

Bedeutung und Messung von Sulfaten im Schwebestaub

J. Satish

Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETH-8092 Zürich

Neuere epidemiologische Untersuchungen über die gesundheitlichen Wirkungen von Luftverunreinigungen, wie z.B. die amerikanische CHES-Studie (1), haben gezeigt, dass die Häufigkeit von Erkrankungen der Atemwege am besten mit dem Vorkommen von Sulfaten im Schwebestaub korreliert. In diesen Studien konnten die hohen Tages- und Jahresdurchschnitte an Sulfatkonzentrationen mit folgenden Parametern in Verbindung gebracht werden:

- erhöhte Frequenz von Asthma-Anfällen
- verschlechterte Symptome der kardio-pulmonalen Patienten
- reduzierte Lungenfunktionen bei Schulkindern
- Symptome für akute und chronische Atemwegkrankungen bei Kindern sowie bei Erwachsenen

Toxikologische Befunde deuten an, dass bestimmte Sulfate - insbesondere die im saurehaltigen Feinstaub - potentiell gefährlichere Reizstoffe sind als Schwefeldioxid.

Neben diesen gesundheitsgefährdenden Wirkungen sind heute noch folgende Aspekte bei Sulfaten zu beachten:

- Sulfate entstehen vor allem durch die Oxidation von Schwefeldioxid (SO_2); bei längerem Aufenthalt von SO_2 in der Luft werden somit mehr Sulfate gebildet. Oft werden Probleme gelöst indem man andere schafft! So reduziert man z.B. beim Bau hoher Kamine zwar die bodennahen Konzentrationen von SO_2 , aber die Sulfatmengen werden dadurch erhöht. Da höhere Kamine längere Aufenthaltszeiten für SO_2 in der Luft verursachen, ermöglichen sie damit erst recht die Oxidation von SO_2 zu Sulfaten.
- Sulfate in Form von Aerosolen im Submikron-Bereich können eine Sichtverminderung verursachen (2). Die Sulfate können auf Grund ihrer stark hygroskopischen Eigenschaften wirksame Kondensationskerne und Wolkenbildner sein und können deshalb weit über die unmittelbare Umgebung ihrer Quelle hinaus klimaverändernd wirken.
- Die Säure-Regen, die in den Industriegebieten der Ostküste der USA sowie auch in Skandinavien festgestellt werden, stehen ebenfalls mit dem Sulfatgehalt der Luft in Zusammenhang. So manifestieren sich die wirtschaftlichen Aspekte der Sulfate als Schäden an Vegetation und Agrikultur, Material und Ökologie (3).
- Auf dem Land betragen die SO_2 -Konzentrationen nur etwa 10 bis 20 % der städtischen Werte. Andererseits sind die Sulfat-Konzentrationen auf dem Land fast von der gleichen Grösse wie die städtischen Werte (4). Dies deutet auf eine weiträumige Verbreitung von Sulfaten hin.
- Der "Erdöl-Schock" vom Winter 1973/74 führte bei allen Industrienationen zu einer Diversifikation punkto Energiequellen. Notwendigerweise führt dies zur vermehrten Benutzung

von hochschwefeligen Brennstoffen - hauptsächlich Kohle. Die hohen Kosten von Entschwefelungsverfahren und SO_2 -Kontrolltechniken erhöhen aber die Wahrscheinlichkeit von höheren Sulfatmissionen (5).

- Wie war der Trend bezüglich SO_2 und Sulfaten in den vergangenen 10 Jahren? Nach den vom Bundesamt für Umweltschutz, BUS, zusammengestellten Immissionsdaten scheinen sich die SO_2 -Immissionen in der Schweiz zu stabilisieren (6). Für die Sulfate lauten die Prognosen eher ungünstig. So haben z.B. mehrere amerikanische Stellen auch eine allgemeine Reduktion von SO_2 in den USA festgestellt, aber nicht für Sulfate (7). Durch den Einsatz von katalytischen Konvertern für Autoabgase wird möglicherweise sogar das Niveau der atmosphärischen Sulfate erhöht (8).

Immissionen in der Stadt Zürich:

Im Rahmen eines interdisziplinären Projektes über Schwebestaub, wurden auch Sulfatbestimmungen durchgeführt. Im folgenden soll ein kurzer Ueberblick über die wichtigsten Messergebnisse gegeben werden. Detaillierte Angaben sind dem ausführlichen Bericht über dieses Projekt zu entnehmen (9).

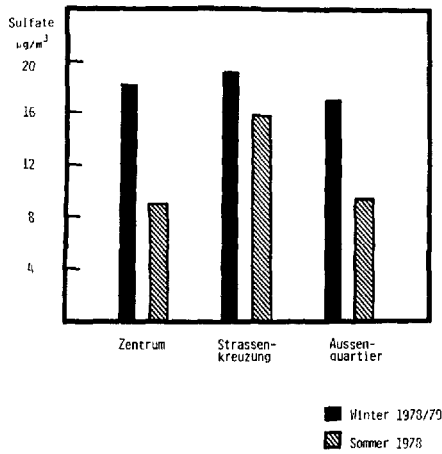
Für die Probenahme wurde der amerikanische "High Volume Sampler" gewählt, welcher auch von der WHO empfohlen wird.

Die Probenahmen fanden an 3 Messstellen in der Stadt Zürich während 2 Messperioden von ca. je 2 Wochen statt (Sommer 1978 und Winter 1978/79). Für die Analyse der Sulfate wurde nach eingehendem Studium der für unsere Untersuchungen in Frage kommenden Bestimmungsmethoden, die sog. "Photometrische Kupferkomplex Methode" gewählt. Dieses spektralphotometrische Spurenverfahren wurde vom Institut für Atmosphärische Umweltforschung, Garmisch-Partenkirchen (BRD), entwickelt und erprobt (10). Nach projektspezifischer Anpassung der Messmethode wurden einige Vergleichsbestimmungen gemacht, welche eine gute Korrelation ($r = 0,98$) ergaben.

Die Sulfatbestimmungen erfolgten in insgesamt 30 Staubproben. In der Abbildung sind die Sommer- und Winter-Werte von 3 Messstellen ersichtlich. Die Winter-Werte waren durchwegs höher als die Sommer-Werte. An der emissionsreichen Messstelle Albisriederplatz waren die Sulfatkonzentrationen am höchsten. Die Einzelwerte lagen zwischen 5 und 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Gesamthaft lag die mittlere Sulfatkonzentration im Schwebestaub bei 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die Elementenanalyse der Staubfraktionen, deren Probenahmen mit dem Andersen Fractionator erfolgten, haben gezeigt, dass der in den Staubproben vorhandene Schwefel vor allem an den Partikeln hafteten, die kleiner als etwa 3 μm sind. Daraus lässt sich ableiten, dass die Sulfate, welche den grössten Teil der Schwefelverbindungen ausmachen, in den lungengängigen Fraktionen vorliegen.

Zur Einstufung der in den Zürcher-Stichproben enthaltenen Werte sei auf die Ergebnisse fol-



gender Untersuchungen hingewiesen:

- STEVENS and DZUBAY (11) haben in einer vergleichbaren amerikanischen Stadt eine Sulfatkonzentration von 10 bis 14 µg/m³ festgestellt.
- Bei einer Sulfatkonzentration von 14 µg/m³ als Mittelwert über ein Jahr, wurde eine erhöhte Verbreitung von chronischer Bronchitis festgestellt (12).
- Bei einem Tagesmittelwert von 25 µg/m³ wurde eine Verschärfung der Herz- und Lungenkrankheiten bei älteren Personen und eine Erhöhung der Mortalität beobachtet (13).

Schlussfolgerung

Wie bei jedem Resultatenvergleich, sind auch hier Vorbehalte anzubringen - insbesondere wegen der unterschiedlichen Probenahmemethodik und Analytik. Dennoch kann man festhalten, dass die gemessenen Sulfatkonzentrationen in einem Bereich liegen, wo sie auf keinen Fall vernachlässigt werden dürfen. Dies um so mehr, als die Sulfate im Schwebstaub erwiesenermassen ein gesundheitsschädigendes Potential besitzen.

Résumé

Dans les études toxicologiques et épidémiologiques de ces derniers temps, des effets frappants sur la santé ont été associés à l'exposition à la poussière respirable. Non pas seulement le SO₂, mais aussi les aérosols de sulfates paraissent être un problème de santé publique de grande importance. Dans un projet interdisciplinaire sur la mesure de poussière, les aérosols de sulfates ont également été mesurés dans l'atmosphère de la ville de Zurich. Pour l'échantillonnage on a utilisé High Volume Sampler, et pour l'analyse de sulfate une méthode photométrique avec complexe de cuivre. Les échantillons, prélevés au hasard en 3 lieux de mesure pendant 2 périodes montrent une concentration de sulfate dans le domaine de 5 à 23 µg/m³ et la grande moyenne de 16 µg/m³. Avec les connaissances actuelles sur le sulfate et d'après les résultats indiqués, on ne peut pas ignorer le problème de sulfate.

Summary

In recent toxicological and epidemiological studies observable health effects have been associated with exposure to respirable particles. Atmospheric sulfate aerosols, rather than SO₂ alone, seem to be representing a major public health problem. In an interdisciplinary project on particulate matter, atmospheric sulfates were also measured in the ambient air of Zurich. Sampling was performed with High Volume Sampler and for the analysis of sulfates

the so called photometric copper complex method was used. Random samples taken at 3 stations during 2 sampling periods showed sulfate concentrations in the range of 5 to 23 µg/m³, the overall average being 16 µg/m³. In the light of present knowledge and the concentrations measured, the problem of sulfates cannot be ignored.

Literatur

1. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Research Triangle Park: Position paper on regulation of atmospheric sulfates (1975)
2. BARNES, R.A.: The long range transport of air pollution - a review of European experience. *Journal of Air Poll. Control Assoc.* 29 (12): 1219-1235 (1979).
3. LIKENS, G.E.: Acid precipitation, *Chem. Eng. News* 54 (48): 29-44 (1976).
4. ALTSCHULLER, A.P.: Regional transport and transformation of SO₂ to sulfate in U.S., *J. of Air Poll. Control Assoc.* 26 (4): 318-324 (1976)
5. LIOY, P.J. and KNEIP, T.J.: Aerosols: Anthropogenic and natural sources and transport, *Journal of Air Poll. Control Assoc.* 30 (4): 358-361 (1980)
6. Eidg. Amt für UMWELTSCHUTZ, Bern: Schwefeldioxi- ihre Bedeutung als Luftfremdstoff (1977).
7. ENGDahl, R.P.: A critical review of regulations for the control of SO₂ emissions, *Journal of Air Poll. Control Assoc.* 23 (5): 364-475 (1973)
8. STERN, A.C.: Air Quality standards-implementation and significance, Vortrag gehalten an der Fachtagung Pro Aqua - Pro Vita, Basel (1977).
9. SATISH, J., BONANI, G., WANNER, H.U., WOELFLI, W.: Chemische und physikalische Analyse des Schwebstaubes unter besonderer Berücksichtigung der atembaren Fraktionen. Schlussbericht eines ETH-Forschungsprojektes (1980)
10. POETZL, K.: Zur chemischen Analyse atmosphärischer Aerosole, Institut für Atmosphärische Umweltforschung, Garmisch-Partenkirchen (1974)
11. STEVENS, R.K. and DZUBAY, T.G.: Sampling and analysis of atmospheric sulfates and related species, *Atmospheric Environment* 12: 55-68 (1978)
12. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, RESEARCH TRIANGLE PARK: Health consequences of sulfur oxides: A report from CHES (1974)
13. EMBER, L.: The spectre of cancer, *Environmental Science & Technology* 9 (13): 1116-1121 (1975)

Verdankungen

Herrn K. Pötzl vom Institut für Atmosphärische Umweltforschung, Garmisch-Partenkirchen, sei an dieser Stelle für seine entgegenkommende Unterstützung, Frau E. Scholz für ihre sorgfältige Durchführung der Analysen, und Herrn PD Dr. H.U. Wanner für seine wertvolle Initiative und Diskussion gedankt.

Adresse

J. Satish, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETH-8092 Zürich