (nBL, CZ, PL, aBL) entwickelt.

Die Sulfatkonzentration nahm zwar schon 1989 ab (Ausgang bei ca. 290  $\mu\text{eq/l}$  – EzS nBL in Seehausen), aber wesentlich moderater als die Calciumkonzentrationen. Bis 1994 halbierte sich der Sulfatgehalt (ca. 140  $\mu\text{eq/l}$ ) und erreichte erst 1999 eine weitere Halbierung auf ca. 75  $\mu\text{eq/l}$ . 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 um 60%. Generell jedoch ist die Sulfatkonzentration in den Niederschlägen aus den EzS nBL, CZ und PL noch rund doppelt so hoch wie die aus den EzS aBL (54 und I+J), siehe Abb. 3 – Sulfat.

Der Calciumgehalt im Niederschlag nahm bereits unmittelbar nach der industriellen Umwandlung stark ab und war schon 1994 auf etwa 1/3 der Konzentration gefallen. Seitdem schwanken die Gehalte um 40  $\mu\text{eq/l}$  in Seehausen, 12  $\mu\text{eq/l}$  in Carlsfeld bzw. 16  $\mu\text{eq/l}$  in Mitteldorf. Die Konzentration aus dem EzS PL (62) liegt bei 20  $\mu\text{eq/l}$ , siehe Abb. 3 – Calcium.

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 4,34 (entspricht 45  $\mu\text{eq/l}$   $[H^+]$ ). Mit der effektiven Entstaubung der Abgase in den Heiz- und Kraftwerken der nBL in der ersten Hälfte der neunziger Jahre nahm die Versauerung der Niederschläge stark zu (unter  $\text{pH}=4$ ). In Carlsfeld übertraf die Azidität im Niederschlag aus den EzS 51 und 53 diejenige aus den aBL (EzS 54) sogar um das Fünffache. Bis zum Projektende 1999 nahm dann die Azidität wieder deutlich ab und die Mittelwerte sind geringfügig niedriger als vor 1989/1990. Sie betragen jetzt ca. 40  $\mu\text{eq/l}$  für die EzS nBL bzw. PL, 30  $\mu\text{eq/l}$  für die EzS CZ und 10-20  $\mu\text{eq/l}$  für die EzS aBL. Besonders auffällig war die Verminderung der Azidität um reichlich 2/3 innerhalb von nur 2 Jahren – aus den EzS 53 und 63 (CZ – Abnahme des Sulfatgehaltes um 60%), siehe Abb. 3 – Azidität.

Auffällig ist der gegenüber den EzS aBL (54, I+J) etwa doppelt so hohe Nitratgehalt im Niederschlag aus den EzS nBL (51, H), der auch im Zeitraum 1993 bis 1997 über denen aus CZ und PL lag (Abb. 4 – Nitrat).

Stärkeren Schwankungen unterliegt der Ammoniumgehalt im Niederschlag. Allgemein dominiert eine leicht fallende Tendenz. Markant ist ebenfalls, daß die Konzentrationen aus den EzS aBL generell niedriger sind als aus den EzS nBL, CZ und PL (Abb. 4 – Ammonium).

Die nassee Deposition ist das Produkt aus der Konzentration der Komponenten ( $\mu\text{eq/l}$ ) und der jeweiligen Niederschlagsmenge bzw. –höhe ( $\text{l/m}^2$  bzw.  $\text{mm}$ ). Die Niederschlagsmenge kann sowohl von Jahr zu Jahr als auch von EzS zu EzS erheblich schwanken. Im Untersuchungsgebiet fallen im allgemeinen aus den EzS der nBL, CZ und PL wesentlich geringere Niederschlagsmengen an (jeweils nur 1/8 der Jahresniederschlagsmenge), siehe Abb. 5. 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 nur selten und auch nur bis 1996. Die Nassee Deposition aus den EzS aBL, aus welchen ca. 25 bis 40 % des Jahresniederschlags fallen, überwiegt bei der Betrachtung längerer Zeiträume.

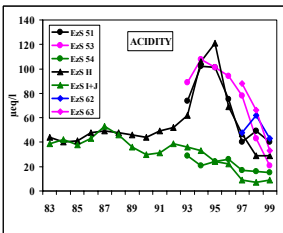
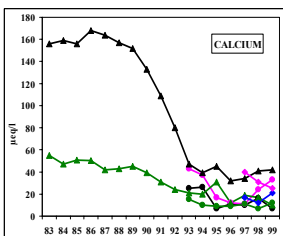
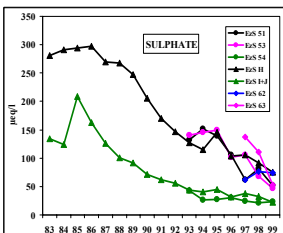


Abb. 3: Mittlere volumen-gewichtete Konzentration von Sulfat, Calcium und der Azidität im Niederschlag der EzS 51 und H (nBL), 53 und 63 (CZ), 62 (PL) bzw. 54 und I+J (aBL).

**Danksgiving**  
Hiermit danken wir dem sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie für die Förderung und Unterstützung dieses Teilprojektes. Außerdem danken wir den Mitarbeitern der Stationen des DWD Carlsfeld, Mitteldorf und Seehausen für ihren verantwortungsvollen Einsatz bei der Sammlung, Lagerung und dem Versand der Niederschlagsproben.

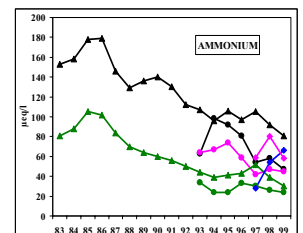
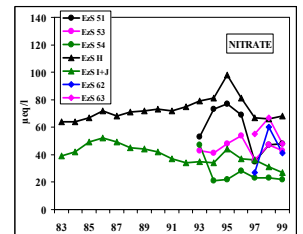


Abb. 4: Mittlere volumen-gewichtete Konzentration von Nitrat und Ammonium im Niederschlag der EzS 51 und H (nBL), 53 und 63 (CZ), 62 (PL) bzw. 54 und I+J (aBL).

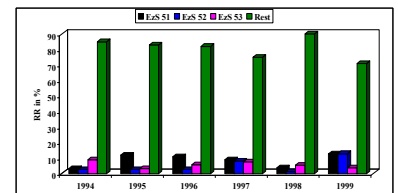


Abb. 5: Anteil der Niederschlagsmengen der EzS 51 (nBL), 52 (PL), 53 (CZ) und der Rest (aBL) an der jährlichen Gesamtniederschlagsmenge in Carlsfeld