

1 Einleitung

1.1 Verschmutzung von Luft, Wasser und Boden

Die ökologischen Probleme der Erde werden durch die Abgabe von Schadstoffen und deren Transport in der Luft verursacht: die Versauerung von Seen, tiefgreifende Waldschäden, die Zerstörung der Ozonschicht und die negative Auswirkung des Treibhauseffektes mit der möglichen Folge der Klimaerwärmung.

Die weiträumige Ausbreitung von Schadstoffen hat die Ursachen und Zusammenhänge lange nicht bewusst werden lassen. Großbritannien etwa, das aufgrund seiner Insellage und der vorherrschenden Westwinde kaum von saurem Regen betroffen ist, exportiert den größten Teil seines Schwefeldioxid-Ausstoßes nach Skandinavien und schädigt dort die Seen².

Auch die Bundesrepublik entledigt sich etwa der Hälfte ihrer Schwefeldioxid-Abgase durch die Luft nach Nord- und Osteuropa, empfängt aber im gleichen Maße sauren Regen von seinen westlichen und östlichen Nachbarn.

Luftchemische Umwandlungen von Spurenstoffen finden während ihres ganzen Weges durch die Atmosphäre statt. Die Luftchemie lässt sich in die folgende Kausalkette einordnen:

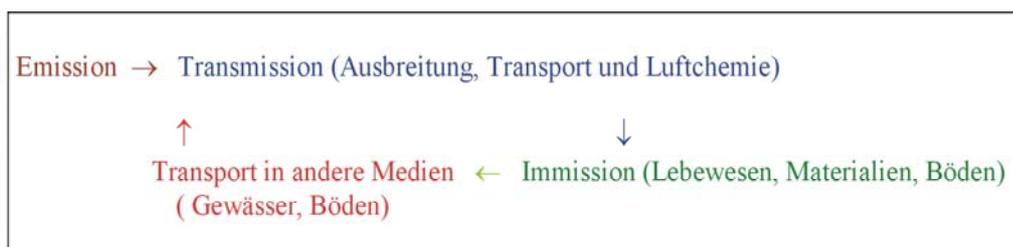


Abb. 1-1: Kreislauf der Schadstoffemissionen

Die Transmission beginnt an der Austrittsöffnung für die Emissionen (Schornstein, Auspuff, Lecks usw.) und endet an der einige Millimeter dünnen, laminaren Luftschicht über der Oberfläche eines Rezeptors (Mensch, Tier, Pflanzen, Böden, Ökosysteme und Materialien).

Die Untersuchung luftchemischer Vorgänge muss sich an der Menge und der Bedeutung der Emissionen orientieren. Der Luftchemiker muss sich dabei über die Entstehung von Folgeprodukten aus ursächlich emittierten Stoffen Klarheit

verschaffen, wobei solche Faktoren, wie Sonnenstrahlung, Feuchtigkeit und meteorologische Bedingungen in eine differenzierte Schadstoffbewertung einbezogen werden müssen. Die Anreicherung von Spurenstoffen in bestimmten Schichten der Atmosphäre wird durch ganz bestimmte Massenflüsse der Emittenten bewirkt. Diese sind wiederum sehr stark von jahres- und tageszeitlichen Faktoren abhängig³.

Dies bedeutet letztlich, dass zur Bewertung der Emission eines Elementes oder einer Verbindung der atmosphärische, hydrologische und geochemische Kreislauf betrachtet werden muss. Ein erster Schritt hierzu ist die genaue Untersuchung luftchemischer Umwandlungen möglichst vieler anthropogener Emissionen.

Daher muss auf die sorgfältige, erschöpfende Spurenanalyse besonderen Wert gelegt werden.

1.2 Die Verunreinigung der Luft durch Metalle

Die Verunreinigungen der Luft durch Metalle geschieht in Form von Stäuben, Dämpfen, Aerosolen und Flugaschen. Etwa die Hälfte der Staubmasse entstammt verschiedenen Verbrennungsprozessen in industriellen, energieerzeugenden und häuslichen Feuerungen, sowie auch aus Kraftfahrzeugen. Die Zusammensetzung der Stäube hängt erheblich von der Art der Feuerung und der Brennstoffe ab.

Die andere Hälfte der Staubemissionen verteilt sich auf branchen- bzw. anlagenspezifische Staubklassen wie Kohlenstäube, Stäube der Steine und Erden, Schlackenstäube, leichtmetallhaltige Stäube (z.B. CaCO_3 , MgCO_3 , CaO , SiO_2), schwermetallhaltige Stäube (elementar oder als Oxide, Chloride, Sulfide, Sulfate von Fe, Pb, Zn, Cd, Cu, Cr, Mn, Sn, V, Co).

Einigen Schwermetallen, vor allem Mangan, wird eine katalytische Wirkung bei der SO_2 -Oxidation an Aerosolen zugeschrieben ⁴.

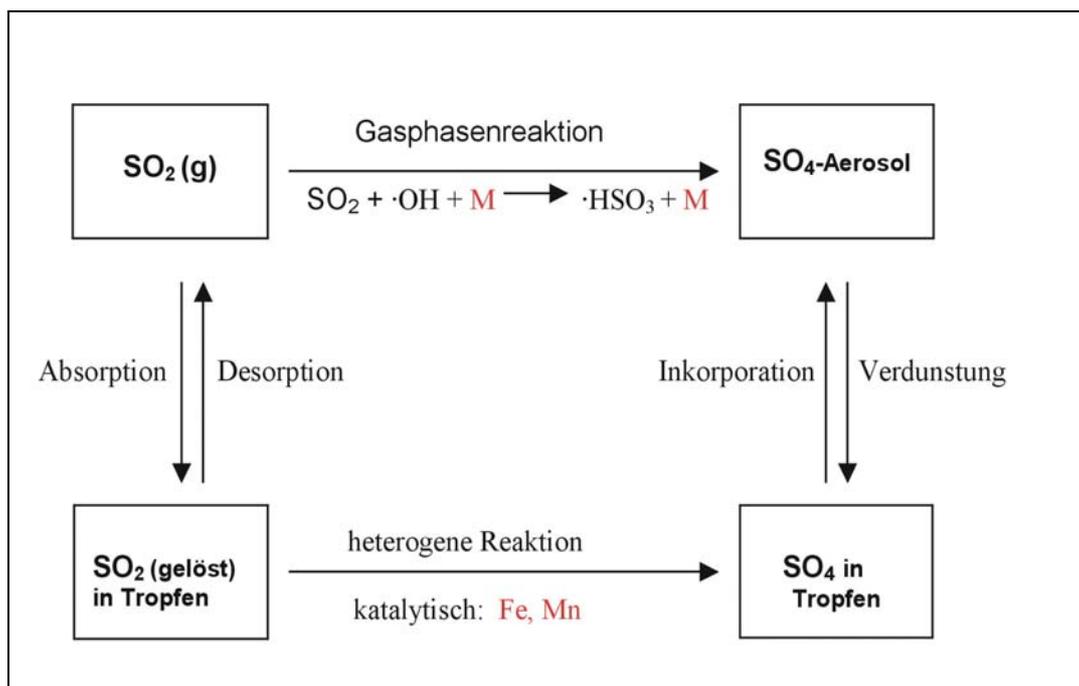


Abb. 1-2: Schematische Darstellung der Oxidation von Schwefeldioxid zu Sulfat mittels schwermetallkatalysierter Prozesse in der Atmosphäre

Der Ablauf solcher Prozesse hängt im starken Maße von der spezifischen atmosphärischen Verweilzeit der einzelnen Schwermetalle ab. Damit ist ihre mittlere Aufenthaltsdauer in der Troposphäre gemeint ⁵.

1.3 Die Selbstreinigung der Luft von gas- und partikelförmigen Verunreinigungen

Unter der Selbstreinigung der Luft von gas- und partikelförmigen Verunreinigungen versteht man den Transfer von Spurenstoffen aus der Atmosphäre zur Erdoberfläche mit Ablagerung am Erdboden an der Vegetation und an Wasseroberflächen.

Die feuchte Deposition entsteht durch chemische Reaktionen, die zu einer Umwandlung der Spurengase bzw. zur Bildung von Aerosolen in Wolken und Niederschlagselementen führen, die mit dem Fall der Tropfen zur Erdoberfläche gelangen. Neben dieser feuchten Deposition stellt die trockene Deposition, d.h. ohne Beteiligung der flüssigen Phase ebenfalls einen wirksamen Selbstreinigungsmechanismus dar. Die Depositionsgeschwindigkeit beschreibt den Fluss des Spurenstoffes zum Erdboden, der bei feuchter und trockener Deposition natürlich von recht unterschiedlichen Parametern abhängt, die hier nicht im einzelnen betrachtet werden sollen. Eine Übersicht über die Größenordnung der mittleren Depositionsgeschwindigkeiten verschiedener Metalle findet sich in Tabelle 1⁶.

Tabelle 1: Depositionsgeschwindigkeiten von Metallen in cm s^{-1}

Schwermetall	absolut	relativ
Pb	$\pm 0,01$	$\pm 18\%$
Ni	$\pm 0,21$	$\pm 32\%$
Cd	$\pm 0,09$	$\pm 40\%$
Co	$\pm 0,14$	$\pm 15\%$
Cr	$\pm 0,5$	$\pm 27\%$
Cu	$\pm 0,63$	$\pm 35\%$
Mn	$\pm 0,06$	$\pm 6\%$
V	$\pm 0,4$	$\pm 50\%$

Die Werte der relativen Standardabweichung für die Depositionsgeschwindigkeit eines jeden Elementes in der Tabelle, resultieren aus kurzzeitigen Schwankungen bei längeren Mess-Perioden aufgrund variabler meteorologischer Bedingungen.

Die feuchte Deposition spielt bei der Beseitigung partikelförmiger Spurenstoffe die Hauptrolle. Sie besteht eigentlich aus zwei Teilschritten, nämlich dem rain out (within-cloud scavening) und dem wash out (below-cloud scavening). Bei ersterem wird die Verschmutzung während der Entstehung und Wachstums eines Wolkentröpfchens eingebunden, welches später als Regen oder Schnee etc., auf die Erde niedergeht. Bei zweiterem wird die Verunreinigung direkt als Niederschlag gefällt und so der Luft entzogen. Dieses geschieht vor allem mit größeren Partikeln, während kleinere Partikel eher als Kondensationskeime wirken können und durch rain out beseitigt werden. Durch trockene Deposition werden vor allem gasförmige Spezies aus der Luft beseitigt. Dieser Prozess verläuft über turbulenten Transport gefolgt von molekularer Diffusion und Adsorption an eine Oberfläche. Für die meisten gasförmigen Metalle und deren Verbindungen, die an Aerosolen gebunden sind, wird die trockene Deposition von Gravitationskräften und Brownscher Diffusion beeinflusst.