

Phasenzusammensetzung von Aerosolen der Industrielandschaft

BERND VOLAND, JENS GÖTZE, Freiberg

Veröffentlichung Nr. 2233 der Sektion Geowissenschaften an der Bergakademie Freiberg

Einleitung

Seit jeher versucht der Mensch, die Schätze der Natur in ihrer Vielfalt zu nutzen, greift dabei aber in immer stärkerem Maße in den natürlichen geochemischen Kreislauf ein. Gerade die Atmosphäre wird seit Beginn der industriellen Revolution durch Energiegewinnung, Verkehr, Abgase u. a. zunehmend belastet. Da im Gegensatz zum natürlichen gogenen Stoffeintrag durch anthropogene Prozesse vor allem viele Schwermetallverbindungen in den Stäuben angereichert werden, müssen sich Geochemiker, Ökologen und Mediziner die Gesetzmäßigkeiten dieser Vorgänge zu eigen machen, um das Ausmaß der verursachten Veränderungen einschätzen und in Grenzen halten zu können.

Bei der Untersuchung der Aerosole muß stets die Komplexität von Stoffeintrag, Ausbreitung und Austrag aus der Atmosphäre bis hin zu Kontaminationsvorgängen in Böden und Wässern beachtet werden. Nur so ist es möglich, die zentrale Stellung der Aerosole gewissermaßen als Gleichgewichtskonstante in diesem atmosphärischen Stoffkreislauf zu verstehen.

Die folgenden Untersuchungs-ergebnisse zeigen, daß Aerosole unterschiedlicher geochemischer Provinzen eindeutig durch ihre spezifische Phasenzusammensetzung, die Elementgehalte und die Korngrößencharakteristik klassifiziert werden können.

Quellen der Aerosole

Die Emissionsquellen der Aerosole spielen eine wesentliche Rolle für ihre Zusammensetzung und ihr Ausbreitungsverhalten in der Atmosphäre. Es sind die zwei großen Gruppen

natürlicher (geogener) und anthropogener (technogener) Stoffquellen zu unterscheiden. Die natürliche Stoffproduktion rührt im wesentlichen aus kontinentalem Staubfluß, vulkanischer Tätigkeit, natürlichem Waldbrand, See-Aerosolen und der Tätigkeit von Pflanzen her. Die technogenen Quellen sind vor allem die industriellen Prozesse, die Energieerzeugung, der Verkehr und Kleinverbraucher wie Hausbrand und Gewerbe. Um die Anteile der einzelnen Emittenten am Gesamtstaubaufkommen abschätzen zu können, stellte NATUSCH (1982) die Massenflußemission der Partikel von natürlichen und anthropogenen Quellen gegenüber (Tab. 1).

Obwohl die natürlichen Quellen mit 88,7% den größten Anteil am Gesamtstaubeintrag stellen, sind die anthropogenen Quellen vor allem für viele Schadstoffe von entscheidender Bedeutung, da diese mit mehrfacher Konzentration gegenüber den Krustenstäuben angereichert sind. Am deutlichsten wird das anhand des anthropogenen Interferenzfaktors, der das Verhältnis des anthropogenen zum natürlichen Eintrag eines Elementes in die Atmosphäre kennzeichnet. Als Beispiel seien hier die beiden Elemente Aluminium und Blei angeführt. Al mit einem anthropogenen Interferenzfaktor von 0,147 stellt ein typisch lithophiles Element dar, während Pb mit einem Faktor von 344 fast ausschließlich technogener Prozesse entstammt. Somit wird die Elementkonzentration in den Aerosolen maßgeblich durch deren Emissionsquellen bestimmt.

Tab. 1. Massenflußemission der Partikel von natürlichen und anthropogenen Quellen (aus NATUSCH 1982)

| Quelle | natürlich | | anthropogen | |
|-----------------------------------|--------------------|------|--------------------|------|
| | $x \cdot 10^6$ t/a | % | $x \cdot 10^6$ t/a | % |
| primäre Partikelproduktion | | | | |
| Kohlenflugasche | | | 39,7 | 1,4 |
| Eisen-/Stahlindustrie | | | 9,9 | 0,34 |
| nichtfossile Brennstoffe | | | 8,8 | 0,30 |
| Erdölnutzungs | | | 2,2 | 0,08 |
| Müllverbrennung | | | 4,4 | 0,15 |
| Zementindustrie | | | 7,7 | 0,27 |
| Landwirtschaft | | | 11,0 | 0,35 |
| Verschiedenes | | | 17,6 | 0,61 |
| Seesalze | 1102 | 38,3 | | |
| Bodenstaub | 220 | 7,7 | | |
| vulkanisches Material | 4,4 | 0,15 | | |
| Waldbrand | 3,3 | 0,12 | | |
| Summe | 1329,7 | 46,3 | 101,3 | 3,5 |
| Gas-to-particle conversion | | | | |
| Sulfate von H_2S | 225 | 7,8 | | |
| Sulfate von SO_2 | | | 162 | 5,6 |
| Nitrate von NO_x | 476 | 16,6 | 33 | 1,1 |
| Ammonium von NH_3 | 297 | 10,3 | | |
| organische Aerosole | 220 | 7,7 | 30 | 1,1 |
| Summe | 1218 | 42,4 | 225 | 7,8 |
| Gesamt | 2548 | 88,7 | 326 | 11,3 |

Gesamtmassenfluß = $2874 \cdot 10^6$ t/a

Verweilzeit und Transformationsvorgänge der Aerosole in der Atmosphäre

Ein weiteres wichtiges Kriterium für das geochemische Verhalten eines Stoffes in der Atmosphäre ist seine Verweilzeit. Sie kennzeichnet die durchschnittliche Aufenthaltsdauer eines in die Atmosphäre injizierten Stoffes und ist ein Maß dafür, über welche räumliche Distanzen sich der Stoff ausbreiten vermag und wie rasch die Atmosphäre in der Lage ist, ihn wieder abzuschleiden.

Da die Größenverteilung eines schwebstaubgebundenen Stoffes maßgeblich von seinem Dampfdruck bestimmt wird, läßt sich die Verweilzeit mit dem Dampfdruck bzw. dem Schmelz- und Siedepunkt in Verbindung bringen. MÜLLER (1982) zeigte, daß unter mitteleuropäischen Verhältnissen eine lineare Abhängigkeit zwischen der Verweilzeit und dem Volatilitätsprodukt der Elemente besteht (Abb. 1).

Für die Entstehung der Teilchen sind vorwiegend Hochtemperaturprozesse verantwortlich, bei denen die Stoffe größtenteils atomisiert werden. Nicht zersetzte, schwerflüchtige Metalloxide dienen als Kondensationskerne, an deren Oberfläche sich die leichter flüchtigen Metalle bei der

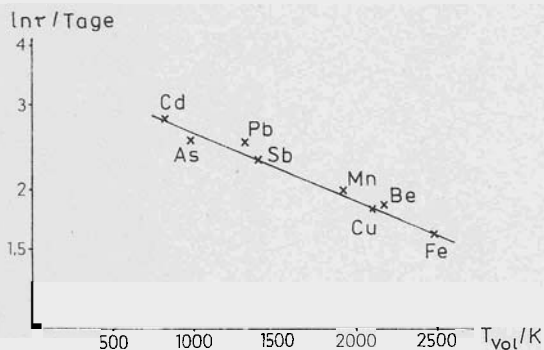


Abb. 1. Zusammenhang zwischen der Volatilitätstemperatur einiger ausgewählter Elemente und ihrer Verweilzeit in der Atmosphäre unter mitteleuropäischen Bedingungen nach MÜLLER 1982

Kondensation anlagern. Vor allem die potentiell toxischen Spurenelemente sind dadurch dort angereichert.

Neben den primären Prozessen der Aerosol-Entstehung läuft in der Atmosphäre eine Reihe von selbsterklärenden Transformationsprozessen ab. Außer der „gas-to-particle conversion“ der organischen Phasen werden andere atmosphärische Spurengase wie SO_2 und NO_x durch homogene Reaktionen in der Gasphase oder heterogene Reaktionen (Oxydation) in wäßrigen Tropfen und an Partikeloberflächen zu Sulfat- und Nitratteilchen umgewandelt (PERSEKE 1982). Viele emittierte Stoffe ändern während des Aufenthaltes in der Atmosphäre ihre chemische Bindungsform und werden unter den oxydierenden Bedingungen und dem SO_2 -Angebot in oxidische und sulfatische Form überführt. So entstehen z. B. bei den Verbrennungsprozessen in Automotoren überwiegend Pb-Halogenide, die erst nach einigen Stunden in Pb-Oxide umgewandelt werden und dann mit SO_2 , Blei-Schwefel-Verbindungen bilden.

Die genannten Prozesse spiegeln sich auch in der Phasenzusammensetzung der Aerosole wider. Durch umfangreiche Untersuchungen der Aerosole mit verschiedenen chemischen Extraktionsverfahren, der quantitativen Röntgenphasenanalyse, der IR-Spektroskopie sowie der Raster-, Transmissions-elektronen- und Polarisationsmikroskopie konnte von den Vff. die Aerosol-Zusammensetzung quantifiziert werden.

Trotz der Vielfalt der bisher in Aerosolen nachgewiesenen Phasen zeigte sich, daß gerade für die Industrielandschaft einige wenige charakteristische Phasen auftreten (Tab. 2).

Für einige Elemente, die in Konzentrationen über 1% vorkommen (Fe, K, Na, Mg), konnten keine kristallinen Phasen nachgewiesen werden. Diese Elemente sind demnach vorwiegend an die röntgenamorphe glasartige Matrix gebunden. Zur Verdeutlichung dieser Aussagen wurden einige Stäube mit dem Raster- und dem Transmissionselektronenmikroskop aufgenommen (Abb. 2 bis 5). Die Bestimmung von speziellen organischen Substanzklassen bzw. Einzelsubstanzen erweist sich als ein äußerst aufwendiges Verfahren, da Hunderte unterschiedliche organische Verbindungen in Aerosolen bekannt sind. In der Analytik werden dabei spezielle Lösungsmittel angewendet, wobei die Auswertung überwiegend chromatographisch erfolgt (KÖNIG 1982).

Während der von den Vff. durchgeführten Untersuchungen wurden mit der IR-Spektroskopie CH_3/CH_2 -, $-COOH$ - und $C-C$ -Gruppen nachgewiesen, die vor allem auf das Vorhandensein von Paraffinen und Karbonsäuren schließen lassen.

Wasser tritt einerseits als Kristallwasser gebunden auf (z. B. in Gips), andererseits wird es aber auch adsorptiv an der Oberfläche der Partikel angelagert. Vor allem in den Feinstkornbereichen ist der Anteil des adsorptiv gebundenen Wassers durch die große spezifische Oberfläche der Teilchen sehr hoch.

Tab. 2. Schwankungsbreiten der wichtigsten Phasen in den untersuchten Aerosolen

| Phase | Konzentrationsbereich, in % |
|---|-----------------------------|
| röntgenamorphe Substanz (gesamt) | 75–90 |
| benzol/methanollösliche organische Fraktion | 16–46 |
| glasartige Matrix | 29–74 |
| kristalline Substanz (gesamt) | 10–25 |
| Gips, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ | 2–11 |
| Kalzit, $CaCO_3$ | 1–7 |
| Quarz, SiO_2 | 2–5 |
| Sillimanit, Al_2SiO_5 | 1–11 |
| Zinkit, ZnO | 0–1 |
| Anglesit, $PbSO_4$ | 0–1 |
| Baryt, $BaSO_4$ | 0–1 |

Tab. 1. Massenflußemission der Partikel von natürlichen und anthropogenen Quellen (aus NATUSCH 1982)

| Quelle | natürlich | | anthropogen | |
|-----------------------------------|--------------------|------|--------------------|------|
| | $x \cdot 10^6$ t/a | % | $x \cdot 10^6$ t/a | % |
| primäre Partikelproduktion | | | | |
| Kohlenflugasche | | | 39,7 | 1,4 |
| Eisen-/Stahlindustrie | | | 9,9 | 0,34 |
| nichtfossile Brennstoffe | | | 8,8 | 0,30 |
| Erdölnutzung | | | 2,2 | 0,08 |
| Müllverbrennung | | | 4,4 | 0,15 |
| Zementindustrie | | | 7,7 | 0,27 |
| Landwirtschaft | | | 11,0 | 0,35 |
| Verschiedenes | | | 17,6 | 0,61 |
| Seesalze | 1102 | 38,3 | | |
| Bodenstaub | 220 | 7,7 | | |
| vulkanisches Material | 4,4 | 0,15 | | |
| Waldbrand | 3,3 | 0,12 | | |
| Summe | 1329,7 | 46,3 | 101,3 | 3,5 |
| Gas-to-particle conversion | | | | |
| Sulfate von H ₂ S | 225 | 7,8 | | |
| Sulfate von SO ₂ | | | 162 | 5,6 |
| Nitrate von NO ₂ | 476 | 16,6 | 33 | 1,1 |
| Ammonium von NH ₃ | 297 | 10,3 | | |
| organische Aerosole | 220 | 7,7 | 30 | 1,1 |
| Summe | 1218 | 42,4 | 225 | 7,8 |
| Gesamt | 2548 | 88,7 | 326 | 11,3 |

Gesamtmassenfluß = 2874 · 10⁶ t/a

Verweilzeit und Transformationsvorgänge der Aerosole in der Atmosphäre

Ein weiteres wichtiges Kriterium für das geochemische Verhalten eines Stoffes in der Atmosphäre ist seine Verweilzeit. Sie kennzeichnet die durchschnittliche Aufenthaltsdauer eines in die Atmosphäre injizierten Stoffes und ist ein Maß dafür, über welche räumliche Distanzen sich der Stoff ausbreiten vermag und wie rasch die Atmosphäre in der Lage ist, ihn wieder abzuschneiden.

Die Größenverteilung eines schwebstaubgebundenen Stoffes maßgeblich von seinem Dampfdruck bestimmt wird, läßt sich die Verweilzeit mit dem Dampfdruck bzw. dem Schmelz- und Siedepunkt in Verbindung bringen. MÜLLER (1982) zeigte, daß unter mitteleuropäischen Verhältnissen eine lineare Abhängigkeit zwischen der Verweilzeit und dem Volatilitätspunkt der Elemente besteht (Abb. 1).

Für die Entstehung der Teilchen sind vorwiegend Hochtemperaturprozesse verantwortlich, bei denen die Stoffe größtenteils atomisiert werden. Nicht zersetzte, schwerflüchtige Metalloxide dienen als Kondensationskerne, an deren Oberfläche sich die leichter flüchtigen Metalle bei der

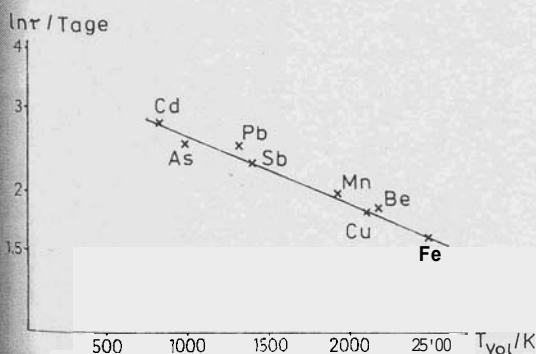


Abb. 1. Zusammenhang zwischen der Volatilitätstemperatur einiger ausgewählter Elemente und ihrer Verweilzeit in der Atmosphäre unter mitteleuropäischen Bedingungen nach MÜLLER 1982

Kondensation anlagern. Vor allem die potentiell toxischen Spurenelemente sind dadurch dort angereichert.

Neben den primären Prozessen der Aerosol-Entstehung läuft in der Atmosphäre eine Reihe von sekundären Transformationsprozessen ab. Außer der „gas-to-particle conversion“ der organischen Phasen werden andere atmosphärische Spurengase wie SO₂ und NO_x durch homogene Reaktionen in der Gasphase oder heterogene Reaktionen (Oxydation) in wässrigen Tropfen und an Partikeloberflächen zu Sulfat- und Nitratteilchen umgewandelt (PERSEKE 1982). Viele emittierte Stoffe ändern während des Aufenthaltes in der Atmosphäre ihre chemische Bindungsform und werden unter den oxydierenden Bedingungen und dem SO₂-Angebot in oxidische und sulfatische Form überführt. So entstehen z. B. bei reinen Verbrennungsprozessen in Automotoren überwiegend Pb-Halogenide, die erst nach einigen Stunden in Pb-Oxide umgewandelt werden und dann mit SO₂ Blei-Schwefel-Verbindungen bilden.

Die genannten Prozesse spiegeln sich auch in der Phasenzusammensetzung der Aerosole wider. Durch umfangreiche Untersuchungen der Aerosole mit verschiedenen chemischen Extraktionsverfahren, der quantitativen Röntgenphasenanalyse, der IR-Spektroskopie sowie der Raster-, Transmissions-elektronen- und Polarisationsmikroskopie konnte von den Vff. die Aerosol-Zusammensetzung quantifiziert werden.

Trotz der Vielfalt der bisher in Aerosolen nachgewiesenen Phasen zeigte sich, daß gerade für die Industrielandschaft einige wenige charakteristische Phasen auftreten (Tab. 2).

Für einige Elemente, die in Konzentrationen über 1% vorkommen (Fe, K, Na, Mg), konnten keine kristallinen Phasen nachgewiesen werden. Diese Elemente sind demnach vorwiegend an die röntgenamorphe glasartige Matrix gebunden. Zur Verfeinerung dieser Aussagen wurden einige Stäube mit dem Raster- und dem Transmissionselektronenmikroskop aufgenommen (Abb. 2 bis 5). Die Bestimmung von speziellen organischen Substanzklassen bzw. Einzelsubstanzen erweist sich als ein äußerst aufwendiges Verfahren, da Hunderte unterschiedliche organische Verbindungen in Aerosolen bekannt sind. In der Analytik werden dabei spezielle Lösungsmittel angewendet, wobei die Auswertung überwiegend chromatographisch erfolgt (KÖNIG 1982).

Während der von den Vff. durchgeführten Untersuchungen wurden mit der IR-Spektroskopie CH₃-/CH₂-, -COOH- und C=C-Gruppen nachgewiesen, die vor allem auf das Vorhandensein von Paraffinen und Karbonsäuren schließen lassen.

Wasser tritt einerseits als Kristallwasser gebunden auf (z. B. in Gips), andererseits wird es aber auch adsorptiv an der Oberfläche der Partikel angelagert. Vor allem in den Feinstaubbereichen ist der Anteil des adsorptiv gebundenen Wassers durch die große spezifische Oberfläche der Teilchen sehr hoch.

Tab. 2. Schwankungsbreiten der wichtigsten Phasen in den untersuchten Aerosolen

| Phase | Konzentrationsbereich, in % |
|--|-----------------------------|
| röntgenamorphe Substanz (gesamt) | 75–90 |
| benzol/methanollösliche organische Fraktion | 16–46 |
| glasartige Matrix | 29–74 |
| kristalline Substanz (gesamt) | 10–25 |
| Gips, CaSO ₄ · 2 H ₂ O | 2–11 |
| Kalzit, CaCO ₃ | 1–7 |
| Quarz, SiO ₂ | 2–5 |
| Sillimanit, Al ₂ SiO ₅ | 1–11 |
| Zinkit, ZnO | 0–1 |
| Anglesit, PbSO ₄ | 0–1 |
| Baryt, BaSO ₄ | 0–1 |

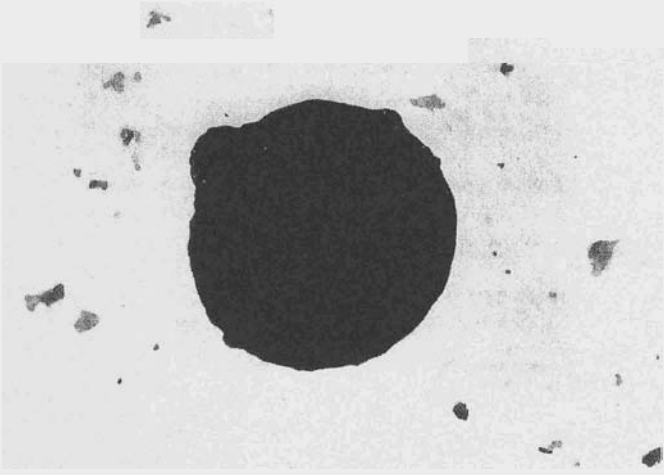


Abb. 2. Schlackekügelchen aus Aerosol
Höhe 120 m; Aufnahme TEM, Vergr. 11 000:1

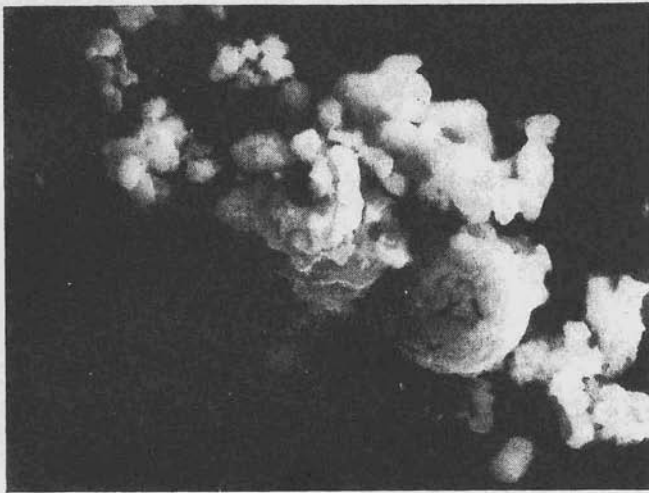


Abb. 3. Agglomerat von Staubpartikeln
Höhe 120 m; Aufnahme REM, Vergr. 1 450:1

Korngrößenfraktionen und Austragsmechanismus der Aerosole

Die obere Korngröße der Aerosole wird im allgemeinen mit $10\ \mu\text{m}$ angegeben. Auch in medizinischer Hinsicht stellt diese Grenze einen wichtigen Bereich dar, da die Partikel über $10\ \mu\text{m}$ für die Lungenresorbierbarkeit relativ unbedenklich sind. Die weitere Unterteilung in Korngrößenklassen wird durch die wichtigsten Austragsformen der Aerosole in der Atmosphäre — Naßabbau, Sedimentation, thermische Diffusion und Impaktion — bedingt, da deren Signifikanz korngrößenabhängig ist.

Teilchen mit Durchmessern zwischen $0,1$ und $2\ \mu\text{m}$ („Anreicherungsmodus“/„accumulation mode“) sind in der Luft besonders langlebig, da sie für die thermische Diffusion bereits zu träge aber für die Sedimentation noch nicht träge genug sind. Sie werden überwiegend durch Naßabbau in der Atmosphäre entfernt und sind deshalb an die Naßverweilzeit der entsprechenden Region gebunden, die nach LIEBACK, BRAUER & RÜDEN (1984) für Mitteleuropa ca. 3,5 Tage beträgt. Bei diesen Teilchen handelt es sich um Partikel aus sekundären Umwandlungsprozessen in der Atmosphäre und aus katalytischen Prozessen (Kondensation nach Verbrennungsvorgängen). Sie enthalten große Anteile an Schwermetallen und höheren Kohlenwasserstoffen und repräsentieren

damit im wesentlichen den anthropogenen Staubanteil. Ihre große Bedeutung beruht darauf, daß sie die größte spezifische Oberfläche haben und durch ihre hohe Verweilzeit den größten Prozentsatz der Gesamtpartikelmasse in der Atmosphäre darstellen.

Im Gegensatz dazu werden Aitkenkerne („Nukleationsmodus“/„nucleation mode“) mit einem Durchmesser unter $0,1\ \mu\text{m}$ und Riesenkerne besser abgedehnt. Teilchen $< 0,1\ \mu\text{m}$ werden auf Grund der heftigen thermischen Diffusion mittels Koagulation und Deposition binnen weniger Stunden abgebaut, wobei die Geschwindigkeit mit abnehmendem Teilchenradius wächst und nach PERSEKE (1982) bis $1\ \text{cm/s}$ erreichen kann. Hierbei handelt es sich meist um Partikel aus Hochtemperatur-Kondensationsprozessen und um sekundäre Reaktionsprodukte organischer und anorganischer Luftverunreinigungen. Wegen ihrer geringen Masse und Verweilzeit spielen diese Teilchen keine Rolle.

Teilchen die größer als $2\ \mu\text{m}$ sind („Grobteilchenmodus“/„coarse mode“), werden durch Sedimentation ebenfalls im Zeitraum von Stunden abgelagert, wobei die Sedimentationsgeschwindigkeit mit wachsender Teilchengröße steigt und bis $2,2\ \text{cm/s}$ beträgt (PERSEKE 1982). Diese Teilchen erreichen deshalb nur eine geringe Ausbreitung um die Emissionsquelle. Sie setzen sich hauptsächlich aus Partikeln natürlicher Verwitterungsprozesse, mechanischem Abrieb, vulkanischer

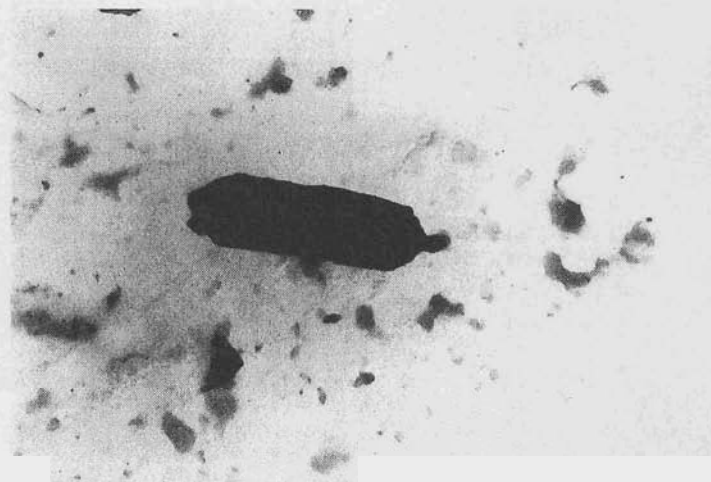


Abb. 4. Anglesitkristall aus Aerosol
Höhe 40 m; Aufnahme TEM, Vergr. 8 000:1

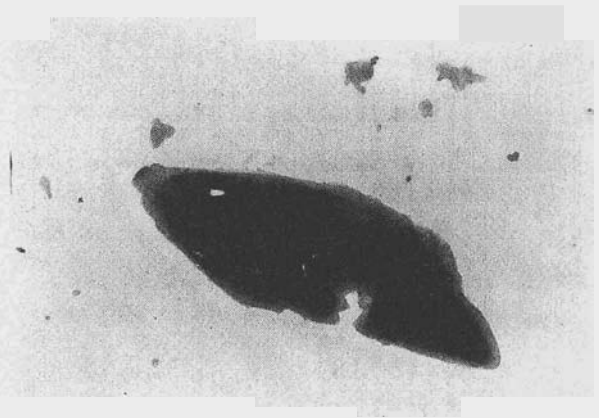


Abb. 5. Gipskristall aus Aerosol
Höhe 80 m; Aufnahme TEM, Vergr. 11 000:1

Tab. 3. Durchschnittliche Korngrößenzusammensetzung untersuchter Aerosole

| Fraktion, in μm | \varnothing -Gehalt, in % | Spannbreit, in % |
|----------------------------|-----------------------------|------------------|
| > 10 | P | 1 - 3 |
| U-10 | 10 | 6 - 15 |
| 2-U | 13 | 9 - 18 |
| Summe > 2 | 25 | 17 - 33 |
| 1-2 | 9 | 7 - 11 |
| < 1 | 66 | 58 - 72 |
| Summe < 2 | 75 | 67 - 83 |

Asche und Stoffen mariner und pflanzlicher Herkunft zusammen. Diese Fraktion repräsentiert somit den Hauptanteil des natürlichen Stoffeintrages in die Atmosphäre.

Der Abbau der Aerosole durch Impaction an der Erdoberfläche ist über den gesamten Teilchenbereich wirksam, er weist für den Größenbereich 0,1 bis 2 μm jedoch ebenfalls ein Minimum auf.

Atmosphärische Spurengase wie SO_2 und NO , sowie deren Oxydationsprodukte H_2SO_4 (Tropfen), Sulfat-Aerosole und Nitrat-Aerosole werden durch Niederschlagsprozesse und trockene Deposition aus der Atmosphäre entfernt. Die organischen Stoffe, die meist als Gasphase emittiert werden, kondensieren oder werden an Partikeln niedergeschlagen oder ausgetragen.

Die prozentuale Massenverteilung der Elemente auf die Korngrößenzusammensetzung weist erhebliche Unterschiede auf. Für Industriegebiete ist ein typischer Anstieg der Elemente der feindispersen Fraktion (Cd, As, Sb, Se, Mo, Cu, Zn) aus technologischen Prozessen zu verzeichnen, während der Anstieg der Gehalte in der Grobfraktion für die Elemente Si, Al, La, Sc, Na und Fe in ländlichen Gebieten auf lithogene Quellen zurückzuführen ist.

Tab. 3 zeigt Untersuchungsergebnisse zur Korngrößenzusammensetzung in von den Vff. untersuchten Aerosolen der Industrie-landschaft. Es wird deutlich, daß im Bereich < 2 μm der Hauptanteil der Partikel mit 75% auftritt.

Zusammenfassung

Die Untersuchungen an Schwebstäuben zeigen, daß im atmosphärischen Stoffkreislauf die Aerosole als eine Art Gleichgewichtskonstante im Fließgleichgewicht zwischen Stoffemission, Ausbreitung und Austrag aus der Atmosphäre eine zentrale Stellung einnehmen.

Ihre Charakterisierung ist durch komplexe Analyse des Phasenbestandes, der Korngrößenzusammensetzung und der Elementgehalte möglich. Als wichtigste Phasen treten eine organische Fraktion und eine röntgenamorphe glasartige Matrix (silikatisch/

oxidisch) auf. Daneben konnten sieben kristalline Substanzen quantitativ nachgewiesen werden.

Der Austragsmechanismus der Aerosole wird im wesentlichen durch die Korngrößenzusammensetzung gesteuert. Das Maximum der Partikelmasse lag bei den untersuchten Stäuben < 2 μm . Durch spezifische Elementassoziationen lassen sich Rückschlüsse auf Emissionsverhältnisse ziehen.

Резюме

Исследования аэрозолей показали, что они занимают центральное место как константа равновесия в атмосферном кругообороте цикла эмиссии, транспорта и отложения. Их оценка возможна с помощью комплексного анализа фазового распределения зерен по фракциям и содержания элементов. Важнейшими фазами являются органическая фракция и рентгеноаморфная стекловидная основная масса (силикатно-окисловая). Кроме того были количественно определены семь кристаллических веществ. Механизм выноса аэрозолей определяется, главным образом, распределением зерен по фракциям. Большинство изученных пылеобразных частиц концентрируется во фракции < 2 мкм. С помощью специфических ассоциаций элементов можно сделать выводы относительно условий эмиссии.

Summary

Investigations show, that aerosols have a central position as a kind of equilibrium constant in the dynamic equilibrium between material emission, transport and immission in the geochemical atmospheric cycle.

This can be characterised with a complex analysis of phases, grain-size distribution and element ratio. The most important phases are an organic fraction and a roentgenamorphous vitreous matrix (silicate/oxide). Beyond this seven crystalline substances have been detected.

The mechanism of immission is mainly influenced by grain-size distribution. Maximum of particle mass is concentrated in the range < 2 μm .

With the help of specific element distributions informations of emission conditions can be obtained.

Literatur

- KÖNIG, J.: Bestimmung organischer Inhaltsstoffe von Stäuben der Außenluft: - VDI-Ber. 429 Schwebstoffe und Stäube - analytische und technische Aspekte, Düsseldorf (1982) S. 235 - 242
- LIEBACK, J. U.; BRAUER, H.-W.; RODEN, H.: Über eine geeignete Korngrößenzusammensetzung von Schwebstäuben aus medizinischer lufthygienischer Sicht. - Staub - Reinhaltung der Luft, Düsseldorf 44 (1984) 6, 221 - 225
- MÜLLER, J.: Größenverteilung und atmosphärische Verweilzeit von schwebstaubgebundenen Stoffen. - VDI-Ber. 429 Schwebstoffe und Stäube - analytische und technische Aspekte, Düsseldorf (1982) S. 231 - 234
- NATSON, D. F. S.: Size distributions and concentrations of trace elements in particulate emissions from industrial sources. - VDI-Ber. 429 Schwebstoffe und Stäube - analytische und technische Aspekte, Düsseldorf (1982) S. 253 - 260
- PERRE, C.: Die trockene und feuchte Deposition säurebildender atmosphärischer Spurenstoffe. - Frankfurt/Main: J. W. Goethe-Universität, Frankfurt, Inaugural-Diss. 1982