



**HERKUNFT UND CHARAKTERISTIK
VON STÄUBEN**



HERKUNFT UND CHARAKTERISTIK VON STÄUBEN

Hassan NEINAVAIE
Herbert PIRKL
Cristina TRIMBACHER

BE-171

Wien, September 2000

Autoren: Cristina Trimbacher (Umweltbundesamt)
Hassan Neinavaie (Fa. Geoöko, Eisenerz)
Herbert Pirkl (Fa. Geoöko, Eisenerz)

Analytik: Rasterelektronenmikroskopie – Umweltbundesamt
Anschliffe – Fa. Geoöko, Eisenerz

Übersetzung: Cristina Trimbacher

Fotoausarbeitung: Bernhard Gröger

Layout: Cristina Trimbacher
Evelyn Neuhold

Impressum:

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt, 1090 Wien, Spittelauer Lände 5

© Umweltbundesamt, Wien, September 2000
Alle Rechte vorbehalten
ISBN 3-85457-553-X

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	i
SUMMARY	iii
1 EINLEITUNG	1
2 URSPRUNG UND ÖKOTOXIKOLOGISCHE RELEVANZ VON PARTIKELN	3
3 UNTERSUCHUNGSMETHODIK	6
3.1 Mineralogische-chemische Phasenanalyse	6
3.1.1 Probenaufbereitung	6
3.1.2 Präparation.....	6
3.1.3 Lichtmikroskopie	7
3.1.4 Qualitative und quantitative Phasenanalytik.....	7
3.2 Analytische Rasterelektronenmikroskopie.....	7
3.2.1 Probenvorbereitung.....	7
3.2.2 Rasterelektronenmikroskopie und energiedispersive Röntgen-Mikroanalyse	8
4 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE DARSTELLUNG ANTHROPOGENER UND TECHNOGENER STAUB- PARTIKEL UND IHRER QUELLEN ANHAND VON BEISPIELEN	9
4.1 Kfz-Verkehr	9
4.2 Kraftwerksanlagen.....	10
4.3 Hausbrand.....	11
4.4 Industrielle Hochtemperaturprozesse.....	11
4.4.1 Calciumferritte als Leitindikatoren	11
4.4.2 Beispiel Eisen- und Stahlerzeugung.....	13
4.4.3 Beispiel Glasindustrie.....	14
4.4.4 Beispiel Zementindustrie und feuerfeste Erzeugnisse.....	14
4.4.4.1 Zementindustrie	14
4.4.4.2 Feuerfeste Gesteine.....	15
4.4.5 Beispiel Verbund- und Sondermetallproduktion	16
4.4.6 Beispiel Nichteisenmetallerzeugung	20
5 SONDERFALL FASERFÖRMIGE PARTIKEL	23
5.1 Natürliche Mineralfasern	23
5.2 Künstliche Mineralfasern	23
6 LITERATUR	24
7 ABBILDUNGSTEIL	29
8 GLOSSAR	56
9 ANHANG	57

I ZUSAMMENFASSUNG

Stäube kommen praktisch überall in der Umwelt vor. Natürliche, geogene Stäube bzw. Staubpartikel werden durch Verwitterung und Transportvorgänge in der Atmosphäre und der Hydrosphäre in alle Umweltmedien verteilt. Eine Reihe von natürlichen Mineralien stellt dabei eine Quelle von Schwermetallen dar.

Weitaus bedeutendere Quellen von Stäuben und im Zusammenhang damit auch von Schwermetallen stellen jedoch anthropogene, technogene Emissionen, wie beispielsweise aus industriellen Prozessen, dem Verkehr, aus Verbrennungsanlagen u.v.a. dar.

Vor allem im Einflußbereich anthropogener Emissionsquellen ist mit erhöhten Partikelimmissionen zu rechnen. Ein entsprechender Wissensstand zur Bewertung dieser Risiken ist nur in einzelnen Fällen vorhanden.

Stäube lassen sich in allen Umweltmedien, vom Schnee bis hin zum Bachsediment nachweisen.

Zur Charakterisierung und Bewertung dieser zumeist sehr kleinen, im Größenbereich von einigen wenigen Mikrometern gelegenen Staubpartikeln haben sich in den letzten Jahren zwei Untersuchungsmethoden etabliert:

- Analytische Rasterelektronenmikroskopie
- Mineralogische-geochemische Phasenanalyse

Da in Österreich zur genannten Thematik bis dato noch keine einschlägigen systematischen Untersuchungen vorliegen, war es Ziel dieser Studie, welche in Kooperation des Umweltbundesamts mit Mitarbeitern einer einschlägig tätigen Firma entstand, typische technogene Staubpartikel von Großemittenten anhand von rasterelektronenmikroskopischen und lichtmikroskopischen Aufnahmen und entsprechenden Elementspektren illustrativ darzustellen.

Beispiele aus folgenden Bereichen sind im Bericht berücksichtigt:

- KFZ-Verkehr
- kalorische Kraftwerksanlagen
- Hausbrand
- Eisen- und Stahlerzeugung
- Glasindustrie
- Zementindustrie
- Herstellung feuerfester Produkte
- Verbund- und Sondermetallproduktion
- Nichteisenmetallerzeugung.

In einem weiteren Kapitel wurde auch auf die Problematik natürlicher und künstlicher faserförmiger Partikel eingegangen.

Eine anschließende, umfangreiche Literaturzusammenschau gibt dem interessierten Leser eine guten Überblick über die zu diesem Thema vorhandene Fachliteratur.

Die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen von Staubpartikeln wurden im Labor des Umweltbundesamts durchgeführt.

Die geochemisch-mineralogischen Phasenuntersuchungen wurden von Mitarbeitern des Kooperationspartners durchgeführt.

Perspektiven

Die beiden Methoden „Analytische Rasterelektronenmikroskopie“ und „Mineralogische-geochemische Phasenanalyse“ ergänzen einander und ermöglichen die Unterscheidung geogener von technogenen Schwermetallquellen. Eine Reihe von Aussagen, wie z.B. der Nachweis und die Beschreibung von technogenen Staubquellen, auch aus unterschiedlichen Produktionsprozessen, sowie Aussagen zum Mobilisierbarkeitsrisiko von Schwermetallen sind allein mit chemischen Mitteln nicht möglich.

Die fachlichen Möglichkeiten und Chancen der Methodenkombination, die in der vorliegenden Studie vorgestellt und herausgearbeitet wurden, sollen anregen, dieses Methodenset zum Standard bei Standortbewertungen, Umweltverträglichkeitsuntersuchungen und Monitoringprogrammen einzusetzen.

SUMMARY

Dust particles are found ubiquitous in the environment. Due to erosion and transport processes in the atmosphere and hydrosphere of the Earth, natural mineral dusts and dust particles respectively, are dispersed in all environmental compartments. Moreover, numerous minerals represent sources of heavy metals.

More significant sources of dust particles as well as heavy metals are anthropogenous, technogenous emissions, as e.g. from industrial processes, road transport and all other kinds of combustion furnaces.

Especially in the proximity of anthropogenous emission sources elevated ambient air concentrations of particulate matter can be expected. Only in single cases, the appropriate knowledge for a risk assessment is existing.

Dust particles can be indicated in all environmental compartments, reaching from snow to river sediments.

For the characterization and assessment of these most often very small dust particles with an aerodynamic diameter of some microns, two methods have been established in the last years:

- Analytical Scanning Electron Microscopy
- Mineralogical- Geochemical Phase Analysis

To date, pertinent systematical studies on this topic are still missing for Austria. Therefore, the aim of the present study, that has been carried out in co-operation of the Federal Environment Agency Austria with a private institute, specialized on mineralogical and geochemical investigations, was to give a survey of the most common and typical technogenous particle types using scanning electron micrographs, light microscopical pictures and element spectra.

The examples given in the study covered characteristic particles for the following sources:

- road traffic
- thermal power plants
- domestic furnaces
- iron and steel production
- glas industry
- cement plants
- production of refractory bricks
- ply metal and special metal production
- non-iron metal production.

A further chapter focused on fibrous particles, such as asbestos and man made mineral fibres.

The enclosed summary of relevant literature gives a good survey of the available pertinent studies in this field.

All scanning electron microscopical investigations were performed in the laboratories of the Federal Environment Agency Austria. All geochemical-mineralogical phase analyses were carried out by members of the co-operation partner.

Perspectives

Both methods, the „Analytical Scanning Electron Microscopy“ and the „Mineralogical- Geochemical Phase Analysis“ are supplementary, thus allowing the distinction between natural and technogenous particle sources as well as the indication and description of technogenous particle sources, e.g., various production processes. Statements on the mobilization risk of heavy metals also become possible. Most of these results would not be obtained by chemical analysis.

As demonstrated in this study, the abilities and chances of this methodical combination shall suggest to continue its implementation as a standard investigation in environmental impact assessment and monitoring programmes.

1 EINLEITUNG

Stäube kommen praktisch überall in der Umwelt vor. Natürliche, geogene Stäube bzw. Staubpartikel werden durch Verwitterung und Transportvorgänge in der Atmosphäre und der Hydrosphäre in alle Umweltmedien verteilt. Eine Reihe von natürlichen Mineralien stellt dabei eine Quelle von Schwermetallen dar.

Weitaus bedeutendere Quellen von Stäuben und im Zusammenhang damit auch von Schwermetallen stellen jedoch anthropogene, technogene Emissionen, wie beispielsweise aus industriellen Prozessen, dem Verkehr, aus Verbrennungsanlagen u.v.a. dar.

Vor allem im Einflußbereich anthropogener Emissionsquellen ist mit erhöhten Partikelimmissionen zu rechnen. Ein entsprechender Wissensstand zur Bewertung dieser Risiken ist nur in einzelnen Fällen vorhanden.

Stäube lassen sich in allen Umweltmedien, vom Schnee bis hin zum Bachsediment nachweisen.

Zur Charakterisierung und Bewertung dieser zumeist sehr kleinen, im Größenbereich von einigen wenigen Mikrometern gelegenen Staubpartikeln haben sich in den letzten Jahren in Österreich zwei Untersuchungsmethoden etabliert:

- Analytische Rasterelektronenmikroskopie
- Mineralogische-geochemische Phasenanalyse

Beide Methoden ergänzen einander und ermöglichen die Trennung geogener von technogenen Schwermetallquellen sowie den Nachweis und die Beschreibung von technogenen Staubquellen, z.B., unterschiedliche Produktionsprozesse. Aussagen zum Mobilisierbarkeitsrisiko von Schwermetallen können ebenfalls getroffen werden.

1.1. Zielsetzung

Da in Österreich zur genannten Thematik bis dato noch keine einschlägigen systematischen Untersuchungen vorliegen, ist es Ziel dieser Studie, welche in Kooperation des Umweltbundesamts mit Mitarbeitern einer einschlägig tätigen Firma in Österreich entstehen soll, typische technogene Staubpartikel anhand von rasterelektronenmikroskopischen und lichtmikroskopischen Aufnahmen und entsprechenden Elementspektren illustrativ darzustellen.

Die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen von Staubpartikeln werden im Labor des Umweltbundesamts durchgeführt.

Die geochemisch-mineralogischen Phasenuntersuchungen werden von Mitarbeitern des Kooperationspartners durchgeführt.

Der vorliegende Bericht ist folgendermaßen gegliedert:

Ein einführendes Kapitel soll anhand einer Literaturlauswertung einen kurzen allgemeinen Überblick über Emissionsquellen von natürlichen und anthropogenen Stäuben geben. Weiters werden mögliche Auswirkungen von staubförmigen Immissionen auf Mensch und Umwelt dargestellt.

Jene Untersuchungsmethoden, welche zur Charakterisierung und Bewertung der Staubpartikel angewendet werden, sollen vorgestellt werden.

Im Anschluss daran werden die eigenen Untersuchungsergebnisse, geordnet nach Emissionsquellen (KFZ-Verkehr, Kraftwerksanlagen, Hausbrand, industrielle Hochtemperaturprozesse wie Eisen- und Stahlerzeugung, Glasindustrie, Zementindustrie, Feurfeste Gesteine, Verbund- und Sondermetallproduktion, Nichteisenmetallerzeugung), anhand von rasterelektronischen Aufnahmen, Elementspektren und lichtmikroskopischen Anschlifffotos von typischen Staubpartikeln bzw. Staubphasen präsentiert. Soweit vorhanden, finden sich auch bei den einzelnen Emissionsquellen umweltrelevante Hinweise aus der Literatur.

In einem abschließenden Kapitel soll auch auf die Problematik natürlicher (Stichwort „Asbest“) und künstlicher faserförmiger Partikel eingegangen werden.

2 URSPRUNG UND ÖKOTOXIKOLOGISCHE RELEVANZ VON PARTIKELN

Das gegenständliche Kapitel gibt einen kurzen allgemeinen Überblick über Emissionsquellen von natürlichen und anthropogenen Stäuben. Weiters werden mögliche Auswirkungen von staubförmigen Immissionen auf Mensch und Umwelt dargestellt.

Natürliche Mineralien befinden sich überall an der Erdoberfläche. Sie sind Gesteinsbildner und Hauptbestandteile von Böden. So enthalten die Troposphäre und die Hydrosphäre der Erde als Folge von Witterungseinflüssen und Erosion unterschiedliche Mengen von geogenen Staubpartikeln (KLEIN, 1993). Diese natürlichen Stäube liegen durchschnittlich im Größenbereich von 0,1 bis 30 µm und sie bestehen im wesentlichen aus mineralischen Staubpartikeln, aus vulkanischen Aschen und Stäuben, aus salzhaltigen Aerosolen und biologischem Material (Tab. 1).

Tab. 1: Natürliche Emissionsquellen von Partikeln

Emissionsquellen partikulärer Aerosole (IPCC, 1996)	
Quellen	Flux in Mt/Jahr
<i>Primär</i>	
Mineralische Stäube (Gestein, Boden)	1500
Salzhaltige Aerosole	1300
Vulkanische Aschen bzw. Stäube	33
Biologisches Material	50
<i>Sekundär</i>	
Sulphate von natürlichen Vorläufern, z.B.: (NH ₄) ₂ SO ₄	102
Organisches Material von biogenen VOCs	55
Nitrate von NO _x	22
<i>gesamt</i>	3060

Eine Vielzahl von natürlichen Mineralien wird aufgrund ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften in Industrie und Haushalt verwendet. Die industrielle Verwendung von natürlichen Mineralien (und ihrer synthetischen Analoga) reicht von Schleifmitteln, Pharmazeutika, Katalysatoren, Ionen-Austauschern, Molekularsieben über Keramiken, Füllstoffe, Baumaterialien bis hin zu Isolierungen und Pigmenten (GUTHRIE & MOSSMAN, 1993). Als logische Konsequenz daraus ist der Mensch einer ständigen Exposition von Mineralien bzw. mineralischen Stäuben ausgesetzt.

Natürliche Mineralien stellen ebenso eine Quelle von Schwermetallen dar. Einige Beispiele aus eigenen Untersuchungen (NEINAVAIE, 1989 - 1999) für schwermetallführende, vor allem Chrom- und Nickel-hältige geogene Partikel sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt (Tab. 2).

Eine weitaus bedeutendere Quelle partikulärer Belastung der Atmosphäre stellen jedoch heutzutage technogene Emissionsquellen dar, wie beispielsweise Kraftwerke, Kleinfeuerungsanlagen, Industrieanlagen oder der Kraftfahrzeugverkehr, bei denen in Abhängigkeit von der jeweiligen Technologie und Art der Verbrennung unterschiedliche und zum Teil quellspezifische Partikel in die Außenluft gelangen (Tab. 3). Oft beinhalten staubförmige Immissionen auch technogene, schwermetallführende Phasen, die sich nicht nur negativ auf die menschliche Gesundheit auswirken können, sondern auch zu erhöhten Schwermetalleinträgen und in weiterer Folge zu Nährstoffungleichgewichten in Ökosystemen führen können.

Tab. 2: Chrom und Nickel als Haupt-, Neben- und Spurenelemente in geogenen Mineralphasen (Hauptelemente unterstrichen)

Geogene Mineralphasen	
Oxide und Hydroxide	
Chromit	<u>Cr</u> , Ni, Zn, V
Chromspinell	<u>Cr</u> , Ni, Zn, V
Chrommagnetit	<u>Cr</u> , Ni, Zn
Rutil	Cr, Zn
Eisen-Manganhydroxid	Cr, Ni, Zn, V, Co
Sulfide	
Arsenkies	Ni, <u>As</u> , Co
Pyrit	Ni, Co
Kupferkies	Ni, <u>Cu</u> , Co
Magnetkies	Ni, Co, Zn
Millerit	<u>Ni</u>
Gersdorffit	<u>Ni</u> , As, Co
Pentlandit	<u>Ni</u> , Co
Silikate	
Chromglimmer (Fuchsit)	Cr, Ni, Zn
Gemeine Hornblende	Cr, Ni
Aktinolith	Ni, Co, Zn
Enstatit	Cr, Ni
Olivin	Cr, Ni
Serpentin	Cr, Ni
Biotit	Ni
Chlorit	Cr, Ni, Zn

Technogenen Partikel werden in Primär- und Sekundärpartikel unterschieden. Primärpartikel werden direkt von einer Quelle emittiert. Dazu zählen beispielsweise Flugaschepartikel, die bei jeder Art von Verbrennungsprozessen und metallurgischen Prozessen freigesetzt werden.

Sekundärpartikel entstehen in der Atmosphäre durch chemische Oxidation von Gasen. Häufige Sekundärpartikel stellen die Sulphate dar, die bei der Oxidation von Schwefeldioxid entstehen sowie Nitrate.

Negative Auswirkungen partikulärer Immissionen auf das Atemwegsystem des Menschen sind durch eine Vielzahl von epidemiologischen Untersuchungen belegt. War man früher der Ansicht, daß in erster Linie die Form (z.B.: Fasern) und Größe der Staubpartikel maßgeblich für deren inhalationstoxikologische Effekte verantwortlich waren, so geht man neuerdings von der Annahme aus, daß Partikel das biologische System primär über ihre Oberflächenbeschaffenheit und ihre chemischen, elektrischen und mechanischen Eigenschaften beeinflussen. Doch es ist unumstritten, daß besonders kleine Partikel im Größenbereich bis zu einem aerodynamischen Durchmesser von maximal 10 μm ein potentielles Gesundheitsrisiko darstellen, da diese Reizungen der Schleimhäute und der Lunge sowie Kanzerogenität bei Mensch und Tier hervorrufen können.

Auch das vermehrte Auftreten von Pollenallergien in luftschadstoffbelasteten Gebieten wird damit in Zusammenhang gebracht, daß an den Pollenkörnern anhaftende Staubpartikel die allergene Wirkung derselben erhöhen (BEHRENDT ET AL., 1992). In Abb. 1 (s. Abb. Teil), einer rasterelektronenmikroskopischen Aufnahme, sind Pollenkörner des Wiesenknauelgrases dargestellt, an denen anhaftende Staubaggregate zu beobachten sind.

Zur Erfassung und Risikoabschätzung partikulärer Schadstoffbelastung liegen mittlerweile zahlreiche Untersuchungen vor, die schwerpunktmäßig in städtischen Ballungsräumen durchgeführt wurden. In vielen Monitoringprogrammen zur Überwachung der Luftgüte wird die PM₁₀-Methode angewendet, die durch einen spezifischen Probenahmekopf, der die menschlichen Atemwege simuliert, hauptsächlich Partikel im inhalationstoxikologisch relevanten Bereich bis zu 10 µm, erfaßt. Allen Probenahme- und Untersuchungsmethoden ist gemeinsam, daß sie fast ausschließlich und zum Teil mit einer methodisch bedingten Unschärfe, die Summe von Schwebestaub erfassen, jedoch eine Differenzierung bzw. Identifizierung von Einzelpartikeln auch aus Kosten- und Zeitgründen nicht erfolgt.

Neuerdings werden auch vermehrt sehr kleine Partikel bis zu einem aerodynamischen Durchmesser von max. 2,5 µm mittels PM_{2,5} erfaßt. Diese feinen Partikel, die durch Kondensation bei Verbrennungsprozessen gebildet werden, weisen lange Aufenthaltszeiten auf und bilden insbesondere in anthropogen belasteten Regionen einen Großteil der Gesamtmenge der in der Atmosphäre dispergierten Partikel (HEINRICHS & BRUMSACK, 1997).

Tab. 3: Anthropogene Emissionsquellen von Partikeln

Emissionsquellen partikulärer Aerosole (IPCC, 1996)	
Quellen	Flux in Mt/Jahr
<i>Primär</i>	
industrielle Stäube	100
Rußpartikel (EC) von fossilen Brennstoffen	8
Rußpartikel aus Biomasseverbrennung	5
<i>Sekundär</i>	
Sulphate von SO ₂ , z.B.: (NH ₄) ₂ SO ₄	140
Biomasseverbrennung	80
Nitrate von NO _x	36
<i>gesamt</i>	370

Die Verweildauer von Partikeln in der unteren Atmosphäre liegt typischerweise bei einigen Tagen. Doch können vor allem jene Partikel, die bei vulkanischen Aktivitäten emittiert werden, die Stratosphäre erreichen und dort eine Verweildauer von mehreren Monaten ja sogar bis zu Jahren aufweisen. Neben der Größe der Partikel sind auch chemische, physikalische und morphologische Eigenschaften, wie etwa die Form (kugelig, plättchenförmig) oder das Gefüge (hohl, massiv) für die atmosphärische Verweildauer von Partikeln mitbestimmend.

Auch die Höhe der Emissionsquelle ist maßgeblich für die Absetzgeschwindigkeit und Flugweite von Staubpartikeln verantwortlich. Bei einer Höhe von rd. 20 m beträgt die durchschnittliche Flugweite eines 10 µm großen Staubteilchens etwa 10 km. Wird ein 10 µm großes Staubteilchen aus einer Höhe von rd. 100 m emittiert, liegt die Flugweite bei etwa 60 km (GUTHMANN, 1958).

3 UNTERSUCHUNGSMETHODIK

Jene beiden Untersuchungstechniken, mit welchen in der vorliegenden Studie Staubpartikel aus unterschiedlichsten Medien, wie Schnee, Sediment, Auflagehumus, Boden, Asche, Schlacke, Haldenmaterial usw. analysiert wurden, werden im folgenden kurz vorgestellt.

Beide Methodensets haben sich in zahlreichen Projekten (z.B., NEINAVAI & PIRKL, 1996; WEISS & TRIMBACHER, 1997) zur Charakterisierung und Quellenzuordnung von Stäuben bewährt.

Je nach entsprechender Fragestellung ist auf die Wahl des geeigneten Umweltmediums zu achten. So werden beispielsweise eingetragene Stäube in Böden und Bachsedimenten akkumuliert, wodurch diese auch Informationen über historische Belastungssituationen speichern. Die Extraktion von Stäuben aus Schneeproben ermöglicht demgegenüber Momentaufnahmen der Staubdepositionen.

Materialien direkt aus Deponien, Produktions- und/oder Verbrennungsprozessen können in gleicher Weise behandelt und untersucht werden.

3.1 Mineralogische-geochemische Phasenanalyse

Aufbauend auf langjährigen Erfahrungen in Rohstoffprojekten mit der Anwendung kombinierter geochemisch-mineralogischer Methoden wurden von der Firma Geoöko Phasenuntersuchungen in verschiedenen Umweltmedien entsprechend adaptiert (siehe Diagramm im Anhang).

3.1.1 Probenaufbereitung

Soweit notwendig, werden die Proben im Labor jeweils luftgetrocknet und auf die Korngrößenfraktion $< 0,5$ mm abgeseibt. Im Nahbereich von Industriebetrieben wird auch die Kornfraktion $< 0,7$ mm gewählt. Aufgrund langjähriger Erfahrungen können mit der Grenze von $0,7$ mm alle Schwerminerale und indikativen gesteinsbildenden Minerale in Böden und voraufbereiteten Sedimenten (wie in Flüssen) erfaßt werden. Vermieden wird dadurch, noch vorhandene Gesteinsbruchstücke aussondern zu müssen.

Nach dem Sieben wird je nach Menge und Art des Ausgangsmaterials eine zusätzliche Voranreicherung der Schwermineralfraktion mittels Waschschüssel vorgenommen.

Um bei Auflagehorizonten, Vegetationsproben (Blätter, Nadeln) und humusreichen Oberböden die mineralische Komponente vom organischen Material abzutrennen, wird die abgeseibte Fraktion mit 6%-igem H_2O_2 behandelt.

Wenn sich aus dem jeweiligen Probenmaterial ein höherer Feinkornanteil gewinnen läßt, wird mittels Schwerentrennung (bei ca. spezifischem Gewicht $\sigma \sim 2.98$) zusätzlich angereichert.

3.1.2 Präparation

Als weiterer Schritt erfolgt die Trennung in eine nichtmagnetische und eine magnetische Fraktion (bei sehr kleinen Mengen mittels Handmagnet). Für die Präparatherstellung liegen nun mehrere Teilproben zur Weiterbearbeitung vor.

- Leichtfraktion $\sigma < 2.98$
- Schwerfraktion $\sigma > 2.98$
 - magnetisch
 - nicht magnetisch

Von den jeweiligen Streupräparaten werden sowohl polierte Dünnschliffe (nichtmagnetische Anteile) als auch polierte Anschliffe (magnetische Anteile) angefertigt. Je nach Fragestellung und Notwendigkeit werden zusätzlich von Gesteins- und Schlackenfragmenten > 0,7 mm ebenfalls Dünnschliffe und Anschliffe hergestellt. Falls eine Absicherung mittels Röntgendiffraktometrie nötig erscheint, werden auch Pulverpräparate aus einzelnen Fraktionen erzeugt.

3.1.3 Lichtmikroskopie

Unter dem Binokular erfolgt eine übersichtsmäßige Durchsicht des gesamten Probenmaterials < 0,7 mm sowie die Fotodokumentation.

Weiters wird eine erste Ansprache und Bestimmung der Paragenesen und Mineralphasen mittels Auf- und Durchlichtmikroskopie möglich, einschließlich Ätzverfahren und Markierung gezielt weiter zu bearbeitender Mineralphasen sowie die Fotodokumentation.

3.1.4 Qualitative und quantitative Phasenanalytik

In Zusammenarbeit mit Universitätsinstituten werden qualitative und zum Teil semiquantitative Analysen an den ausgewählten Mineralphasen mittels Mikrosonde und EDX ausgeführt. Damit wird es möglich, mit Hilfe der entsprechenden Erfahrung die jeweilige Mineralphase prinzipiell zu identifizieren und eingebaute Spurenelementgehalte festzuhalten.

In vielen Fällen ist eine qualitative Untersuchung allein nicht ausreichend und zusätzliche in Nachweis der jeweiligen Bindungsform notwendig, um die Mineralphase im Detail auch hinsichtlich ihrer Genese beschreiben zu können.

Dies ist möglich mit einer Gerätekonfiguration, deren Detektor einen simultanen Nachweis des Elementspektrums ab Bor bis Uran zulässt und damit eine quantitative und qualitative Analyse erlaubt.

Mittels einer spezifisch entwickelten Software ist dabei möglich, vollquantitative Analysen einzelner Mineralphasen oder Ausschnitte von diesen, einschließlich der Berechnung und Dokumentation der Zusammensetzung abzuleiten. Darüberhinaus können über Elementverteilungsbilder Spurenelementverteilungen innerhalb der Phasen visualisiert werden.

3.2 Analytische Rasterelektronenmikroskopie

Unter Verwendung rasterelektronenmikroskopischer Untersuchungstechniken werden im Umweltbundesamt bereits seit mehreren Jahren im Zuge jährlich stattfindender Monitoringprogramme Fichtennadeln hinsichtlich ihrer Nadeloberflächenparameter, d.h. des Zustandes der schützenden, äußeren Wachsschichte (Wachsqualität) sowie der Belegung der Nadeln mit Staubpartikeln bzw. Mikroorganismen analysiert. Besonders im Einflußbereich von Emittenten werden häufig anthropogene bzw. technogene Staubphasen auf den Nadeln detektiert, die einen zusätzlichen Hinweis auf einen bestehenden, aktuellen Immissions-einfluß liefern (TRIMBACHER & WEISS, 1997; WEISS & TRIMBACHER, 1998).

Für die gegenwärtige Studie wurden neben Fichtennadeln auch Stäube aus anderen Medien für die rasterelektronenmikroskopischen Analysen von Einzelpartikeln nach entsprechender Probenvorbereitung (vgl. dazu Kapitel 3.1.1 und 3.1.2) verwendet.

3.2.1 Probenvorbereitung

Die luftgetrockneten Fichtennadeln werden mittels Kohleklebeband auf Aluminiumträgerförmchen montiert, mit einer leitenden Goldschicht versehen und anschließend im Rasterelektronenmikroskop untersucht.

In gleicher Weise erfolgt die Probenvorbereitung für Staubrückstände, die aus anderen Umweltmedien, z.B. Schneefiltrat, Auflagehorizont gewonnen wurden oder auch von Materialien wie etwa Asche.

3.2.2 Rasterelektronenmikroskopie und energiedispersive Röntgenmikroanalyse

Staubpartikel werden elektronenoptisch hinsichtlich ihrer Morphologie und Größe untersucht und die elementare Zusammensetzung mittels energie-dispersiver Röntgenmikroanalyse (EDX) qualitativ bestimmt. Charakteristische Staubphasen werden sowohl fotografisch als auch durch EDX-Spektren dokumentiert.

4 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

DARSTELLUNG ANTHROPOGENER UND TECHNOGENER STAUBPARTIKEL UND IHRER QUELLEN ANHAND VON BEISPIELEN

4.1 Kfz-Verkehr

Der Straßenverkehr stellt eine sehr effektive Quelle partikulärer Emissionen dar, wobei kohlenstoffhaltige Teilchen ("Ruß") überwiegen. Sowohl sehr feine Partikel, die hauptsächlich aus Verbrennungsprozessen entstehen, als auch grobkörnige Partikel, die aus mechanischem Abrieb (Reifen, Kupplung, Fahrbahn) resultieren, gelangen in die Außenluft.

Russpartikel bestehen aus einem graphitähnlichen Festkörper und angelagerten organischen und anorganischen Komponenten. Die potentielle Toxizität besteht in erster Linie in diesen Depositionen. Es werden beispielsweise polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) adsorbiert und verschiedene Metalle aufgelagert. Im REM ist zu beobachten, daß Dieselpartikel im allgemeinen aus einer Ansammlung von kugelförmigen, nahezu gleichgroßen Primärpartikeln bestehen, wodurch sog. Agglomerate, komplexe, dreidimensionale Gebilde unterschiedlichen Aussehens entstehen (siehe Abb. 2 im Abb. Teil).

Es ist jedoch noch weitestgehend unklar, welche Faktoren die unterschiedliche Morphologie dieser Agglomerate oder Aggregate beeinflussen. Messungen an Dieselpartikeln zeigten, daß der relevante Bereich der Partikelgröße der Primärpartikel zwischen 20 nm und 50 nm liegt. (EGGENBURGER ET AL., 1994). Andere Arbeiten berichten über einen Größenbereich von 15 bis 30 nm für Primärpartikel aus Dieselpartikeln (BARR ET AL., 1989). Jüngste Messungen von Benzin- und Dieselpartikeln mit REM und EDAX ergaben, daß sich die partikulären Emissionen der Benzinabgase hauptsächlich aus Rußpartikeln mit einer Größe unter 2 µm und bleihaltigen Partikeln zusammensetzten (RODRIGUEZ-NAVARRO & SEBASTIAN, 1996). Demgegenüber beinhalten Dieselpartikeln neben Rußpartikeln unter 1 µm ebenso eisen- und schwefelhaltige Teilchen zum Teil bis zu einem Durchmesser von 20 µm sowie sphärische Aluminiumsilikatpartikel.

Zur Grobfraction der verkehrsbedingt emittierten Partikel zählen Rollsplitt und Partikel, die beim mechanischen Abrieb von Reifen, Bremsen, Kupplung und Fahrbahn entstehen. Reifenabrieb, wenn dieser im Rasterelektronenmikroskop mittels Röntgenmikroanalyse untersucht wird, läßt sich anhand der charakteristisch vorkommenden Elemente Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O), Silizium (Si) vom Straßenstaub stammend, Schwefel (S) und Zink (Zn) sowie ggf. Cadmium (Cd) von Partikelemissionen von Dieselpartikeln unterscheiden. Im Elementenspektrum von Rußpartikeln fehlen die Elemente Silizium, Zink und Cadmium (PFÄNDER ET AL., 1996).

Asbesthaltiges Streugut kann regional problematisch werden (s. auch Kap. 4.1). So kommt beispielsweise in der Steiermark und im Burgenland Serpentin, ein asbestfaserführendes, geogenes Material, als Streugut zum Einsatz. Durch dessen Verwendung kann es indirekt zu einer räumlich und zeitlich begrenzten Faserfreisetzung kommen.

In Österreich wird auch chrom- und nickelhaltiges Streugut, in Abhängigkeit vom jeweiligen Ausgangsmaterial, eingesetzt (Abb. 3 im Abb. Teil). Es konnte gezeigt werden, daß über den Weg des Streuguteinsatzes, welches im Frühjahr nach dessen Verwendung teilweise im Kompost landet, es durch das Aufbringen dieses Kompostes zu Anreicherungen der genannten Schwermetalle im Boden kommen kann (NEINAVAI & PIRKL, 1999).

Die für die Fahrbahnmarkierung verwendeten Anstriche enthalten reflektierende Weißmacher. Der Effekt der Lichtreflexion wird durch in die Farbe beigemengte globuläre Silikateilchen (Glasphasen) hervorgerufen. Diese an ihrer Oberfläche glatten Partikel liegen im Grö-

ßenbereich von rd. 5 µm bis zu 400 µm (Abb. 4 im Abb. Teil). Neben Silizium (Si) als Hauptkomponente finden sich im Elementspektrum Natrium (Na), Kalium (K), Kalzium (Ca) sowie Titan (Ti) (Abb. 5 im Abb. Teil).

4.2 Kraftwerksanlagen

Kalorische Kraftwerke zählen zu den größten technologischen Quellen partikulärer Emissionen in die Außenluft. Es existieren daher bereits seit längerem zahlreiche Untersuchungen, die sich mit dieser Problematik beschäftigen. Partikuläre Emissionen von kohle- bzw. ölbefeuerten Kraftwerken zeigten signifikante Unterschiede hinsichtlich der Gesamtkonzentration, der durchschnittlichen Partikelgröße, der chemischen Zusammensetzung sowie der Morphologie einzelner Partikel (BACCI ET AL., 1984).

Im Falle der *ölbefeuerten Kraftwerksanlagen* lag die durchschnittliche Partikelgröße unter 1 µm und die Struktur der Flugascheteilchen war generell sphärisch mit durchwegs poröser, schwammiger Oberflächenbeschaffenheit.

Demgegenüber lag die durchschnittliche Größe von Flugaschepartikeln aus *kohlebefeuerten Kraftwerken* bei ca. 4 µm und die wiederum sphärischen Partikel waren durch eine glatte, glasähnliche Oberflächenbeschaffenheit charakterisiert. Letztere enthalten hauptsächlich Silizium und Aluminium und werden daher auch als Aluminiumsilikatpartikel oder Glasphasen bezeichnet. Proben von Kohlepartikeln einer ölbefeuerten Kraftwerksanlage zeigten im Labor (Raumtemperatur, 60-100% rLF) spontan Kristallbildungen. Aufgrund des unterschiedlichen Habitus dieser Kristalle wurde eine Klassifizierung im REM vorgenommen (DEL MONTE ET AL. 1984). In der Literatur finden sich auch Hinweise auf Partikelgrößen bis zu 100 µm (ZSCHACH, 1978)

Untersuchungen im Umfeld von verschiedenen Kraftwerksanlagen in Österreich ergaben als typische Phasen silikatische Glasphasen, Kalzium-Eisen-Aluminate, Kalzium-Ferrite, Eisenoxide (Magnetit, Hämatit, Wüstit), Magnetkies, Anhydrid, Spinell und Restkohlen, wie Pyrit und Magnetkies (NEINAVAI, 1994). Siehe dazu Abbildungen 6, 7 und 8 im Abb. Teil. Der jeweilige Phasenbestand und der damit verbundene Schwermetallgehalt hängt von der eingesetzten Kohle und von der Verbrennungstechnik ab.

Bei der Verbrennung von Kraftstoffen in Kraftwerken, Hausfeuerungsanlagen und Dieselmotoren entstehen u.a. auch die sog. **“Cenosphärischen Flugaschepartikel“** (hohlkugelig), welche an ihrer spezifischen Oberflächenbeschaffenheit und Elementzusammensetzung zu identifizieren sind. Sie sind annähernd rund, zwischen 10 und 200 µm groß und von sehr poröser, durchbrochener Beschaffenheit. Die unterschiedlichen Größen dieser hohlkugeligen Partikel ist abhängig von den physikalischen Bedingungen während des Verbrennungsprozesses. Sie setzen sich im Wesentlichen aus den Elementen Kohlenstoff (C), Schwefel (S), Silizium (Si), Eisen (Fe) und Aluminium (Al) zusammen. Ihre ökotoxikologische Relevanz liegt darin, daß sie Träger schwermetallhaltiger Mikropartikel darstellen. Diese mikrokristallinen Mineralphasen, die vorwiegend aus Sulphaten oder metallischen Oxiden bestehen, lagern sich bevorzugt im Inneren der Hohlkugeln an. In praktisch allen oxidischen Phasen der Mikropartikel sind die Metalle Eisen (Fe), Nickel (Ni) und Vanadium (V) nachzuweisen. In rd. 30% der Mikrokristalle finden sich Zink (Zn), Aluminium (Al), Chrom (Cr), Magnesium (Mg) und weniger häufig Mangan (Mn) und Titan (Ti) (PAOLETTI ET AL. 1994). Siehe dazu Abbildungen 8 und 9 im Abb. Teil.

4.3 Hausbrand

Erst in den letzten Jahren wurde den Emissionen aus dem Hausbrand vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt. Während der Wintermonate stellt der Hausbrand eine zusätzliche Quelle partikulärer Emissionen vor allem in städtischen Ballungsräumen dar. Je nach Art der Feuerung (Öl, Gas, Holz) treten verschiedene Partikeltypen auf. Bedingt durch die eher niedrigen Verbrennungstemperaturen (rd. 700°C) im Vergleich zu industriellen Verbrennungsprozessen oder kalorischen Kraftwerken gelangen bevorzugt irreguläre Partikel im Größenbereich von 10 bis 200 µm in die Atmosphäre (Abb. 9-11 im Abb. Teil).

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung durchgeführte Elementanalysen an Ascheproben von braunkohlebeschickten Kleinf Feuerungsanlagen ergaben als Hauptelemente Silizium (Si), Aluminium (Al), Kalzium (Ca), Sauerstoff (O) sowie weiters Magnesium (Mg), Chlor (Cl), Kalium (K), Eisen (Fe) und Kupfer (Cu). Vergleichbar mit Dieselrußpartikeln, scheinen diese Hausbrandpartikel aus der Braunkohlefeuerung aus einer Vielzahl von Primärpartikeln zu bestehen (Aerodynamischer Durchmesser ca. 0,5 µm), welche wiederum größere, irregulär strukturierte Aggregate bilden. Die Primärpartikel enthalten in erster Linie Kohlenstoff (C) und Spuren von Chlor (Cl), Kalium (K) und Kupfer (Cu).

4.4 Industrielle Hochtemperaturprozesse

In diesem Kapitel werden am Beispiel ausgewählter österreichischer Industriesparten typische Staubpartikel bzw. Staubphasen, welche in eigenen Untersuchungen im Umfeld von technogenen Emissionsquellen in unterschiedlichen Umweltmedien nachgewiesen werden konnten, anhand von licht- und rasterelektronenmikroskopischen Abbildungen sowie Elementspektren dokumentiert.

Eine umfangreiche, tabellarische Auflistung von technogenen Phasen und ihrer Schwermetallführung findet sich im Anhang.

4.4.1 Calciumferrite als Leitindikatoren

Calciumferrite sind Mineralphasen technogenen Ursprungs! Sie können daher als Leitminerale für industrielle Hochtemperaturprozesse herangezogen werden.

Tab. 4: Calciumferrit-Brownmilleritmischkristalle als Indikatoren für verschiedene Emissionsquellen und ihre typischen Schwermetalle

Emissionsquellen	häufig festgestellte Elemente	Anmerkung
Kohlekraftwerke	V, P, <u>S</u> , Ba	selten mit Phosphor-Mineralen
Glasindustrie	<u>V</u> , <u>P</u> , Cr, Ni	häufig mit Apatit verwachsen
Verbundmetall- und Sondermetallproduktion	Nb, Ta, <u>V</u> , Cr, Ni, P, Ce	häufig mit Apatit verwachsen
Stahlproduktion	<u>Cr</u> , <u>Mn</u> , <u>P</u> , Ti, V, Zn	meist mit (Ca,P)-Silikaten, untergeordnet auch mit Fluorit
Sinteranlagen (Stahlproduktion)	<u>Mn</u> , <u>Ti</u> , (P)	selten mit Phosphormineralen
Zementindustrie	Zn, Mn	

Bei Calciumferriten/Brownmilleriten und deren Mischkristallen handelt es sich um technologische Mineralphasen mit den Hauptelementen Calcium und Eisen/Aluminium, in deren Gitter je nach Herkunft verschiedene Schwermetalle eingebaut werden.

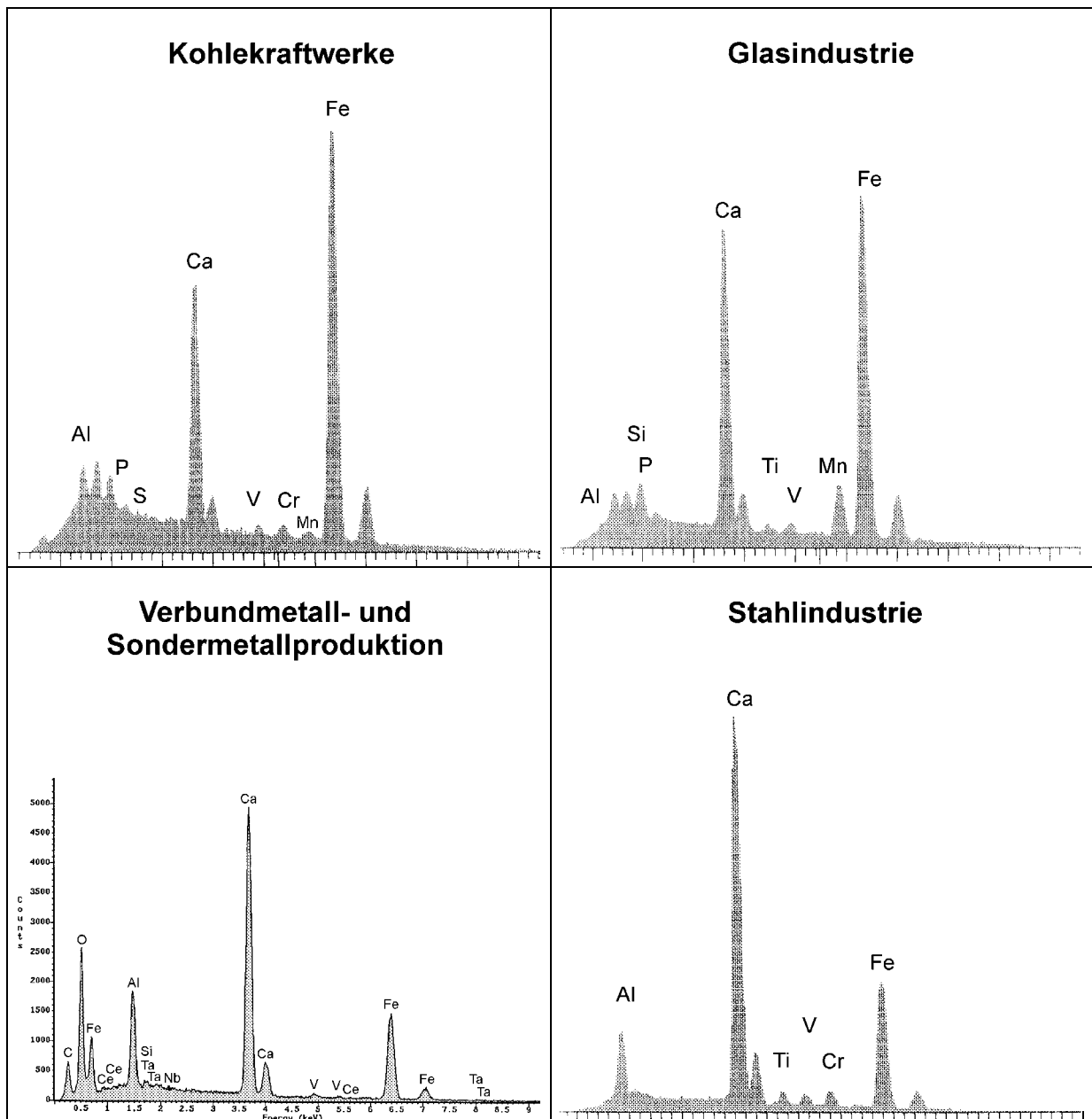
Je nach vorhandenen Schwermetallen können diese Calciumferrite in manchen Fällen sogar zum Nachweis unterschiedlicher Prozesse herangezogen werden.

Typisch für Hochofenprozesse sind Spurengehalte von Chrom, Nickel, Vanadium und Phosphor, abhängig von den verwendeten Zuschlagstoffen.

Für Prozesse der Glasindustrie sind Spurengehalte von Phosphor und Vanadium in den Calciumferriten charakteristisch, die wahrscheinlich aus Färbe- und Trübungsmitteln stammen.

In Kohlekraftwerken entstehen häufig Kalzium-Aluminium-Ferrite, die kaum Spurenelemente aufweisen.

Abb. 12: Elementspektren von Calciumferritkristallen (mit charakteristischen Schwermetallen) aus verschiedenen anthropogenen Emissionsquellen.



4.4.2 Beispiel Eisen- und Stahlerzeugung

Bei Hochtemperaturprozessen in der Eisen- und Stahlerzeugung werden u.a. partikuläre Immissionen freigesetzt. Die Zusammensetzung der Staubpartikel bzw. Staubphasen wechselt je nach Verhüttungsprozess und Art der Zuschläge.

Charakteristische Phasen der Eisen- und Stahlindustrie, wie auch in früheren Untersuchungen (z.B., NEINAVAIE & PIRKL, 1994) bereits dargestellt werden konnte, sind nachfolgend zusammengefaßt:

- (Fe,Mn)-Mischoxide z.B.: Wüstite
- $RO-R_2O_3$ -Phasen* z.B. Magnetit, Hämatit, Calciumferrite, Magnesioferrit, kugeliges bis hohlkugeliges metallisches Eisen
- leistenförmige Fe-Oxide (Zundermaterial, Hammerschlag)
- Röst- und/oder Sintererze, ein Gemisch aus Fe, Mg, Ca, Mn-Oxiden
- Cr, Ni-legierte Stähle und Ferrolegierungen
- Calciumphosphorsilikate (Stahlerzeugung)
- (Ca, Fe, Mn, Mg)-Mischsilikate
- technogene Apatite bei Verwendung von Phosphor-hältigen Zuschlagstoffen, häufig Spuren von V, Fe

(*... Für R^{2+} kann Fe^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Ca^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} und für R^{3+} kann Fe^{3+} , Cr^{3+} , Ti^{3+} und V^{3+} auftreten.)

Viele dieser technogenen Staubphasen sind auch Träger von Schwermetallen und daher von ökotoxikologischer Relevanz (Tab. 5).

Tab. 5: Schwermetallgehalte der oxidischen und silikatischen Phasen im Umfeld von Stahlindustrie (max. Gehalte in Prozent, Mikrosondenanalytik)

*)... kleiner als Nachweisgrenze

Schwermetallgehalte der oxidischen und silikatischen Phasen im Umfeld von Stahlindustrie				
Phase	Cr %	Ni %	Zn %	V %
RO- R_2O_3	18,00	- *)	0,05	0,1
RO-Phasen	0,8	0,42	0,24	0,16
(Fe, Zn)-Oxide	0,04	0,07	26,9	-
Silikate	0,86	0,06	-	-

Die im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführten Untersuchungen an unterschiedlichen Umweltmedien im Umfeld eines Stahlwerkes zeigten in der magnetischen Fraktion Eisenoxid-Phasen im Größenbereich von ca. 10 μm bis 80 μm , wobei auch unterschiedliche Oberflächentopographien beobachtet wurden. Als weitere Elemente neben Eisen wurden Magnesium, Aluminium, Silizium, Kalzium, Mangan und Zink gefunden (Abb. 13-19 im Abb. Teil).

An Hand von Schneeproben können sowohl Informationen über Mengen aktueller, kurzfristiger Staubdepositionen, als auch Quellen-Differenzierungen nach Produktionsprozessen abgeleitet werden (Abb. 20 im Abb. Teil).

Als Nebenprodukt der Stahlerzeugung wird die Schlacke aus dem Konverter aufgemahlen und als sogenanntes "**Thomasmehl**" als Phosphor-Dünger in der Landwirtschaft eingesetzt. Durch diese Verwendungsart gelangen Spuren von Schwermetallen bei landwirtschaftlichen Arbeitsvorgängen in Böden. Als Spurenelemente sind dabei überwiegend Vanadium, Chrom und Blei zu analysieren (Abb. 21-23 im Abb. Teil).

4.4.3 Beispiel Glasindustrie

Bei der Herstellung von Glas entstehen neben vorwiegend gasförmigen Luftemissionen auch Emissionen von Staub. Staub besteht überwiegend aus Verdampfungsprodukten, die im kühleren Teil des Ofens zu Karbonaten und Sulfaten kondensieren. Der Gehalt der Schwermetalle und Spurenelemente in den staubförmigen Abgasen hängt von der Art des verwendeten Brennstoffes, der Glasart und dem Einsatz an Rücklaufscherben ab. Vanadium und Nickel stammen zumeist aus der Heizölasche. Chromoxid wird bei Grünglas zum Färben verwendet. Selen und Arsen wird zur Einfärbung verwendet und verdampft zu 90% bei Temperaturen über 80°C. Blei und Cadmium können über Metall- und Kunststoffverunreinigungen sowie Emailfarbreste in die Glasschmelze eingeschleppt werden. Blei, Arsen und Antimon werden in der Produktion von Bleikristallglas eingesetzt. Barium wird in der TV-Glaserzeugung verwendet (SCHINDLER & RONNER, 1998).

Bei Untersuchungen an Schlacken im Umfeld glaserzeugender bzw. glasverarbeitender Betriebe in Österreich wurden als charakteristische Mineralphasen technogene Apatite, Calciumferrite und RO-Phasen festgestellt (z.B. NEINAVAIE, 1994). Ein lichtmikroskopisches Anschliffphoto und das dazugehörige EDX-Spektrum zeigen einen technogenen, Vanadiumhaltigen Apatit (Abb. 24, 25 im Abb. Teil).

4.4.4 Beispiel Zementindustrie und feuerfeste Erzeugnisse

4.4.4.1 Zementindustrie

Staubförmige Emissionen können bei der Zementherstellung aus folgenden Prozessbereichen stammen:

- Aus der Entstaubung von mechanischen Zerkleinerungsanlagen nach dem Filtern
- aus Transportübergabestellen und Silos
- aus den thermischen Prozessen

Aufgrund der Ausgangsmaterialien zur Zementherstellung wie Kalk, Mergel, Sand und Schlacken entstehen durch die entsprechenden Produktionsprozesse folgende Mineralphasen:

- Tricalciumsilikat
- Tricalciumaluminat
- Dicalciumsilikat
- Brownmillerit (Tetracalciumaluminatferrit)
- Calciumferrit
- Mischkristalle zwischen Brownmillerit und Calciumferrit
- Spinelle

- Periklas
- Freier Kalk
- Oldhamit (Calciumsulfid)
- Anhydrit
- Franklinit (Zn-Fe-Mischoxid)
- Fluorit
- Bleiglanz
- Thalliumchlorid
- metallisches Eisen
- $K_2Fe_2S_4$
- Glasphase

Für die vorliegende Studie wurden Filtrerrückstände von Schneeproben aus dem Nahbereich von zwei Zementwerken in Österreich mit REM und EDX auf den technologischen Phasenbestand untersucht. Charakteristische Staubphasen, wie beispielsweise Mn-hältige Calciumferri-rite, sind in den folgenden Abbildungen dargestellt (Abb. 26 – 34 im Abb. Teil).

4.4.4.2 Feuerfeste Gesteine

Aus den Ausgangsstoffen - kristalliner Magnesit einerseits und Magnesit + Chromit andererseits, entstehen durch Sintern Sintermagnesia- und Chrommagnesiasteine. Dabei werden unter anderem folgende Staubphasen emittiert:

- | | |
|--|---|
| • Periklas | MgO |
| • Magnesioferrit | MgO.Fe ₂ O ₃ |
| • Spinell | MgO.Al ₂ O ₃ |
| • Forsterit | 2MgO.SiO ₂ |
| • Monticellit | CaO.MgO.SiO ₂ |
| • Merwinit | 3CaO.MgO.2SiO ₂ |
| • Dicalciumsilikat | 2CaO.SiO ₂ |
| • Tricalciumsilikat | 3CaO.SiO ₂ |
| • Dicalciumferrit | 2CaO.Fe ₂ O ₃ |
| • Brownmillerit | 4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃ |
| • Freier Kalk | Ca |
| • Chromit | (Mg,Fe)(Cr,Al,Fe) ₂ O ₄ |
| • Magnesiochromit | MgO.Cr ₂ O ₄ |
| • Hercynit | FeO.Al ₂ O ₃ |
| • Magnetit | FeO.Fe ₂ O ₃ |
| • Mischkristalle zwischen Chromit und Magnetit | |

Im Rahmen der gegenständlichen Studie wurden Filtrerrückstände, welche aus Schneeproben aus der Nähe eines österreichischen Magnesitwerks extrahiert wurden, auf den technologischen Bestand an Staubphasen untersucht. Typische technologische Staubphasen, wie etwa Magnesioferrit, Periklas (MgO-Phase), globulare Ferrochromspinelle sowie verschiedene, meist tafelige, unregelmäßige technologische Mischphasen sind nachfolgend durch rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen und ggf. Elementspektren dokumentiert (Abb. 35-39 im Abb. Teil).

4.4.5 Beispiel Verbund- und Sondermetallproduktion

Eine Reihe von Betrieben erzeugt in Österreich spezifische metallische Werkstoffe wie: Hartmetalle, Hochtemperatur- und hochverschleißfeste Werkstoffe, superleitende Werkstoffe, Magnete, Zündsteine, Poliermittel, Katalysatoren u.a.

Bei der Produktion kommt dabei eine breite Palette von Elementen zum Einsatz (Bor, Kobalt, Niob, Nickel, Molybdän, Seltene Erden, Titan, Vanadium, Wolfram). Genauso bunt sind die anzutreffenden Staubphasen im Umfeld solcher Betriebe.

Im Rahmen einer detaillierten Bodenzustandsstudie im Krappfeld/Kärnten wurde zum ersten Mal systematisch und konsequent das Instrumentarium der mineralogischen Phasenanalyse angewandt (PIRKL, 1993, NEINAVAIE, 1993). Dies deswegen, da die Schwermetallverteilung aus dem geogenen Untergrund mit denen aus regional-spezifisch erwartbaren Staubemissionen praktisch ident waren. Damit reichten die Informationen aus der chemischen Analytik der Böden nicht aus, geogene von technologischen Einflüssen zu trennen.

Die mineralogische Bearbeitung der Bodenproben führte auch zur Tatsache, daß sich in den Böden neben der aktuellen Staubdeposition (Abb. 40, 41 im Abb. Teil) Stäube auch aus historischen (Eisen-) Hüttenprozessen (Abb. 42 im Abb. Teil) nachweisen ließen. Abbildung 40 zeigt ein Schlackenbruchstück, welches der aktuellen Sondermetallproduktion zugeordnet werden kann.

Die nachfolgende Tabelle 6 zeigt das breite Spektrum der nachgewiesenen, schwermetall-führenden Partikel, getrennt nach geogenen und technogenen Phasen.

Tab. 6: Schwermetalle in geogenen und technogenen Phasen aus Bodenproben im Krappfeld/Kärnten.

Element	geogene Phasen	technogene Phasen
As	Pentlandit	metall. Eisen
B	Turmalin	Ferrosilicium
Ba	Baryt Feldspäte	Mn-Oxyde Brownmillerit
Ce	Monazit	RE-Phosphat („Monazit“) Cerferrit Ceroxyd Calciumferrit
Cl	Chlorit Biotit Amphibole (Mn,Fe-)Oxyde Chromspinell Magnetit	(Mn,Fe-)Oxyde Mn-Fayalit Chromspinell Magnetit silikat.Glasphase Nickelsilikat (Cr,Ni,Fe)Carbonyl? Calciumferrit Mischkarbide
Co	Pentlandit Chlorit Magnetkies Pyrit	Magnetkies metall. Eisen metall. Nickel
Cr	Serpentin Pentlandit Chrom-Eisen-Spinell Chromit Chlorit Amphibole Rutil Spinell Titanit Chrom-Magnetit	Chrom-Eisen-Spinell Chromit Spinell Chrom-Magnetit (Fe-W)-Karbid (Mo,W,Fe)Oxyd-Mischphasen (Cr,Ni)-Ferrolegierungen (Cr,Ni)-Legierungen (W,Sn)-Ferrolegierungen (Cr,Ni,Fe)-Carbonyl? Ferrosilicium metall. Eisen (Cr,V)Spinell silikat. Glasphase
Cu	Magnetkies Kupferkies Covellin Kupferglanz	metall. Nickel metall. Eisen Eisensulfat Ferrosilicium Calciumferrit silikat. Glasphase Messing
F		Apatit Nickelsilikat
Ge		Cerferrit
La,Pr,Sm,Nd	Monazit	Cerferrit

Tab. 6: Schwermetalle in geogenen und technogenen Phasen aus Bodenproben im Krappfeld/ Kärnten.

Element	geogene Phasen	technogene Phasen
Mn	Ilmenit Magnetit Chromit Chrom-Eisenspinell Magnetkies Granat Pentlandit	Wüstit Magnetit Spinell Chromit Chrom-Eisenspinell Melilith Merwinit Mn-Fayalit (Mo,W)Oxyde metall. Eisen Jakobsit Calciumferrit Brownmillerit (Cr,Ni)-Ferrolegierungen (Fe,W)Carbonyl? silikat. Glasphase
Mo		Chrom-Eisenspinell (Fe,W)Carbonyl? (Mo,W,Fe)Oxyde (Cr,Ni,Fe)Carbonyl? (Cr,Ni)Ferrolegierungen (Cr,Ni)Legierungen
N		Cerferrit Ferrosilicium
Nb	Rutil	(Cr,Ni)-Ferrolegierungen Calciumferrit Brownmillerit
Ni	Chlorit Rutil Spinell Magnetkies Chrom-Eisenspinell Serpentin Pentlandit Chrommagnetit (Fe,Mn)Oxyde Mn-Magnetit	Spinell Magnetkies Chrom-Eisenspinell Chrommagnetit Mn-Magnetit Wüstit Eisensulfat Calciumferrit metall. Eisen metall. Nickel (Cr,Ni)-Ferrolegierungen Melilith Merwinit Al-Oxyd (Glasphase) silikat. Glasphase metall. Silicium (W,Sn)Ferrolegierungen Nickelsilikat (Cr,Ni,Fe)Carbonyl?
Ta	Rutil	Calciumferrit Apatit

Tab. 6: Schwermetalle in geogenen und technogenen Phasen aus Bodenproben im Krappfeld/ Kärnten.

Element	geogene Phasen	technogene Phasen
Ti	Magnetit Ilmenit Titanit Rutil Anatas Perowskit Hämatit Amphibole Biotit Leukoxen Spinell Chromit Chrom-Eisen-Spinell	Anatas Perowskit Hämatit Calciumferrit Brownmillerit Wüstit Spinell Chromit Mn-Fayalit (Cr,Ni)Legierungen (W,Ti)Karbid (Cr,V,Fe)Oxyde metall. Titan
P	Apatit Monazit Xenotim Fe-Hydroxide	Apatit Monazit Mn-Fayalit Merwinit Spinell Fe-Hydroxide (Cr,Ni)Ferrolegierungen Glasphase (W,Sn)Ferrolegierungen metall. Eisen Nickelsilikat (Cr,Ni,Fe)Carbonyl?
S	Fe-Hydroxide div. Sulfide (Pyrit, Magnetkies, Zinkblende, Pentlandit, Kupferkies, Markasit ...)	Fe-Hydroxide (Cr,Ni)Legierungen metall. Eisen metall. Nickel Glasphase (Cr,Ni,Fe)Carbonyl? Calciumferrit
Si	Silikate	metall. Silizium Ferrosilicium metall. Eisen metall. Nickel
Sn		metall. Silizium Glasphase (W,Sn)Ferrolegierungen
V	Magnetit Chrom-Eisenspinell	Apatit Magnetit Chrom-Eisenspinell (Fe,W)Carbonyl? metall. Vanadium Brownmillerit (Mo,W,Fe)-Oxyde metall. Silizium

Tab. 6: Schwermetalle in geogenen und technogenen Phasen aus Bodenproben im Krappfeld/ Kärnten.

Element	geogene Phasen	technogene Phasen
V		Wüstit (Cr,V,Fe)Oxyd (Spinell) Glasphase (Cr,Ni,Fe)Carbonyl? Calciumferrit
W		(Fe,W)Carbonyl? (Mo,W,Fe)Oxyde "Wolframit" (Cr,Ni)Ferrolegerungen (W,Sn)Ferrolegerungen (W,Ti)Karbid
Y	Xenotim	
Yb		(Mo,W,Fe)Oxyde
Zn	Rutil Zinkblende Chromit Chrom-Eisenspinell Titanit (Fe,Mn)Oxyde Chrommagnetit Chlorit Magnetkies	Chromit Chrom-Eisenspinell (Fe,W)Carbonyl? Spinell Wüstit Nickelsilikat (Cu,Zn)Legierung
Zr	Zirkon Rutil	(Cr,Ni)Ferrolegerungen

4.4.6 Beispiel Nichteisenmetallerzeugung

Nichteisenmetalle sind alle metallischen Elemente außer Eisen, häufig subsumiert unter dem Begriff Buntmetalle. Letzterer Begriff bezieht sich im allgemeinen Sprachgebrauch überwiegend auf Aluminium, Blei, Kupfer und Zink.

In Österreich bestanden in historischer Zeit hunderte Bergbaue auf Buntmetall-Erzvorkommen, an die meist direkt oder in der nächsten Nachbarschaft entsprechende Verhüttungs- und Metallverarbeitungsbetriebe angeschlossen waren.

Aufgrund der Weltmarktsituation haben in Österreich in den letzten Jahrzehnten auch die letzten Bergbaue (Kupfer-Mitterberg, Blei/Zink-Bleiberg) geschlossen, wodurch die angeschlossenen Hüttenbetriebe gezwungen waren, auf Recycling und Sekundär-Rohstoffverwertung umzusteigen.

Die vielfältigen Probleme, die mit den zahlreichen ehemaligen Hüttenstandorten verknüpft sind, konnten bisher nur an wenigen Beispielen andiskutiert werden. In den folgenden kurzen Hinweisen werden jedoch die Chancen deutlich gemacht, die in der gezielten Anwendung mineralogischer Untersuchungen stecken.

a) ***Problematik der Überlegung von vergleichbaren (oder schwer trennbaren) Staubdepositionen aus aktuellen und historischen Verhüttungsprozessen***

Dabei helfen mineralogische Phasenanalysen an Material aus Boden- und Schnee-proben vom gleichen Standort. Der Staubinhalt in Schnee-proben repräsentiert die kurzfristige und aktuelle Deposition. In Böden können demgegenüber über lange Zeit Partikel gespeichert werden.

Ein Beispiel aktueller Staubdeposition (Schneeprobe) siehe Abb. 43 im Abb.Teil.

b) ***Problematik des Nachweises historischer Immissionssituationen***

Im Bereich des heutigen Bahnhofsareals in Kitzbühel bestand in der frühen Neuzeit eine ausgedehntere Erz-Aufbereitungs-Verhüttungsanlage, die vor circa vierhundert Jahren geschlossen wurde.

Können an so einem Standort noch Hinweise auf historische Immissionen erbracht werden? Mineralphasenanalysen an Bodenproben (ca. 200 m Luftlinie zum ehemaligen Hüttenstandort) wiesen Staubdepositionen aus diesen Verhüttungs-prozessen nach.

Mit diesem Nachweis ist gleichzeitig eine weitere Aussage verbunden, daß nämlich diese Staubphasen etwa vierhundert Jahre Bodendynamik überstanden haben und somit durch Verwitterungsprozesse kaum beeinflußt werden! Somit bekommt man durch diese Untersuchungen automatisch Hinweise auf das Mobilisierungsrisiko von Schwermetallen aus diesen Staubdepositionen. Eine Beispieldarstellung von Staub-partikeln aus diesen Bodenproben siehe Abb. 44 im Abb.Teil.

c) ***Problematik der Überlagerung von Immissionen unterschiedlicher historischer und aktueller Quellen mit unterschiedlicher Charakteristik***

Im slowenisch-kärntnerischen Grenzgebiet bestanden mehrere Bleihüttenbetriebe. Aus dem Raum Zerjav/Slowenien ist auch aktuell noch mit Blei-Emission zu rechnen. Gezielte Bodenuntersuchungen auf der österreichischen Seite (NEINAVAIE, 1995) erbrachten den überraschenden Befund, daß einerseits die historische Bleiverhüttung lokal in Staubdeposition nachweisbar war (Abb. 43 im Abb.Teil), andererseits aber ein regionaler Schleier bleiführender Staubdepositionen sich aus einem stahlverarbeitenden Betrieb aktuell darüberlegt (Abb. 44 im Abb.Teil).

In der folgenden Tabelle (Phasen aus dem Nahbereich einer historischen Bleihütte) stammen die Chrom-Gehalte aus dem Kontakt der Metallschmelze mit der basischen Ofenauskleidung, die Vanadiumgehalte demgegenüber sowohl aus dem primären Mineralbestand der Erze (z.B. Vanadinit) als auch ebenso aus dem Kontakt mit der Ofenauskleidung.

Tab. 7: technogene Staubphasen und ihre Schwermetallgehalte im Bereich einer historischen Bleihütte.

Schwermetallgehalte technogener Phasen im Bereich einer historischen Bleihütte				
Phase	Cr %	Pb %	Zn %	V %
Magnetit	0,37	0,24	2,6	1,1
(Fe, Zn)-Spinelle	0,55	0,4	14,9	1,74
Glasphase	0,06	2,82	12,5	0,31
(Pb, Zn)-Silikate	-	44	2,5	-
Cerussit	-	73	1,4	-
Kohliges Material	-	1,6	0,36	-
Olivinmischkristalle	-	0,30	8,0	-
Plumboferrit	-	51,82	1,0	0,15
Calciumferrit	-	0,10	0,10	0,16
Calciumsilikat	-	6,6	0,04	0,15
Calcit	-	6,0	-	0,28

Staubphasen aus der aktuellen Stahlerzeugung können ebenfalls hohe Spurengehalte an Blei besitzen (s. nächste Tabelle), sind jedoch durch eine gänzlich andere Spurenelementverteilung von obigen Staubphasen zu unterscheiden!

Tab. 8: technogene Staubphasen und ihre Schwermetallgehalte im Bereich aktueller stahlerzeugender Betriebe.

Schwermetallgehalte technogener Phasen - Maximal-Gehalte in Prozent (Mikrosondenanalytik); Staubphasen aus Bodenproben/Fernimmissionen stahlproduzierender Betriebe						
	Cr	Ni	Cu	V	Pb	Zn
(Cr,Ni)-Stahl	15.5	9.1	0.22	0.7	-*	-
(Fe,Mn)-Hydroxyd	1.26	0.57	0.27	0.11	1.99	5.7
Fe-Hydroxyd	0.26	0.86	0.10	-	0.38	0.5
met. Eisen	1.27	1.78	0.24	-	-	-
Magnesioferrit	0.23	-	0.11	-	-	0.17
Glasphase	-	-	0.04	0.5	1.1	0.26
RO.R ₂ O ₃ -Phase	5.32	3.37	0.27	0.5	-	1.67
Calciumferrit	1.2	0.6	0.25	0.4	-	0.15
Wüstit	0.3	0.4	-	-	-	0.83
RO-Phase	1.7	0.42	-	1.5	-	26.9
* - kleiner als Nachweisgrenze						

5 SONDERFALL FASERFÖRMIGE PARTIKEL

5.1 Natürliche Mineralfasern

Spricht man von natürlichen Mineralfasern, so denkt man primär an Asbest. Asbest ist ein Sammelbegriff für eine bestimmte Gruppe natürlich vorkommender feinfaseriger Mineralien der Serpentin- und Amphibol-Gruppe. Dazu gehören Chrysotil (Abb. 45 und 46 im Abb. Teil) und verschiedene Amphibolasbeste, wie z.B. Krokydolith (Blauasbest), Amosit und Amianth.

Asbest zeichnet sich vor allem durch hohe Zugfestigkeit und Hitzeresistenz aus und hat aufgrund dieser physikalischen Eigenschaften in sehr vielen Bereichen, im Bauwesen (Asbestzement, Spritzasbestisierungen) Maschinen- und Fahrzeugbau (Brems- und Kupplungsbeläge), Anwendung gefunden. Früher wurde beispielsweise in Bremsbelägen als Faserverstärkungsmittel hauptsächlich Chrysotilasbest (10 bis 70 Gew.-%) verwendet (JAHN ET AL., 1985).

Zahlreiche epidemiologische und humantoxikologische Studien, die zum vorwiegenden Teil die Asbestexposition am Arbeitsplatz untersuchten, zeigten übereinstimmend auf, daß erhöhte Konzentrationen von Asbestfaserstäuben in der Außenluft zu einem erhöhten Krebsrisiko führen (WHO, 1998). Die tumorerzeugende Wirkung der Fasern ist abhängig von ihren geometrischen Abmessungen und ihrer Beständigkeit. Als wirkungsrelevante Fasergrößen werden ein geometrischer Durchmesser von $D < 3 \mu\text{m}$ und Längen von $2,5 \leq L \leq 100 \mu\text{m}$ sowie einem Verhältnis $L:D \geq 3$ angegeben (VDI 3492). Durch den gestiegenen Bedarf an faserverstärkten Hochleistungs-Verbundwerkstoffen, und einem geänderten Anforderungsprofil an diese Materialien sowie den teilweisen freiwilligen Verzicht der Industrie auf die Verwendung von Asbest wegen seines hohen Gesundheitsrisikos für den Menschen wurden zahlreiche synthetische anorganische Mineralfasern entwickelt.

Aufgrund der Gefährlichkeit von Asbest gibt es mittlerweile eine EU-Richtlinie, die ein Asbestverbot – mit Ausnahme von Chrysotilasbest in Diaphragmen für die Elektrolyse – vorsieht, welches in den EU-Mitgliedsstaaten bis spätestens 1. Jänner 2005 in Kraft treten soll.

5.2 Künstliche Mineralfasern

Mit der Produktion künstlicher Mineralfasern wurde bereits in den 30er Jahren begonnen. Als künstliche Mineralfasern werden jene Fasern bezeichnet, die im Gegensatz zu Asbestfasern nicht im natürlichen Gestein vorkommen, sondern aus verschiedenen anorganischen Ausgangsstoffen industriell hergestellt werden.

Zu den künstlichen Mineralfasern zählt man Glas- und Steinwollen (s. Abb. 47 und 48 im Abb. Teil), Schlackenwollen und keramische Wollen. Aufgrund ihrer im Vergleich zu Asbest größeren Faserdimension und somit geringeren Lungengängigkeit stellen synthetisch hergestellte anorganische Mineralfasern ein geringeres Gesundheitsrisiko dar. Im Gegensatz zu Asbest, der sich auch longitudinal spalten kann, brechen synthetische Mineralfasern lateral, wodurch der Faserdurchmesser erhalten bleibt. Mineralfaserdämmstoffe entwickeln auch weniger Feinstaub als vergleichsweise Asbestmineralien (TAPPLER ET AL., 1995).

6 LITERATUR

AGRELL, S.O., 1945:

Mineralogical observations on some basic open-hearth slags. - J.Iron Steel Inst. Nr. 2, Bd. CLII, S. 19 – 55.

AUGUSTIN,-GYURITS, K., 1986:

Bericht über geochemische Charakterisierung von heimischen und importierten Kohlen und ihrer Verbrennungsprodukte. - Unveröffentl. Bericht, Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Wien.

BACCI, P., CARUSO, E., BRAGA MARCAZZAN, G. M., REDAELLI, P., SABBIONI, C., VETURA, A., 1984:

PIXE as a tool for elemental and size analysis of power station particulate emissions. Nuclear Instr. & Meth. In Phys. Res. B3, 522-525.

BARTSCH, P., HOLZAPFEL, Th. & SCHOLZ, H., 1986:

Mineralogische Zusammensetzung von Steinkohlenflugaschen. - TIZ Fachberichte, Vol. 110, Nr. 1

BARR, E. B., CHENG, Y.-S., YEH, H.-C., WOLFF, R. K., 1989:

Site characterization of carbonaceous particles using a Lovelace multijet cascade impactor/parallel-flow diffusion battery serial sampling train. Aerosol Sci. & Technol. 10, 205-212.

BEHRENDT, H., BECKER, W.M., FRIEDRICHS, K.H., DARSOW, U., TOMINGAS, R., 1992:

Interaction between aeroallergens and airborne particulate matter. Int. Arch. Allergy Immunol. 99, 425-428.

DÄSSLER, H.G., 1991:

Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. - Gustav Fischer Verlag

DEL MONTE, M., SABBIONI, C., VENTURA, A., ZAPPIA, G., 1984:

Crystal growth from carbonaceous particles. Sci. Total Environ. 36, 247-254.

DURRER, R. & VOLKERT, G., 1953:

Die Metallurgie der Ferrolegierungen. - Springer-Verlag, Berlin

EGGENBERGER, U., FORSS, A.-M., BACH, C., BURTSCHER, H., 1994:

Partikelcharakterisierung in Verbrennungsabgasen. Chimia 48, 232-239.

FÄBER, W., 1957:

Mikroskopie der Metallhüttenschlacken. - Hdb. d. Mikroskopie i.d.Technik, Bd. I, T. 1, S. 519 - 594, Frankfurt

FIEDLER, H.J. & RÖSSLER, H.J., 1988:

Spurenelemente in der Umwelt. - Enke

GREINER-BÄR, G., 1989:

Hohle Mikroglasskugeln - Herstellung, Eigenschaften und Anwendung. - Silikatechnik, Heft 1, 40

GUTHMANN, K., 1958:

Das Problem „Reinhaltung der Luft“ unter besonderer Berücksichtigung der Eisenhütten-, insbesondere Stahlwerksbetriebe. Radex-Rundschau, Heft 1, 3-30.

HEINRICHS, H. & BRUMSACK, H.-J., 1997:

Anreicherung von umweltrelevanten Metallen in atmosphärisch transportierten Schwebstäuben aus Ballungszentren. In: J., Matschullat, H.J., Tobschall, H.-J., Voigt (Hrsg.) Geochemie und Umwelt. Springer, Berlin, 442 pp.

IPCC, 1996:

Climate change. The science of climate change. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., Maskell, K., (eds.) Cambridge, UK, Cambridge University Press, 584 pp.

JAHN, H., RÖDELSBERGER, K., BRÜCKEL, B., MANKE, J., WOITOWITZ, H.-J., 1985:

Asbeststaubgefährdungen in Bremsendiensten. Staub, Reinhalt. Luft 45/2, 80-83.

KEIL, F., 1963:

Hochofenschlacken. - 2. Auflage, Düsseldorf

KERN, H., 1968:

Zur Geochemie und Lagerstättenkunde des Chroms und zur Mikroskopie und Genese der Chromerze. - Clausthaller Hefte, Heft 6, Gebrüder Borntraeger. Berlin - Stuttgart

KIENOW, S. & SEEGER, M., 1965:

Die Mikroskopie von Schamotte- und Silikaterzeugnissen. - Hdb. d. Mik. i.d. Technik, Bd. IV, Teil 3, S. 101 - 169, Frankfurt

KIRSCH, H., 1964:

Technische Mineralogie. - Vogel Verlag Würzburg

KLEIN, 1993:

Health effects of mineral dusts.

KOCH, L., 1936:

Schlackenforschung als Grundlage der Erforschung petrologischer Grundlagen. - Fortsch.Min. 20, S. 196 - 238

KOFLER, W. et al., 1992:

Lufthygienische Schwerpunktstudie Treibach-Althofen. - Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt

KONRAD, W. & JORDE, T., 1994:

Abfalleinsatz in der Zementindustrie. - Ökologieinstitut, Wien

LUEGMAYR, E. 1994:

Pollen in der Umweltanalytik. UBA-R-106, Umweltbundesamt Wien.

MATUSCHKA, B. & CLESS, F., 1936

Legierungen in der Edeltahlerzeugung. - Stahl und Eisen, H. 27, 56. Jahrgang, S. 757 - 766

MERKEL, Th., 1994:

Taschenbuch der Werkstoffe. - Fachbuchverlag Leipzig -Köln

NEINAVAIE, H., 1989:

Anomale Elementanreicherung in Bodenproben im Raum Leoben - Trofaiach - St. Michael - Krauth. - Unveröffentl. Bericht, Eisenerz

NEINAVAIE, H., 1990:

Mineralphasenuntersuchungen von Deponiematerial des Stahlwerkes Judenburg. - Unveröffentl. Bericht, Eisenerz

NEINAVAIE, H., 1992:

Mineralphasenuntersuchungen an Bleischlacke, pelletiertem Flugstaub sowie magnetischer Fraktion von Bodenproben aus dem Gebiet Zerjav/Slowenien. - Unveröffentl. Bericht, Eisenerz

NEINAVAIE, H., 1993:

Mineralphasenuntersuchungen an ausgewählten Proben (Mineralböden auf Auflagehorizonte) im Gebiet Krappfeld/Kärnten zwecks Verifizierung geogener und technogener Schwermetallgehalte; 1. Teilbericht. - Unveröffentl. Bericht, Eisenerz

- NEINAVAIE, H., 1993:
Verifizierung der anomalen Schwermetallgehalte in Boden- und Gesteinsproben an ausgewählten Proben - Projekt Alpe-Adria 1990.
- NEINAVAIE, H., 1994:
Mineralphasenuntersuchung als Werkzeug für gezielte Ansprache und Bewertung geogener und technogener Schwermetallverteilungen. - Unveröffentl. Bericht, Eisenerz
- NEINAVAIE, H., 1994:
Mineralogisch-phasenanalytische Bearbeitung von ausgewählten Bodenprobepunkten und Haldenmaterialien als Instrument kausalanalytischer Bewertung von Schwermetallgehalten und deren Zuordnung zu ihren Emissionsquellen (Köflach-Voitsberger Becken). - Unveröffentl. Bericht, Eisenerz
- NEINAVAIE, H., 1995:
Mineralphasenuntersuchungen in Auflage/Oberboden, Bereich Jesenice (Slowenien). - Unveröffentl. Bericht, Eisenerz
- NEINAVAIE, H., 1995:
Mineralphasenuntersuchungen in Auflage/Oberboden und Haldenmaterialien, Bereich Bleiburg/Lavamünd (Kärnten). - Unveröffentl. Bericht, Eisenerz
- NEINAVAIE, H., 1999:
Mineralphasenuntersuchungen an Kompostmaterial. - Unveröffentl. Bericht, Eisenerz
- NEINAVAIE, H. & PIRKL, H., 1994:
Sedimentuntersuchungen am Vordernbergerbach im Abschnitt Donawitz als Teilschritt zur Bewertung der Gewässerbeschaffenheit. - Unveröffentl. Bericht im Auftrag Leobener Umwelttechnik, Eisenerz
- NEINAVAIE, H. & PIRKL, H., 1995:
Dateninterpretation von Schwermetallen anhand von Sedimentuntersuchungen und Geostatistik an ausgewählten WGEV-Meßstellen in Salzburg. - Unveröffentl. Bericht im Auftrag BMLF, Eisenerz
- NEINAVAIE, H. & PIRKL, H., 1996:
Geogene Schwermetallverteilungen an BZI-Punkten Salzburgs. - Unveröffentl. Bericht im Auftrag BMWFK und Amt der Salzburger Landesregierung, Eisenerz
- NEINAVAIE, H. & PIRKL, H., 1996:
Bewertung von Schwermetallverteilungen in Böden und Flußsedimenten mit Hilfe angewandter mineralogischer und geostatistischer Werkzeuge. - Berichte der Geologischen Bundesanstalt, Band 34, Wien/Eisenerz
- NEINAVAIE, H. & PIRKL, H., 1997:
Entwicklung theoretischer Modelle als Basis für ein optimiertes Screening- und Bewertungssystem zur Evaluierung von Bergbau- und Hüttenstandorten in alpinen Kulturlandschaften. - Unveröffentl. Bericht im Auftrag Geologische Bundesanstalt, Eisenerz
- NOLL, W., 1991:
Alte Keramiken und ihre Pigmente. Studien zu Material und Technologie. - E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- OBENAUER, K.:
Mikroskopische Untersuchungstechnik der Eisenhüttenschlacken. - Hdb. d. Mikroskopie i.d. Technik, Bd. I, T. 1, S. 495 - 518
- OLSEN, W., 1949:
Forschungsergebnisse über Metall-Schlacken-Reaktionen. - Erzmetall 2, S. 328 - 334, 368 - 371
- PAOLETTI, L., DIOCIUTI, M., GIANFAGNA, A., VIVIANO, G., 1994:
Physico-chemical characterization of crystalline phases in fly ash. Mikrochim. Acta 114/115, 397-404.

- PFÄNDER, N., WEINBERG, G., WILD, U., SCHLÖGL, R., 1996:
Partikelemissionen von Ruß und Reifenabrieb – eine vergleichende Speziesanalytik mit chemischen, spektroskopischen und mikroskopischen Verfahren. VDI Berichte 1257, 309-312.
- PIRKL, H. (Projektl.), 1993:
Beschreibung des Bodenzustandes im Krappfeld hinsichtlich Problemelementbelastung in Abhängigkeit des geogenen Angebotes bzw. der anthropogenen Beeinflussung sowie die Bewertung von Böden in der Funktion als Schutzschicht über dem Grundwasser. Abschlußbericht. - Unveröffentl. Bericht, Eisenerz
- PIRKL, H., 1995:
Standardisierung der Untersuchungstechnik zur geochemischen Kartierung und bei Umweltgeochemie in Kalkarealen, 2. Phase. - Unveröffentl. Bericht im Auftrag Geologische Bundesanstalt, Eisenerz
- PLÖCKINGER, H. & STRUBE, H., 1965:
Die Edeltahlerzeugung - Springer-Verlag, Wien - New York
- RAMDOHR, P., 1954:
Klockmann's Lehrbuch der Mineralogie. - Stuttgart
- RAMDOHR, P., 1975:
Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. - 2. Auflage, Akademie-Verlag, Berlin
- RÖSLER, JH.J. & LANGE, H., 1976:
Geochemische Tabellen. - Ferdinand Enke-Verlag, Stuttgart
- RODRIGUEZ-NAVARRO, C. & SEBASTIAN, E., 1996:
Role of particulate matter from vehicle exhaust on porous building stones (limestone) sulfation. Sci. Total Environ. 187, 79-91.
- SCHINDLER, I., RONNER, C., 1998:
Stand der Technik bei der Glasherstellung. UBA-R-152, Umweltbundesamt Wien.
- SCHREITER, P., 1968:
Zum Phasenaufbau von Braunkohlenfilteraschen. - Silikatechnik
- SEELIGER, E. & MÜCKE, A., 1974:
Kosmischer Staub oder irdische Verbrennungsfunken? - Chem. Erde, Bd. XXXIII
- SPINDELBALKER, Ch., 1990:
Montanwerke Brixlegg. Wirkungen auf die Umwelt. – UBA-M-025, Umweltbundesamt, Wien
- STRASSEN, H., 1936:
Neuere Forschungen über Mehrstoffsysteme mit Eisenoxyden. - Fortsch.Min. 20, S. 239 - 289
- TAPPLER, P., SPRITZL, G., THEUER, W., 1995:
Luftverunreinigungen in Innenräumen. Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen ÖBIG, Wien.
- TAVASCI, B., 1949:
Amerikanische feuerfeste Magnesit- und Chrommagnesitsteine. - Radex-Rundschau, Heft 7
- TRIMBACHER, C. & WEISS, P., 1997:
Wachsqualität, Nähr- und Schadstoffkonzentrationen von Fichtennadeln an belasteten und unbelasteten Standorten in Österreich. UBA-M-090, Umweltbundesamt Wien.
- TRÖGER, W.E., 1969:
Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. - Teil 1 Bestimmungsband, Teil 2 Textband, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung

- TROJER, F., 1961:
Mineralogische Untersuchungsverfahren auf dem Gebiet des Hüttenwesens mit Beispielen über Verschleißvorgänge an Gittersteinen. - Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft e.V., Band 38, Heft 12, S. 557 - 566
- TROJER, F., 1963:
Die oxidischen Kristallphasen der anorganischen Industrieprodukte. - E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- TROJER, F., 1965:
Zur Mikroskopie des Portland-Zement-Klinkers und seiner Rohstoffe. - Hdb. d. Mikroskopie i.d. Technik, Bd. IV, Teil 3, S. 333 - 389, Frankfurt
- TROJER, F., 1965:
Die Kristallkomponenten der gebrannten Magnesit- und Chrommagnesitsteine. - Hdb. d. Mik. i.d. Technik, Bd. IV, Teil 3, S. 171 - 197, Frankfurt
- TROJER, F., 1966:
Zur Sammelkristallisation des Periklases. - Radex-Rundschau, H. 6, S. 286 - 293
- TRÖMEL, G. & JÄGER, W., 1955:
Untersuchungen im System Eisen-Eisenoxyd-Kalk. - Archiv für das Eisenhüttenwesen, 26. Jahrgang, Heft 11, S. 687 - 700
- VEREIN DEUTSCHER EISENHÜTTENLEUTE:
Schlackenatlas. - Verlag Stahleisen m.b.H., Düsseldorf 1981
- VOGEL, W.R., 1991:
Die Treibacher Chemischen Werke. Wirkungen auf die Umwelt. - Umweltbundesamt, Monographien, 26, Wien.
- VOLAND, B. & GÖTZE, J., 1988:
Gesetzmäßigkeiten der geochemischen Zusammensetzung von Aerosolen unterschiedlicher Herkunft. - Z. angew. Geol., 34
- WEISS, P. & TRIMBACHER, C., 1998:
Nadeloberflächenparameter und Elementgehalte von Fichtennadeln ausgewählter Industriestandorte. Untersuchungsergebnisse 1996. UBA-R-154, Umweltbundesamt Wien.
- WERNER, M., ADAM, K. & SCHREITER, P., 1988:
Die chemische Zusammensetzung der Glasphase und quantitative Phasenbestände von Flugaschen braunkohlenbefuerter Großkessel. - Silikatechnik, Heft 8, 39
- WECHT, P., 1965:
Mikroskopie der technischen Siliziumcarbide. - Hdb. d. Mik. i.d. Technik, Bd. IV, Teil 3, S. 201 - 212, Frankfurt
- WEDEPOHL, K.H., 1967-1978:
Handbook of Geochemistry. - Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York
- WHO, 1998:
Environmental health criteria **203**, chrysotile asbestos. World Health Organization, Geneva.
- ZSCHACH, S., 1978:
Mineralogische Eigenschaften von Braunkohlenfilteraschen. - Chem. Erde, Bd. 37, S. 330 - 356
- ZEDNICEK, W., 1968:
Mineralogische Untersuchungen an gebrauchten basischen feuerfesten Steinen zur Beurteilung von Verschleißvorgängen. - Radex-Rundschau, Heft 4/5, S. 323 - 341

7 ABBILDUNGSTEIL

Abb. 1: REM-Aufnahme von Pollenkörnern des Wiesenknäuelgrases (*Dactylis glomerata*) aus einem städtischen Ballungsraum mit anhaftenden Staubpartikeln. Vergrößerung: 1450fach.
Aus Luegmayr, E. 1994: *Pollen in der Umweltanalytik*. UBA-R-106, Umweltbundesamt Wien.

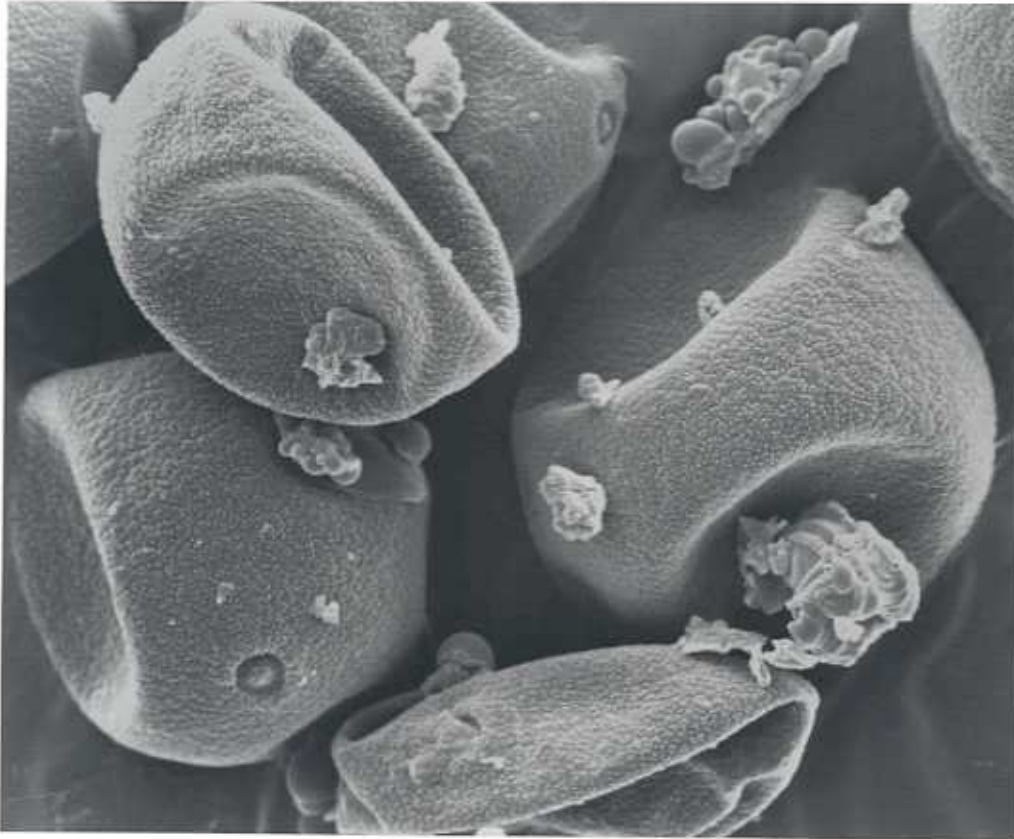


Abb. 2: REM-Aufnahme eines Dieselrußaggregates. Vergrößerung: 3000fach.

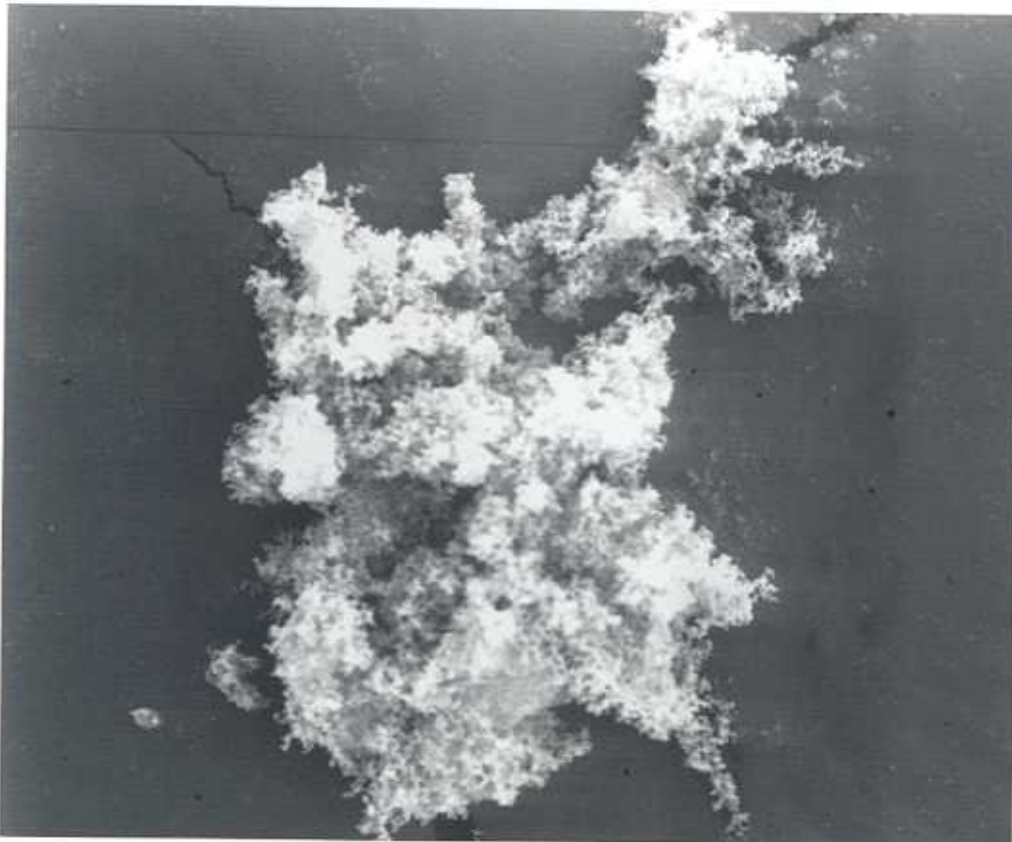


Abb. 3: polierter Anschliff von Streugut (Bachsediment, magnetische Fraktion). Magnetit (1) wird durch Hämatit (2) unregelmäßig verdrängt. In der Bildmitte ein geogenes Chromitkorn mit Chrommagnetit-Saum. Rechts im Bild Magnetitdendriten in Mn-Olivin (technogen). Ölimmersion. Marke = 0.05 mm

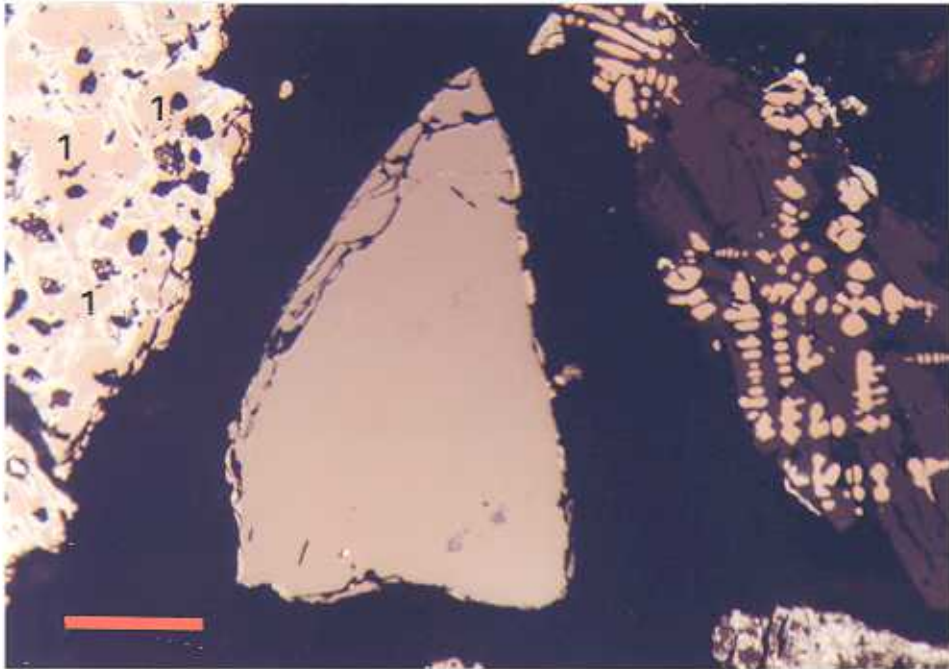


Abb. 4: REM-Aufnahme von Glaspartikeln, welche für Fahrbahnmarkierungen verwendet werden. Vergrößerung: 130fach.

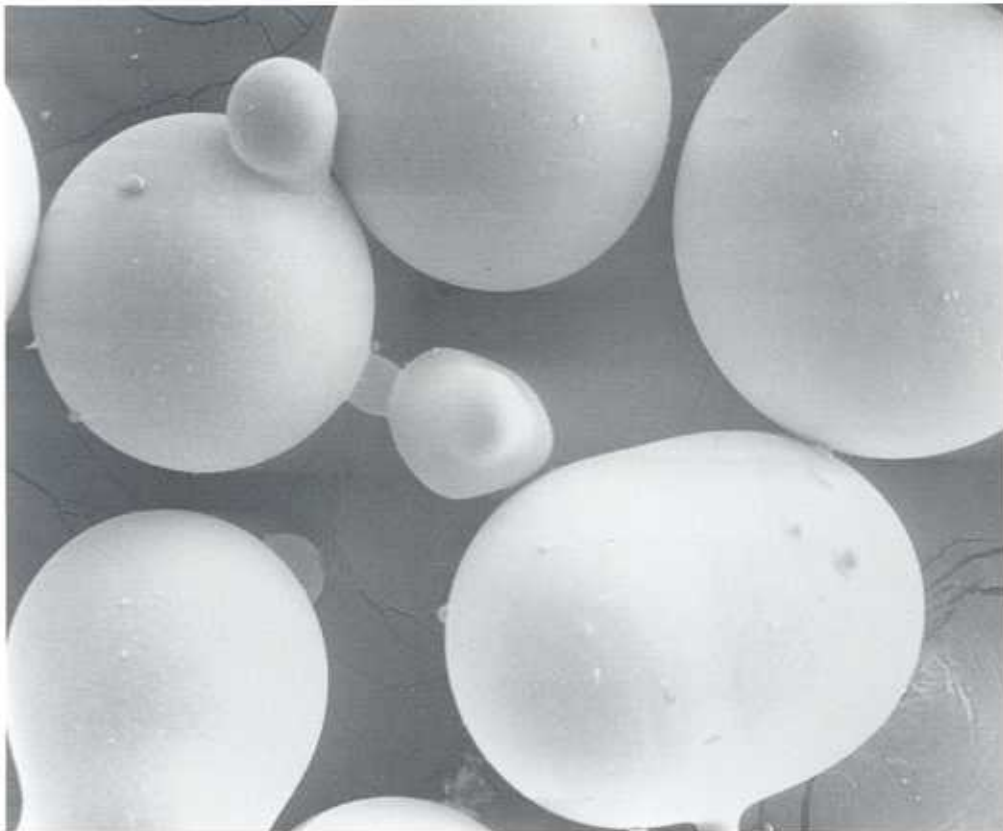


Abb. 5: EDX-Spektrum der Glaspartikel in Abbildung 4.

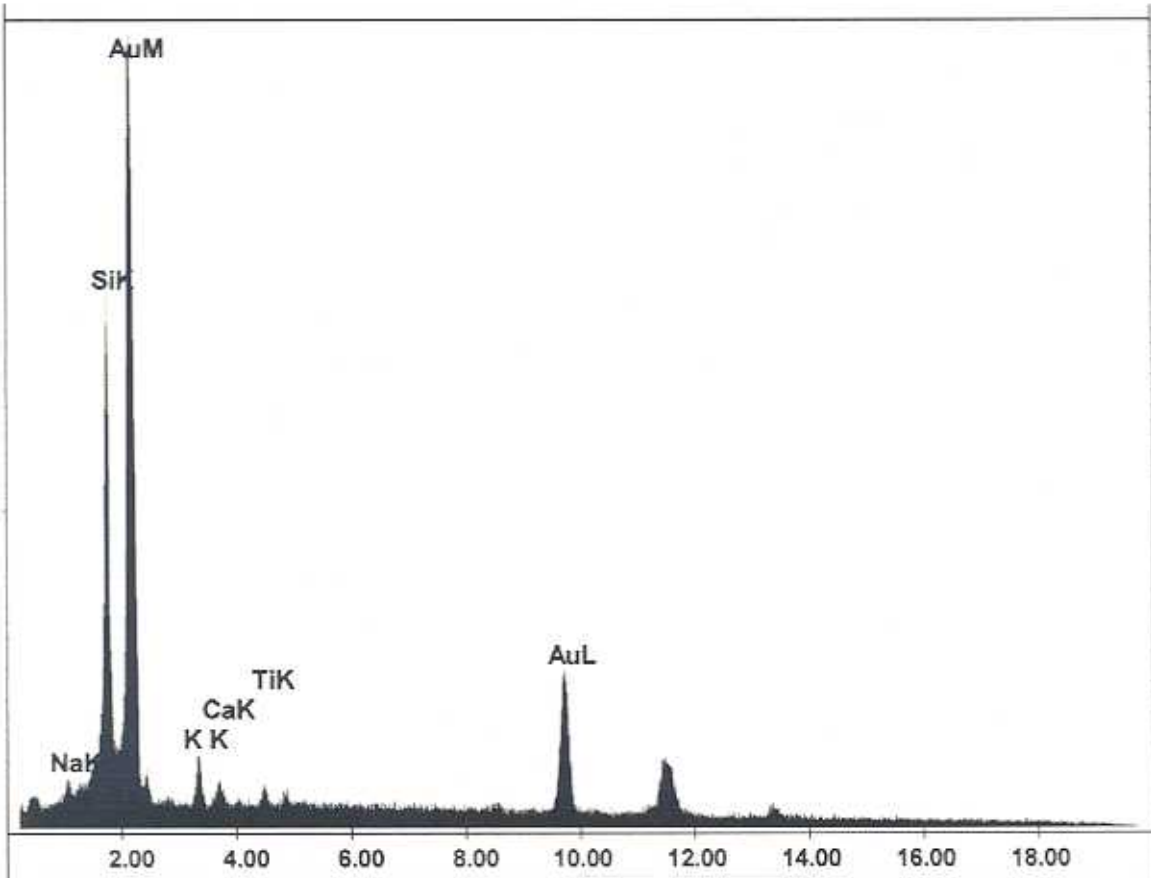


Abb. 6: polierter Anschliff einer Kohlekraftwerks-Asche (magnetische Fraktion). In der rechten Bildhälfte ein hohlkugeliges Korn mit dendritischen Magnetitkristallen, welches randlich durch Hematit (weiß) verdrängt wird. Links eine Glasphase (dunkel) mit entglasten Spinell- und Magnetitkristallen. Olmersion. Marke = 0.05 mm



Abb. 7: polierter Anschliff einer Kohlekraftwerks-Asche (magnetische Fraktion). Unregelmäßiges, kohliges Material mit Einschlüssen von Magnetkies (weiß, z. T. globular). Ölimmersion Marke = 0.05 mm



Abb. 8: REM-Aufnahme eines hohlkugeligen Partikels. Vergrößerung: 4500 fach.



Abb. 9: REM-Aufnahme eines unregelmäßig geformten, porösen Partikels (vermutliche Quelle: Hausbrand). Vergrößerung: 1350fach.

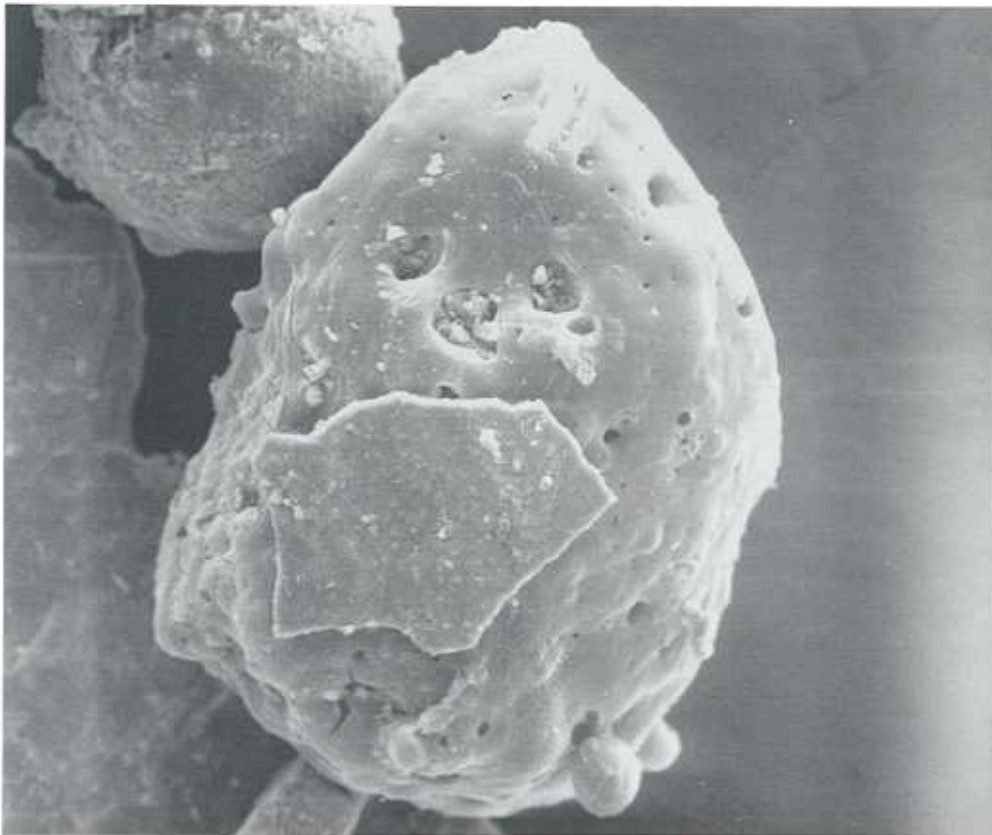


Abb. 10: EDX-Spektrum zu Abbildung 9

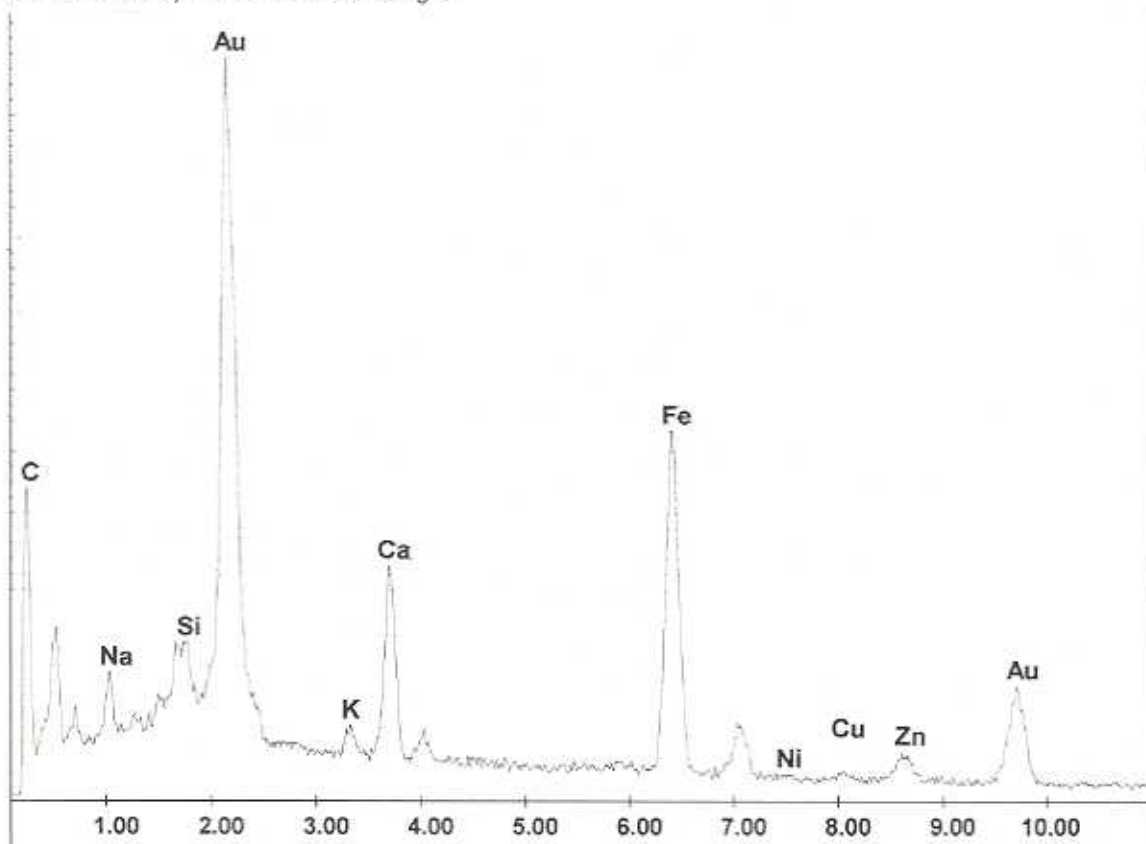


Abb. 11: polierter Anschliff eines unregelmäßigen, hohlkugeligen Korns aus feindendritischen Magnetitkristallen mit Hämatitsaum (weiß). Solche Partikel finden sich in Kohlekraftwerks-Aschen und seltener in Hausbrandaschen. Ölimmersion. Marke = 0.05 mm

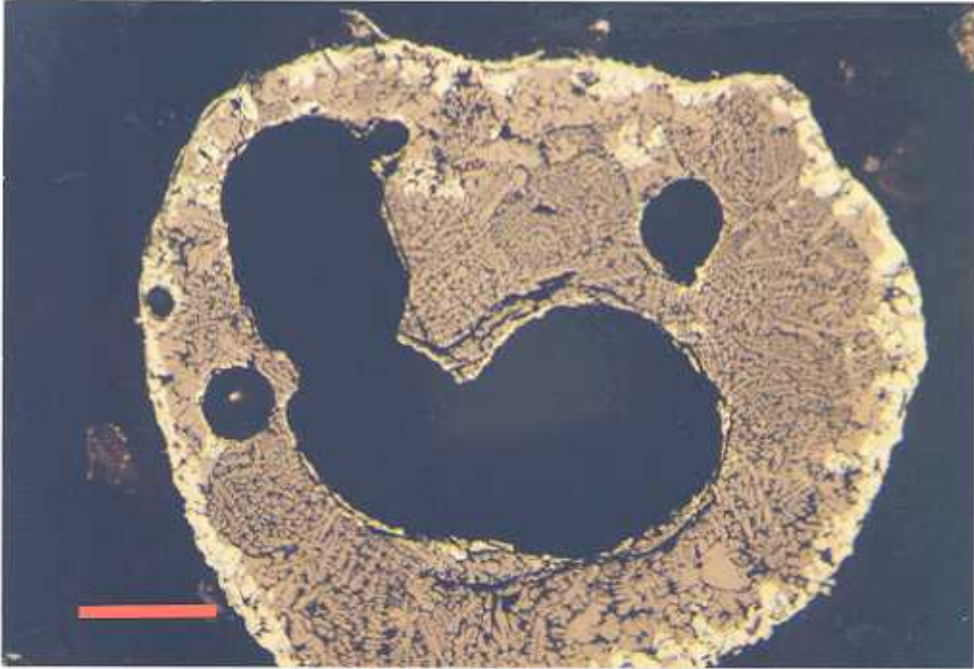


Abb. 12: im Text Seite 12

Abb. 13: REM-Aufnahme einer kugeligen $RO-R_2O_3$ -Mischphase mit leistenförmigem Ca-Ferrit auf einer Fichtennadel nahe eines Stahlwerks. Vergrößerung: 5200fach.

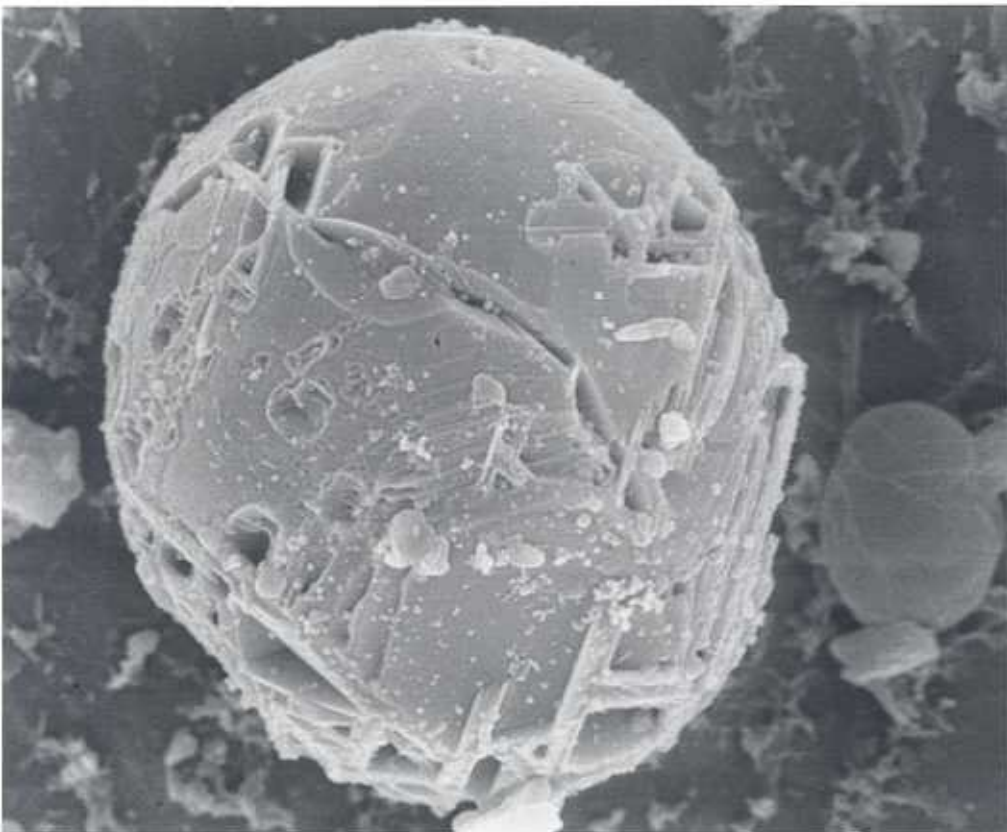


Abb. 14: REM-Aufnahme einer hohlkugelligen $RO-R_2O_3$ -Mischphase auf einer Fichtennadel nahe eines Stahlwerks. Vergrößerung: 4400fach. Die Form entstand wahrscheinlich durch rasche Entgasung.

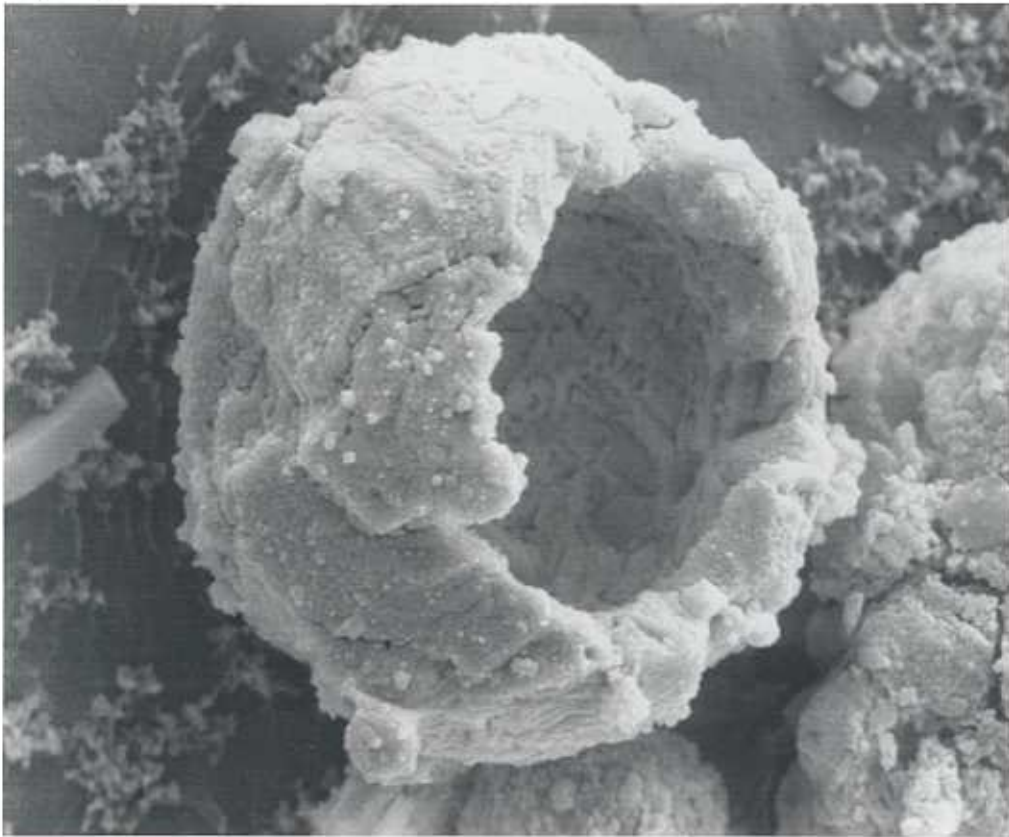


Abb. 15: polierter Anschliff eines globularen Partikels (Bachsediment nahe Eisen- und Stahlindustrie, magnetische Fraktion) mit dendritisch ausgebildeten Magnetitkristallen (braun), die von Rand her durch Oxidation von Hämatit (weiß) verdrängt werden. Ölimmersion, Marke = 0.05 mm

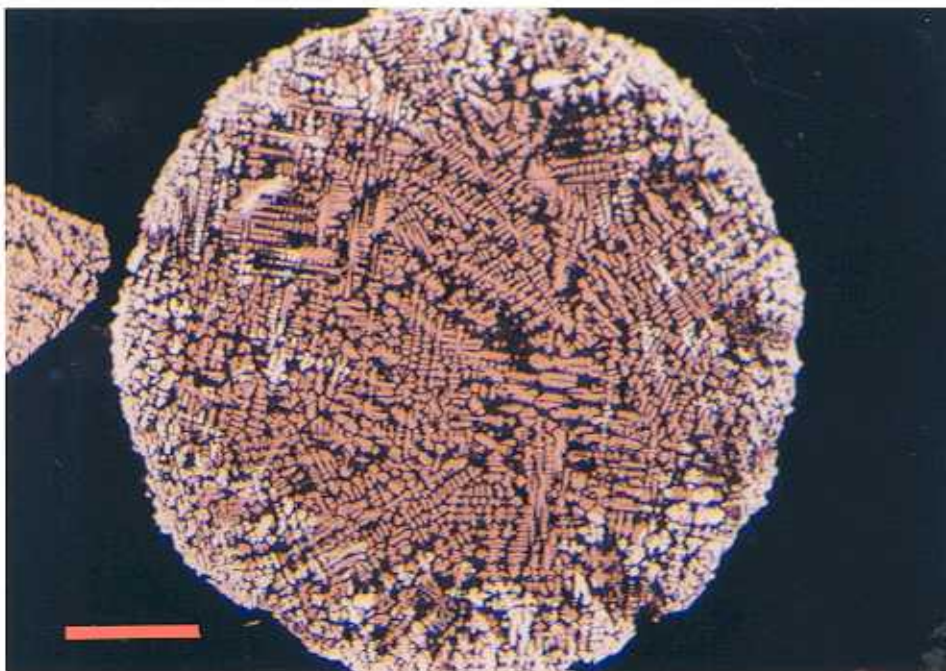


Abb. 16: polierter Anschliff von LD-Staub/Filtermaterial. Ein ovales Korn aus leistenförmigen (Ca, Al-) Ferriten in Calciumferrit-Matrix. Ölimmersion, Marke = 0.05 mm (s.auch Abb. 13).

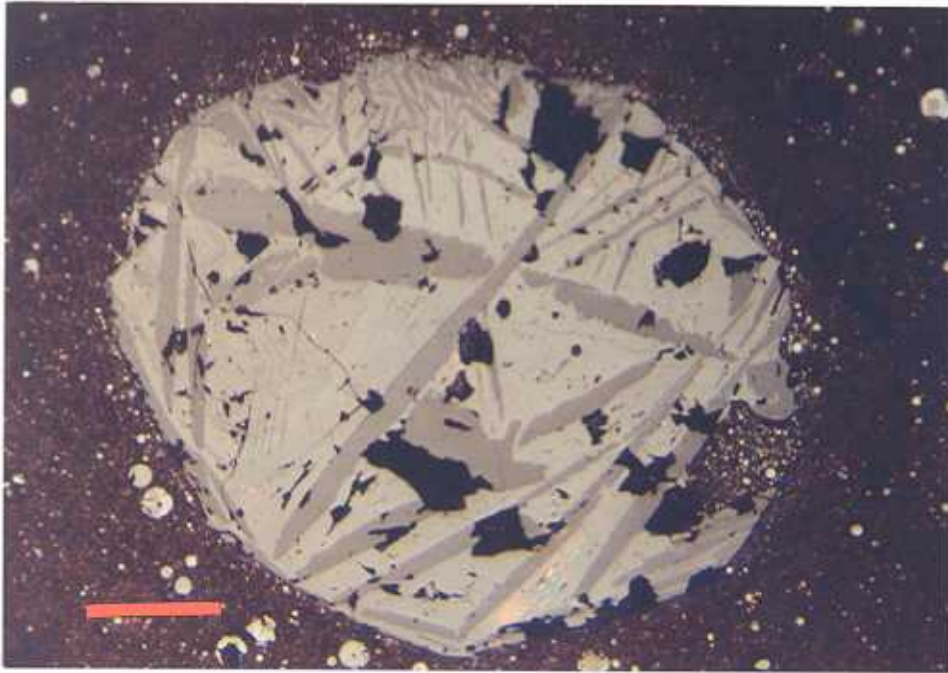


Abb. 17: polierter Anschliff einer Bachsedimentprobe nahe Eisen- und Stahlind. (magnetische Fraktion). Hohlkugelförmiger Wüstit (oben links), Hämatit (2) und eng verwachsene Kornaggregate (Schlacke) aus Calciumferrit (1), (Ca, P)-Silikat (schwarz), RO-Phase (3) und metall. Eisen (weiß) rechts im Bild. Ölimmersion, Marke = 0.05 mm.

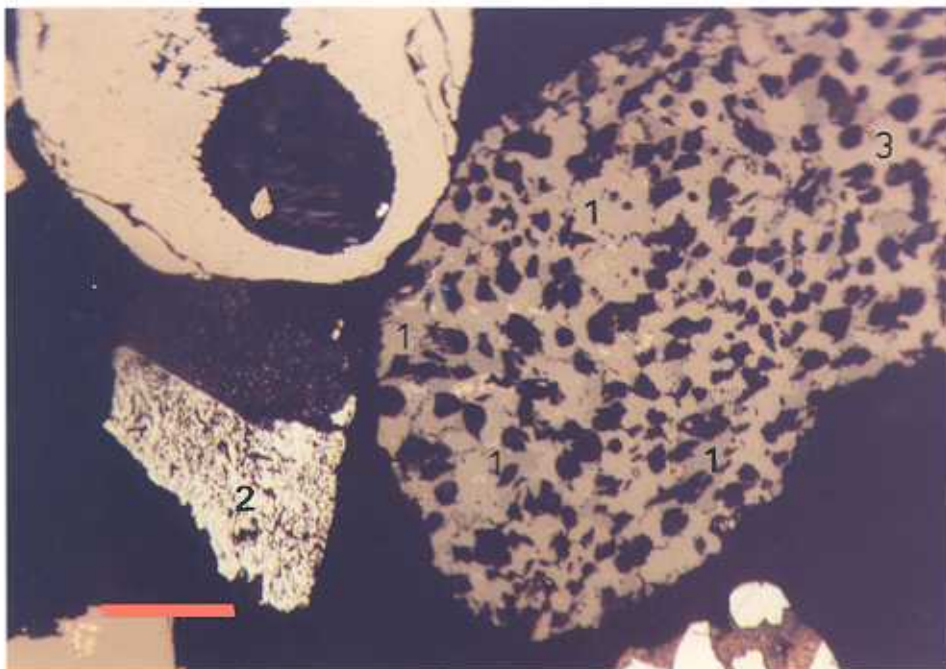


Abb. 18: REM-Aufnahme eines globularen (Fe, Mn)-Mischoxidkorns aus einer Staubprobe nahe Eisen- und Stahlindustrie. Vergrößerung: 2000fach.

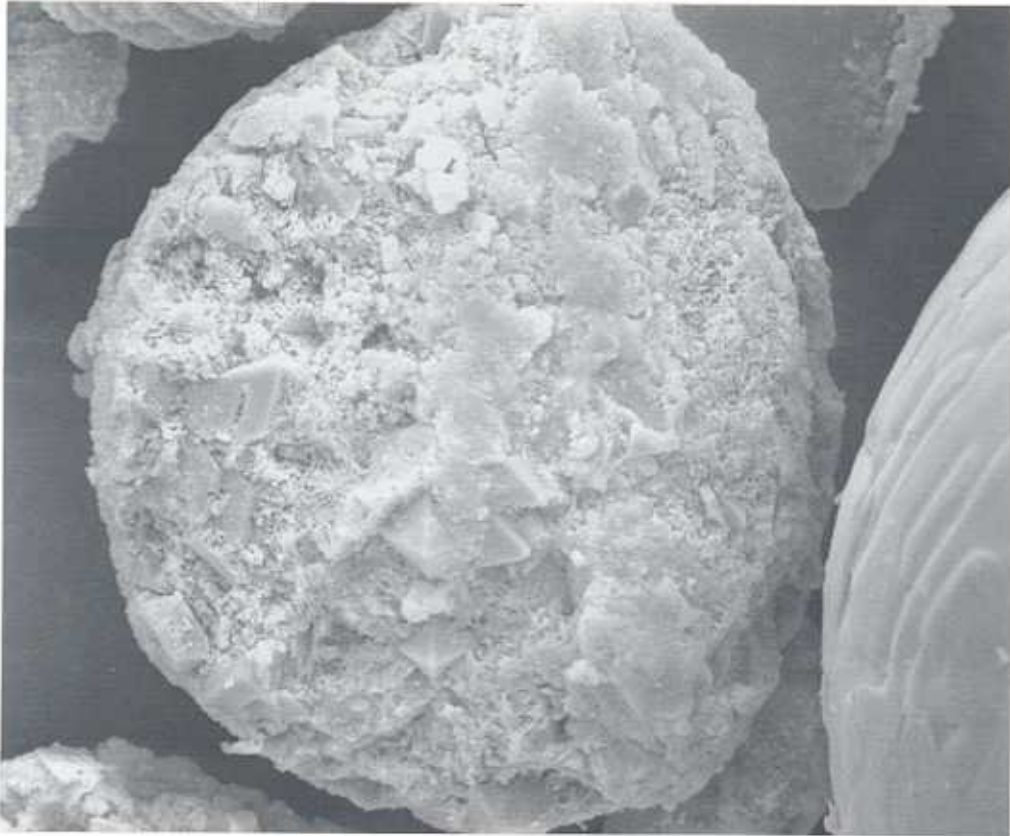


Abb. 19: REM-Aufnahme (Detail) des Mischoxidkorns in Abb. 18. Auffällig sind die oktaedrisch geformten Manganoxidkristalle. Vergrößerung: 6000fach.



Abb. 20: polierter Anschliff von Staubpartikeln eines Filtrerrückstandes einer Schneeprobe nahe Eisen- und Stahlind. (magnetische Fraktion). Metallischem Eisen (weiß), globularem Calciumferrit (1) und Eisen-Mangan-Mischoxiden (LD-Staub), Verwachsung von stengeligen Calciumferritkristallen (3) mit RO-Phase (4) (Sinterprodukte) und Koks (5). Unten links im Bild ein kugeliges Partikel aus Glas (Matrix) mit Einschlüssen von (Fe,Mn)-Oxidphasen. Ölimmersion, Marke = 0.05 mm.

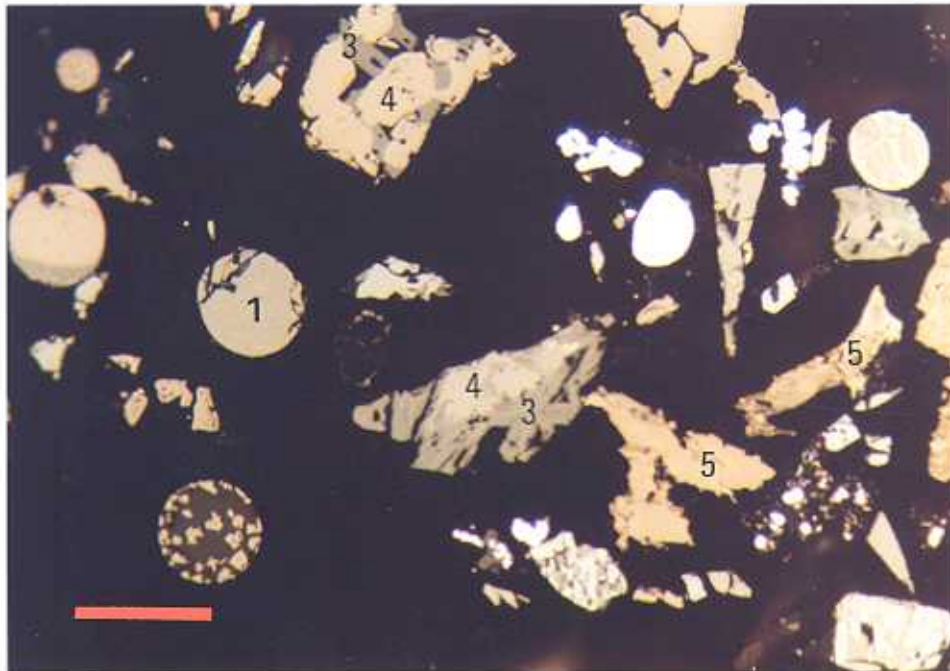


Abb. 21: REM-Aufnahme von Thomasmehl. Vergrößerung: 1400fach.

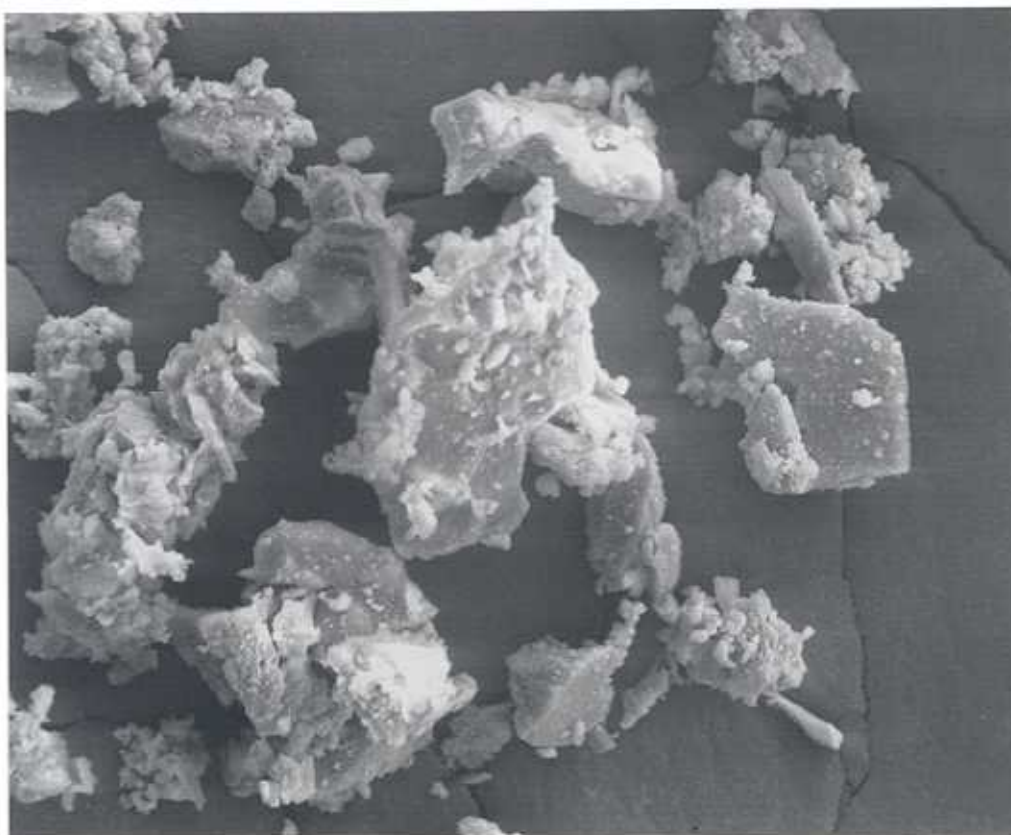


Abb. 22: polierter Anschliff von Thomasmehl. (Fe,Mn,Ca,Mg)-Mischoxide mit Einschlüssen und Verwachsungen von (Ca,P)-Silikaten (schwarz, z.T. idiomorph), Brownmillerit (1), Calciumferrit (2) und metallisches Eisen (weiß).

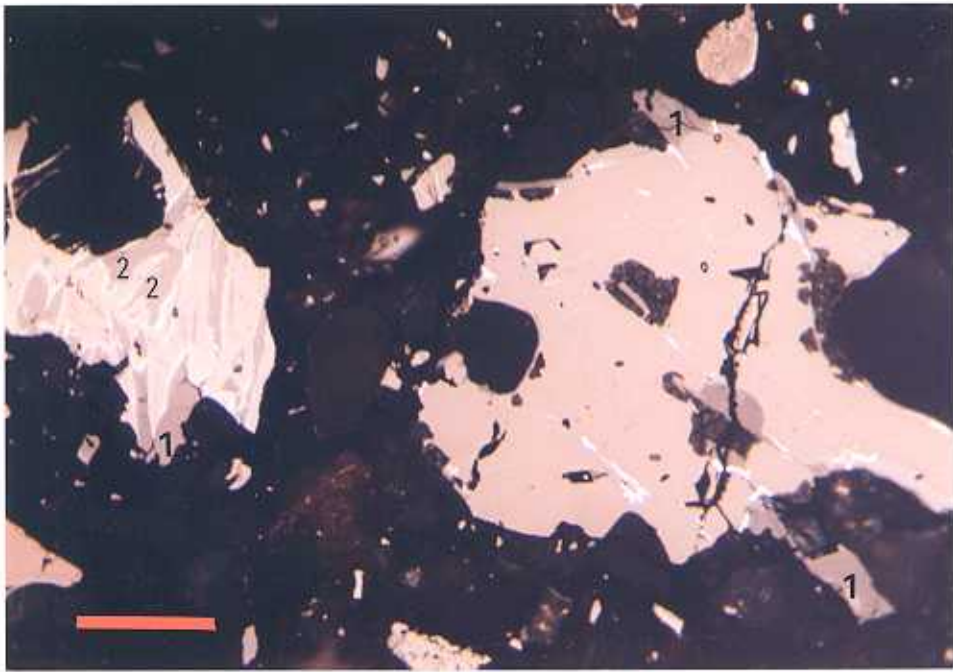


Abb. 23: EDX-Spektrum von Thomasmehl in Abb. 21

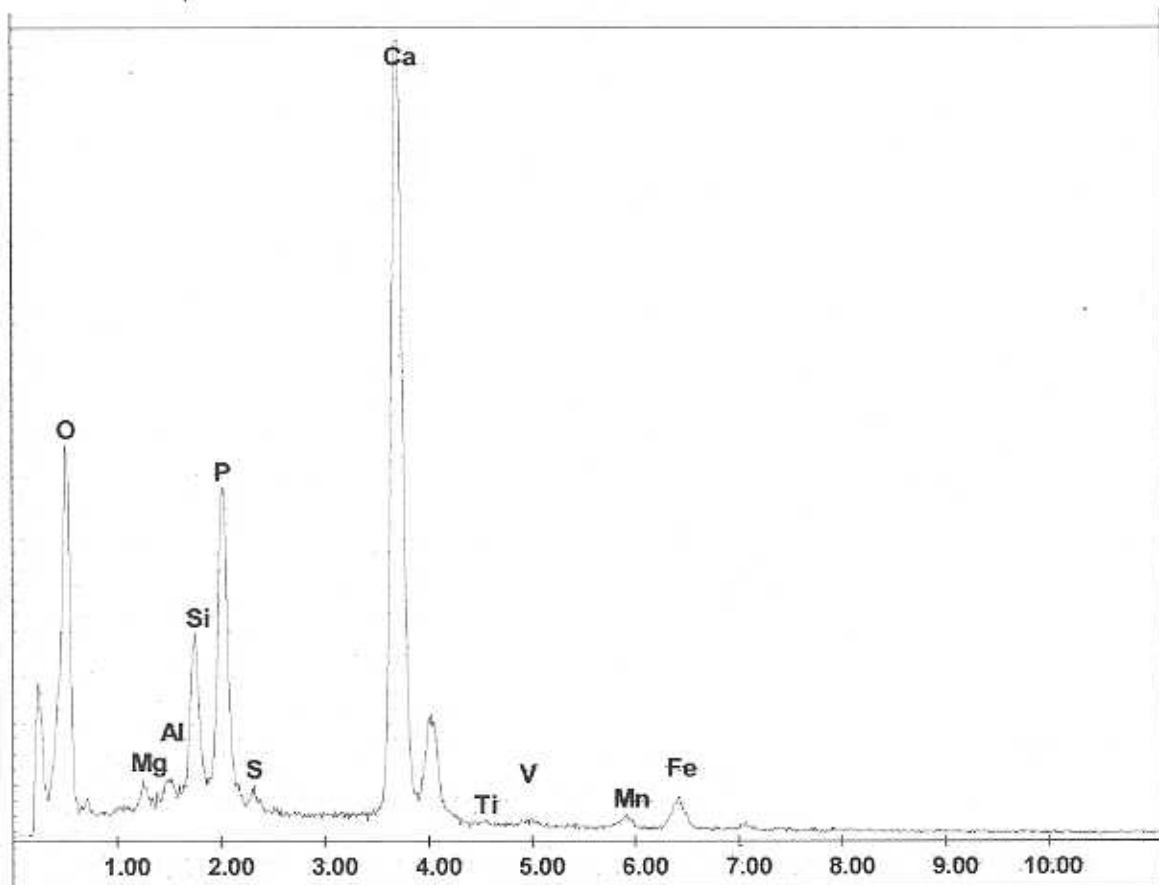


Abb. 24: polierter Anschliff einer Bodenprobe nahe glaserzeugendem Betrieb (magn. Fraktion). Stengelige bis tafelig ausgebildete Apatitkristalle (meist V-hältig), eng mit Calciumferrit (1) und R0-Phase (2) verwachsen. Unten links ein globulares Magnetitkorn. Ölimmersion. Marke = 0.05 mm.

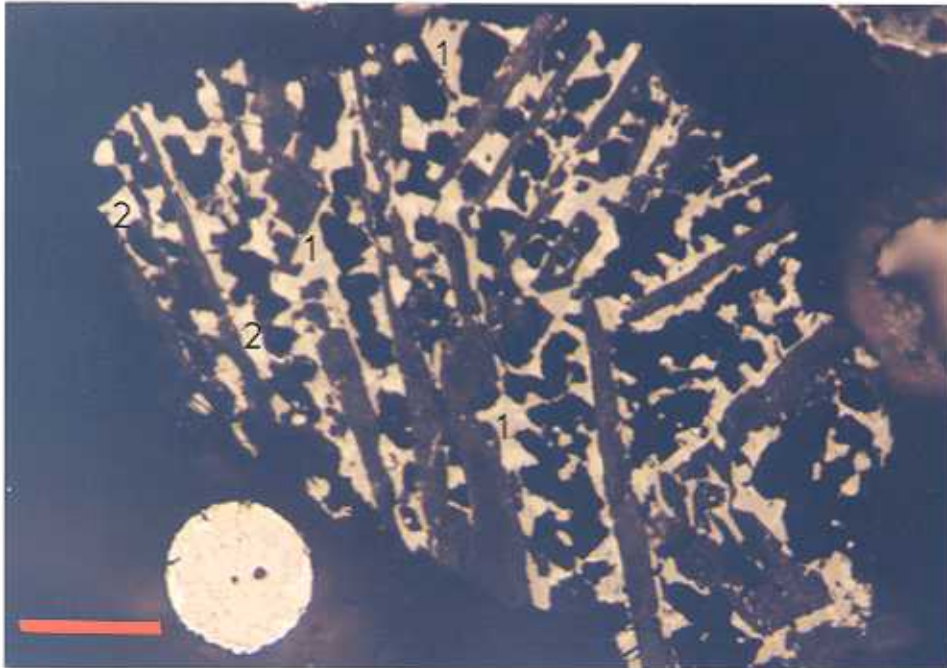


Abb. 25: EDX-Spektrum eines Apatits, V-führend, Nahbereich eines glasverarbeitenden Betriebs.

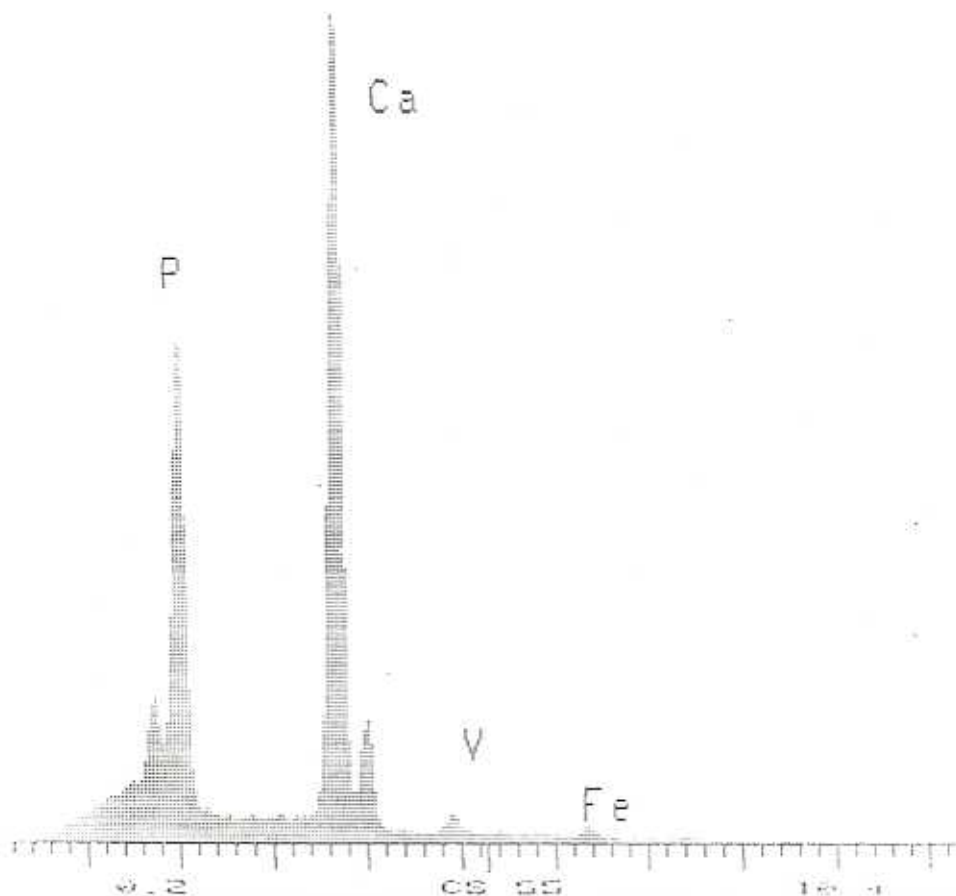


Abb. 26: Schliffbild prismatischer und tafeliger Calciumferritphasen (C) und Apatit (A), Wüstit bzw. RO-Phase (R) und metallisches Eisen. Polierter Anschliff, AP-Horizont/magnetische Fraktion. Ölimmersion, Marke = 0.05 mm

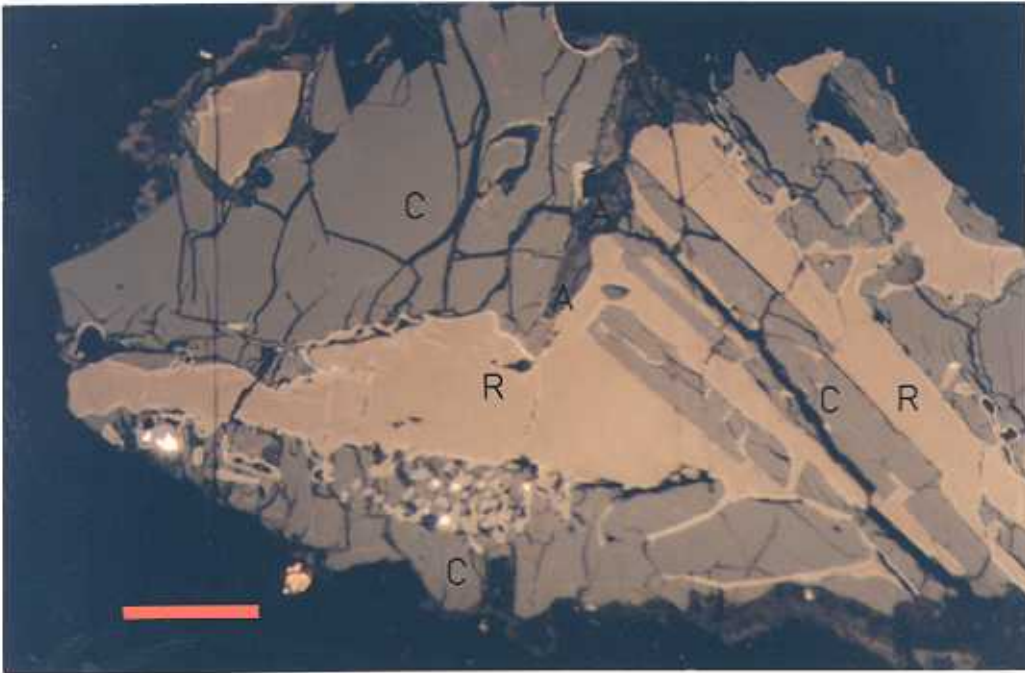


Abb. 27: REM- Aufnahme eines Kornaggregats aus Calciumferrit-RO-Mischphase, Nähe Zementwerk, Vergrößerung: 1500fach.

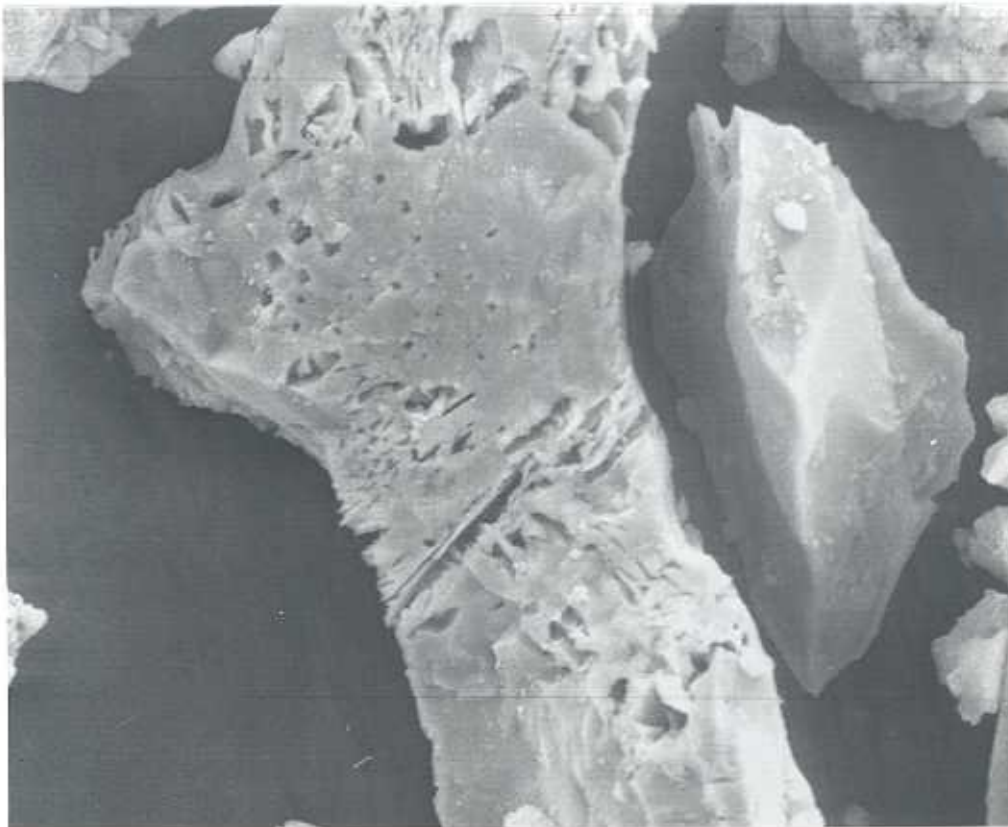


Abb. 28: Detailaufnahme von Abb. 27, Calciumferrit (leistenförmig) in RO-Mischphase. Vergrößerung: 2500fach.



Abb. 29: EDX-Spektrum der Calciumferrit-RO-Mischphase zu Abb. 27.

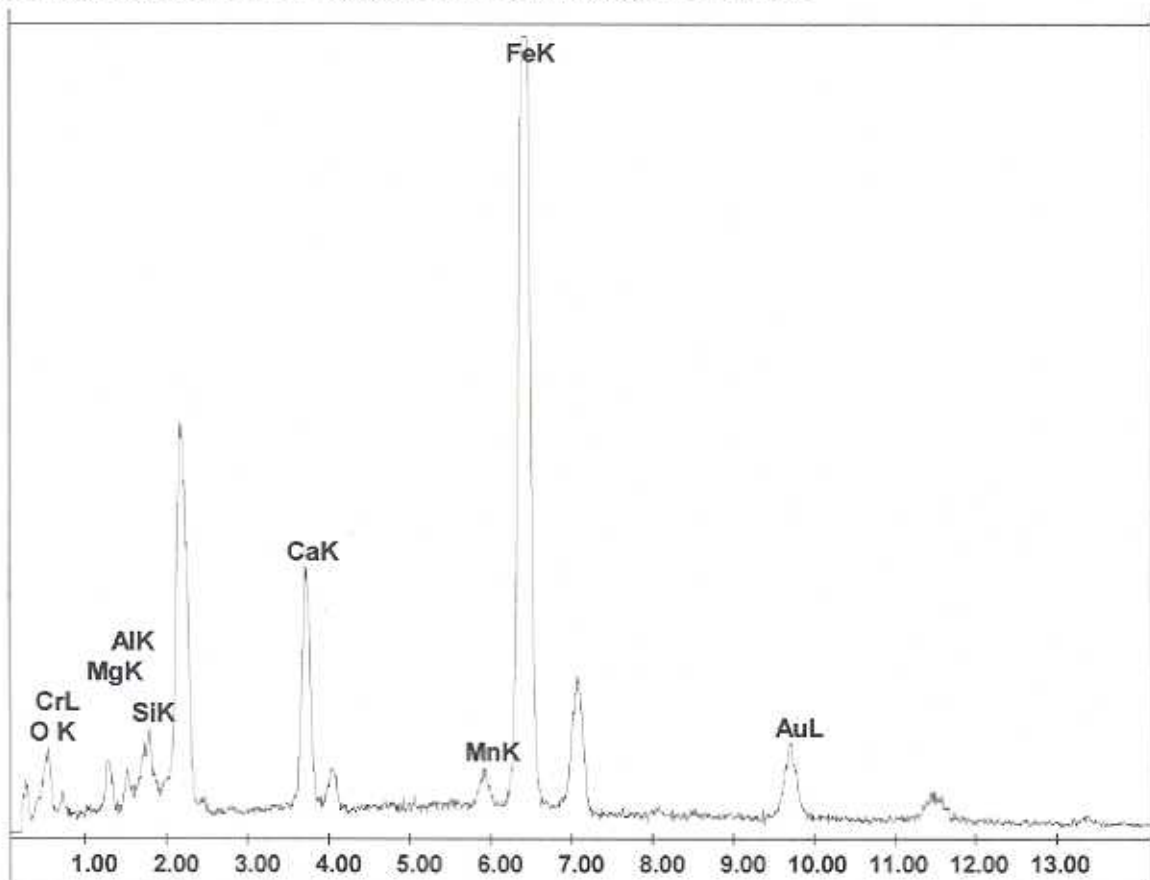


Abb. 30: REM-Aufnahme einer hohlkugelligen RO-Phase mit Mikropartikeln im Inneren nahe Zementwerk. Vergrößerung: 2200fach.

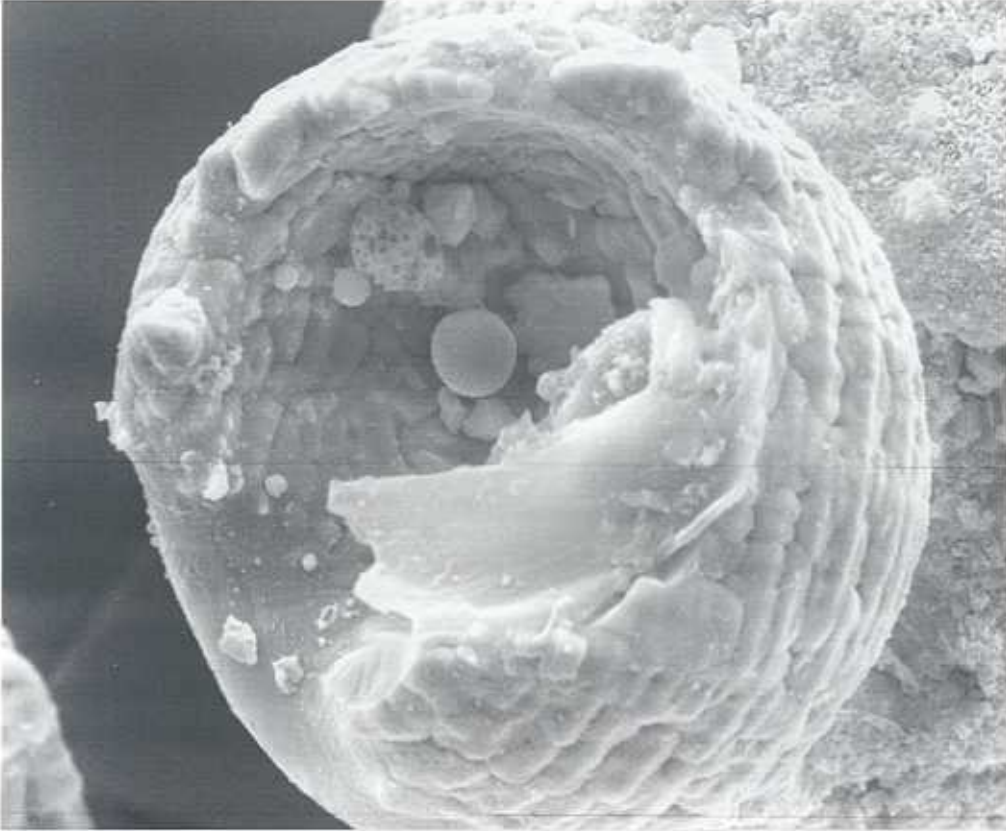


Abb. 31: REM-Aufnahme eines dendritischen Spinellkorns (mögliche Herkunft: LD-Schlacke als Zuschlagstoff) nahe Zementwerk. Vergrößerung: 2800fach.



Abb. 32: EDX-Spektrum des Spinellkorns in Abb. 31.

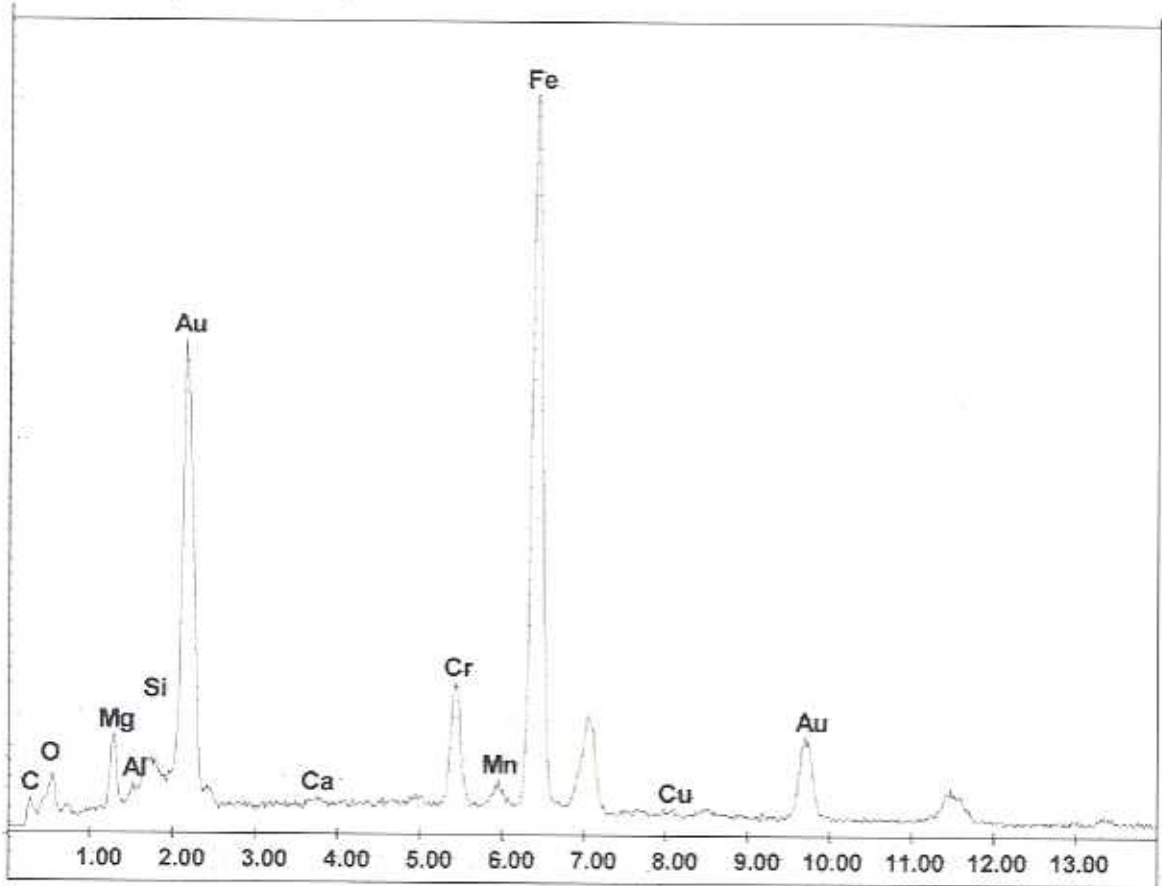


Abb. 33: REM-Aufnahme eines unregelm., durchbrochenen Kornaggregats (Glas-RO-Mischphase) nahe Zementwerk. Vergrößerung: 1100fach.

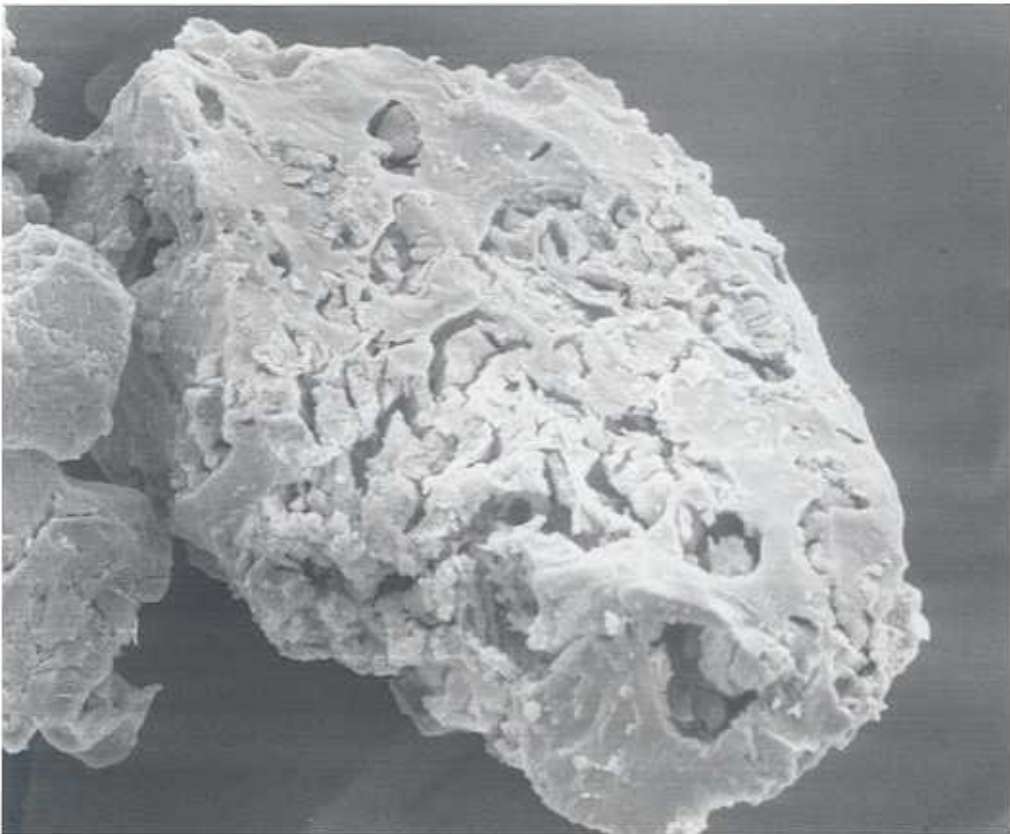


Abb. 34: EDX-Spektrum der Mischphase in Abb. 33. Typische Elemente für die Glasphase sind Silizium (Si) und Aluminium (Al), für die RO-Phase Mangan (Mn) und Eisen (Fe).

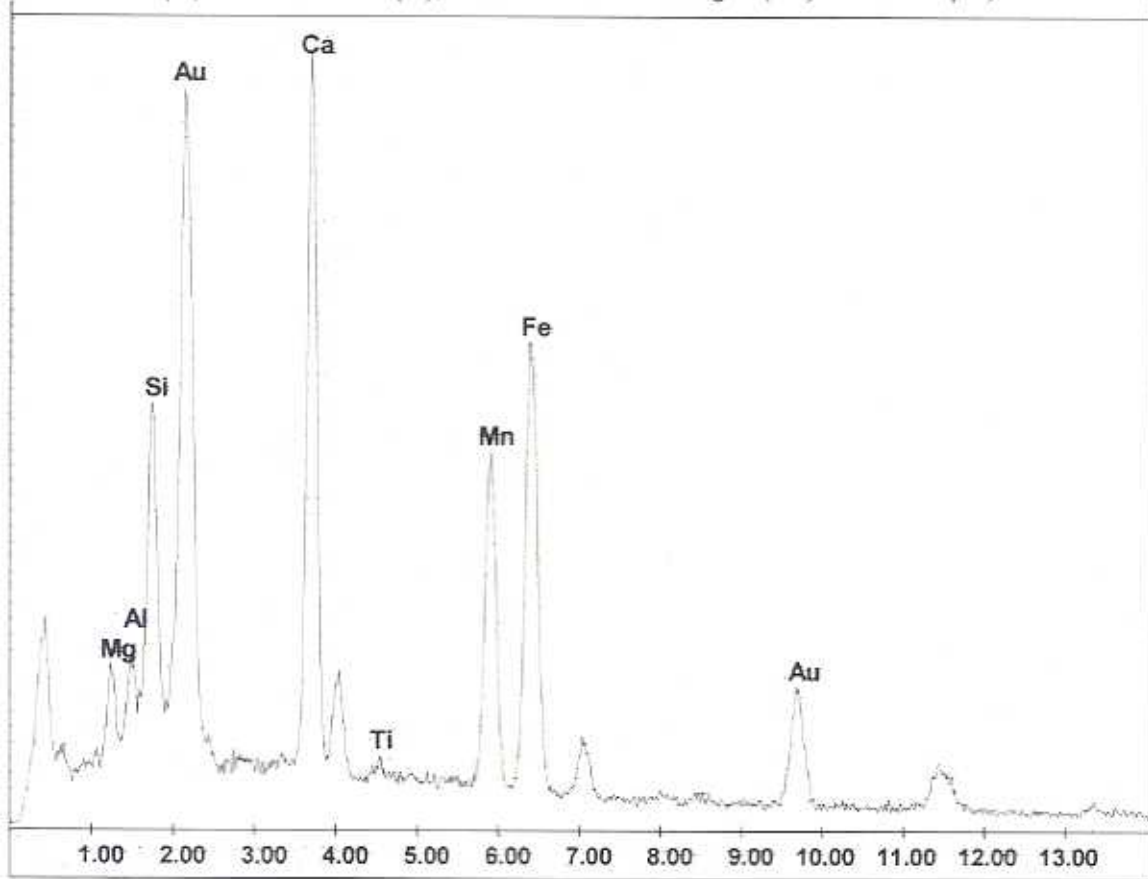


Abb. 35: REM-Aufnahme einer unregelm., blasigen Magnesioferrit-Mischphase nahe Magnesitwerk. Vergrößerung: 1400fach.

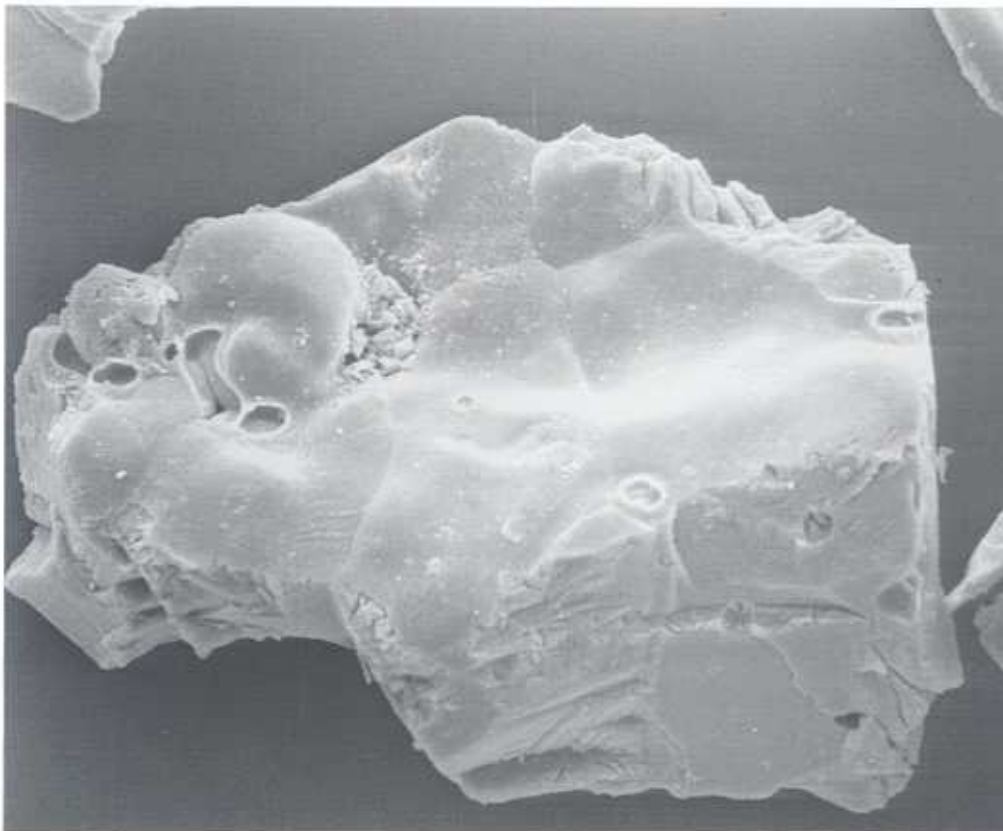


Abb. 36: EDX-Spektrum der Magnesioferrit-Mischphase in Abb. 35.

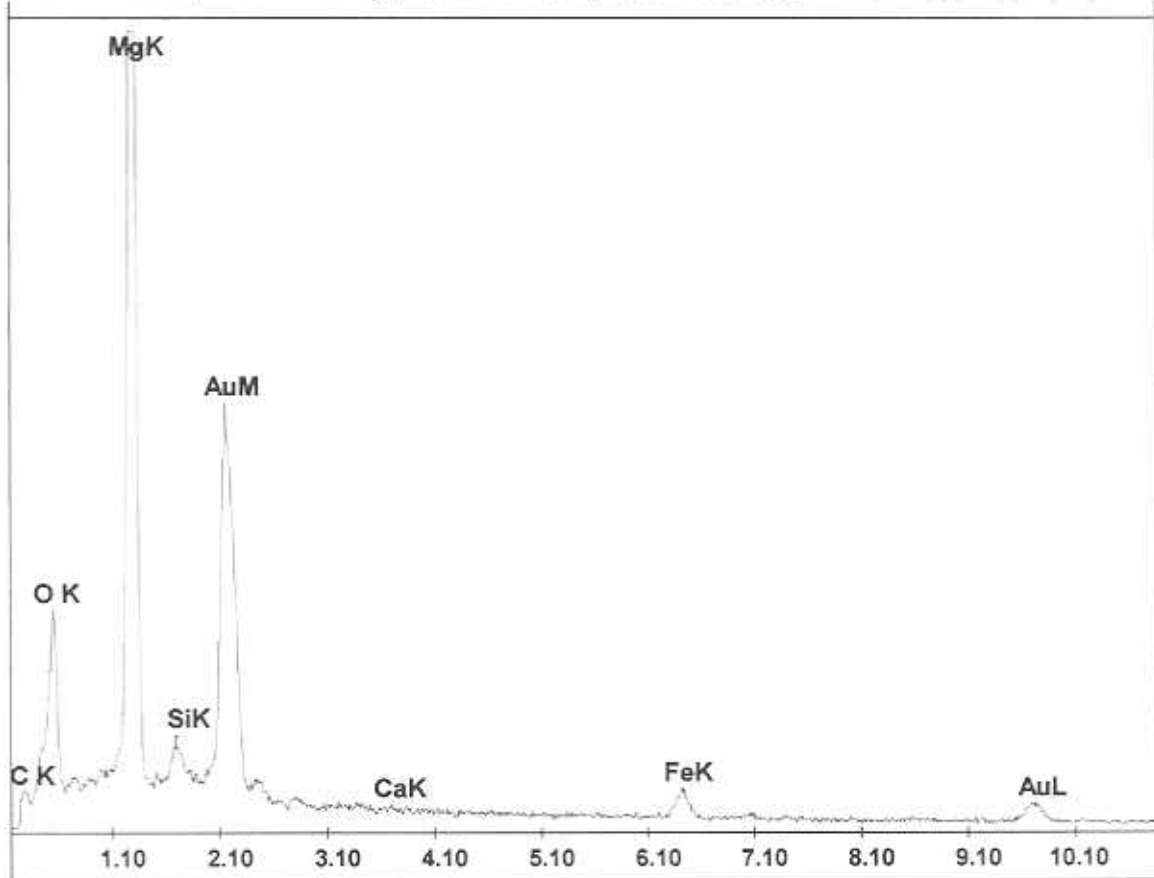


Abb. 37: REM-Aufnahme eines rd. 60 µm großen, globularen Kornaggregats aus Ferrochromspinellen nahe Magnesitwerk. Vergrößerung: 1400fach.

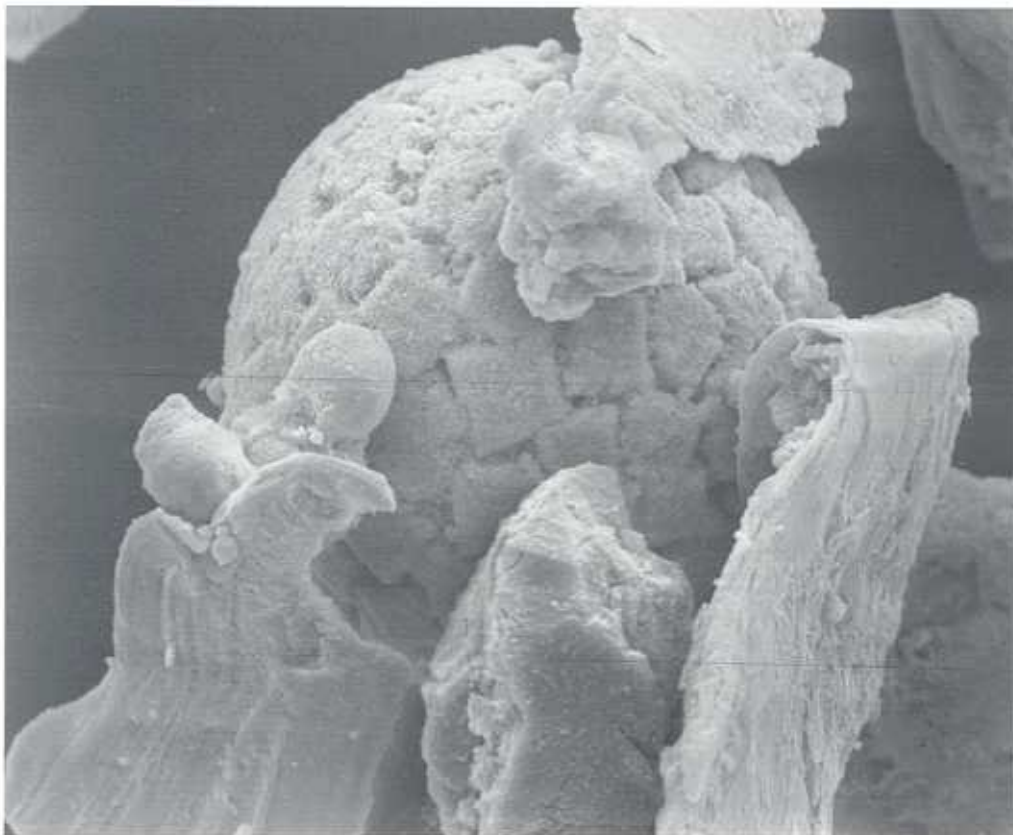


Abb. 38: EDX-Spektrum des Ferrochromspinells in Abb. 37.

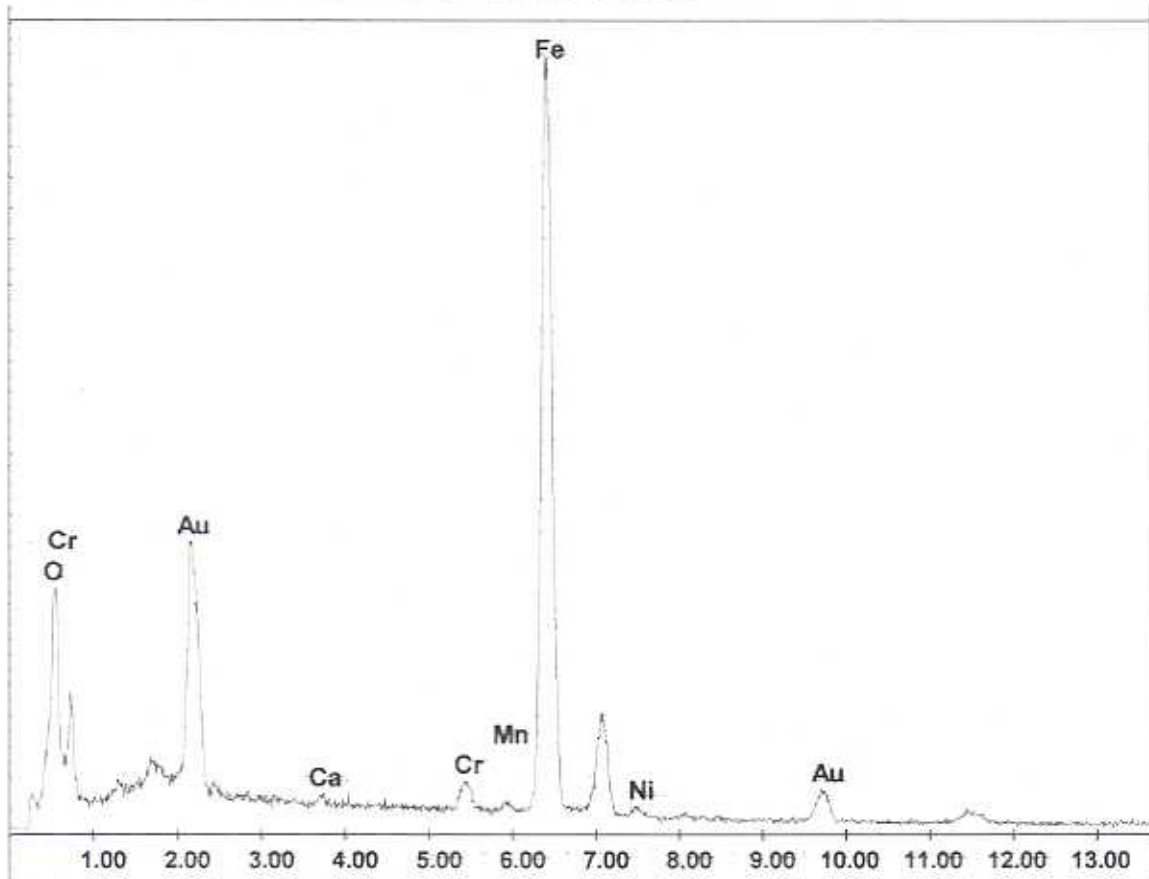


Abb. 39: REM-Aufnahme einer Mischphase nahe Magnesitwerk bestehend aus kristalliner MgO-Matrix und glatten, globularen Partikeln aus (Ca, Fe, Mn)-Mischkristallen. Vergrößerung: 3000fach.

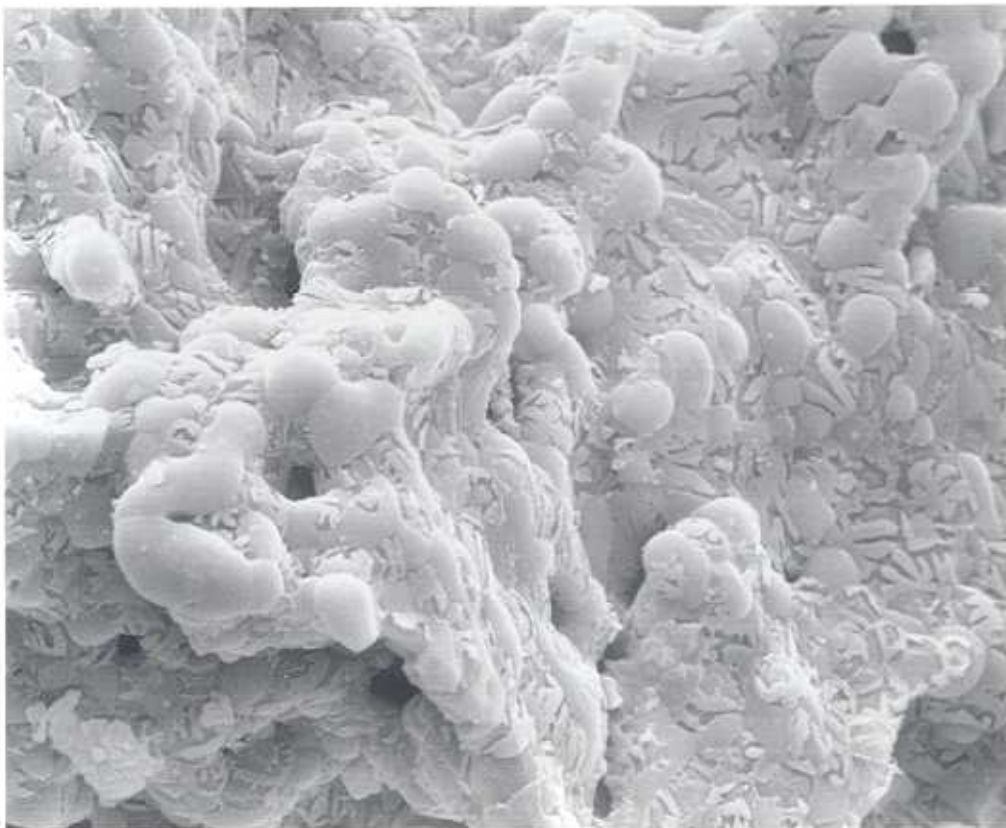


Abb. 40: polierter Anschliff eines Schlackenstücks (Bodenprobe, magn. Fraktion) nahe sondermetall-erzeugender Industrie, bestehend aus Brownmillerit (1), Calciumferrit (2), R0-Phase (3), metallischem Eisen (weiß) und Apatit (schwarz), z.T. idiomorph ausgebildet. Ölimmersion, Marke = 0.05 mm

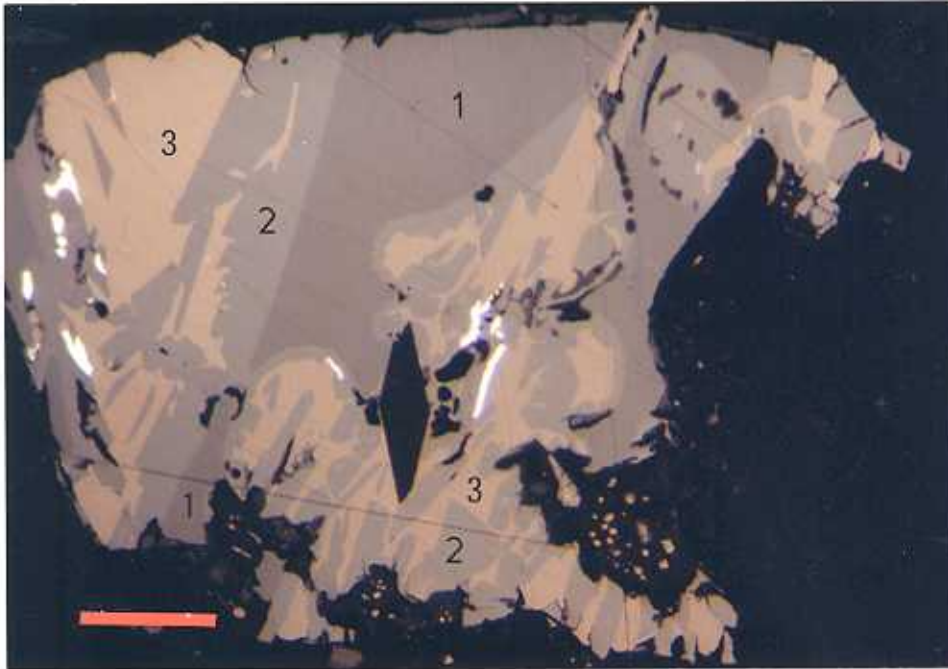


Abb. 41: polierter Anschliff einer historischen Eisenhüttenschlacke (Bodenprobe, magn. Fraktion). Stengelige Olivinkristalle mit Einschlüssen von Glasphasen (schwarz) werden randlich durch Eisenoxid verdrängt. Magnetit bildet feindendritische Kristalle. Ölimmersion. Marke = 0.05 mm

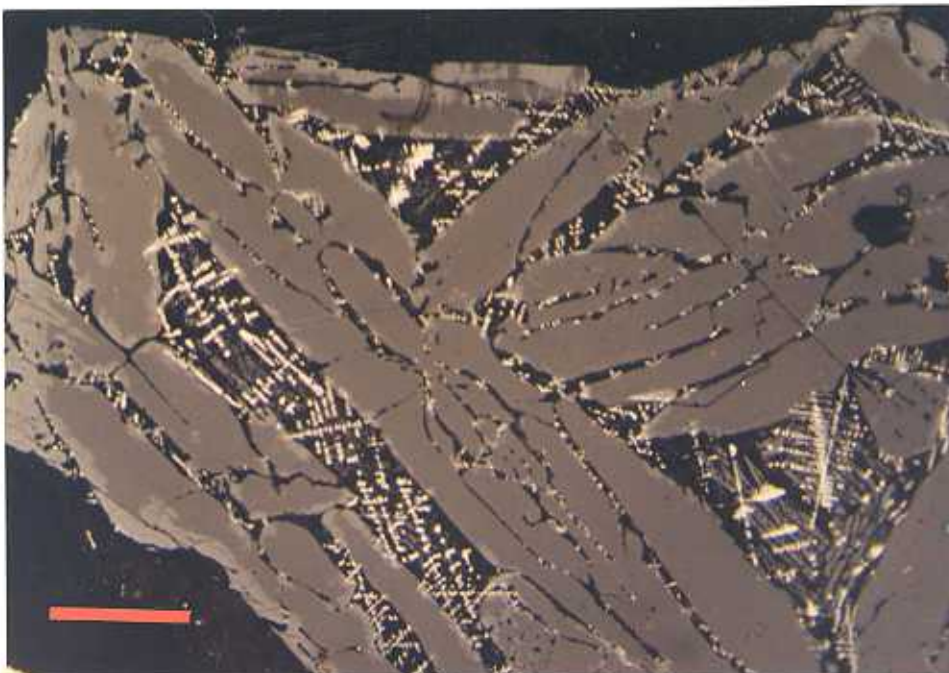


Abb. 42: polierter Anschliff von Staubphasen aus aktuellen Immissionen. Verschiedene Calciumferritphasen (hell- bis mittelgrau) mit Einschlüssen von metallischem Eisen (links im Bild) und Glasphase mit tropfenförmigem metallischem Nickel (weiß) rechts im Bild. Calciumferrit stets mit Cr-, V-, Ni-, Ti- und Nb-Gehalt.

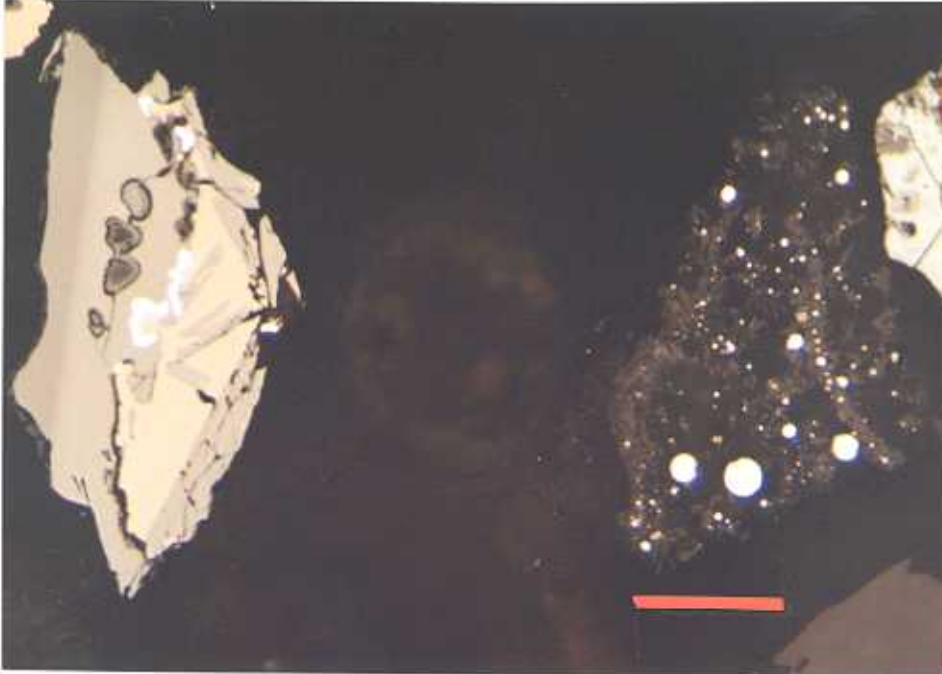


Abb. 43: Filterrückstand einer Schneeprobe (aktuelle Immission) aus dem Nahbereich buntmetallverarbeitender Industrie. Elementverteilungsbilder von O, S, Al, Si, Zn, Fe und Cr in oxidischen und silikatischen Staubpartikeln.

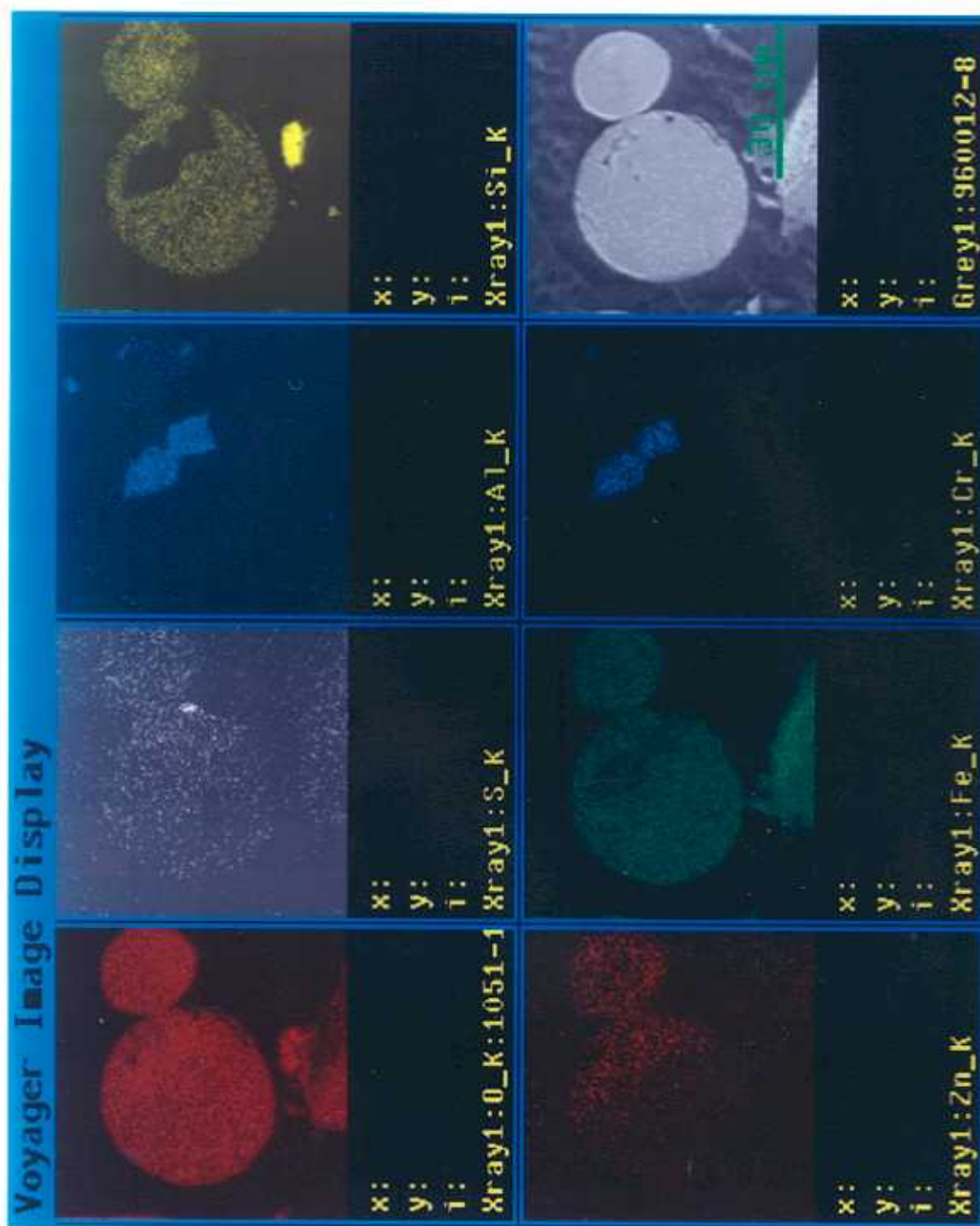


Abb. 44a: historische Buntmetallpartikel in Auflage-Horizont, Elementverteilungsbilder von Pb und Fe in Messing mit (Cu, Ni)-Legierungssaum

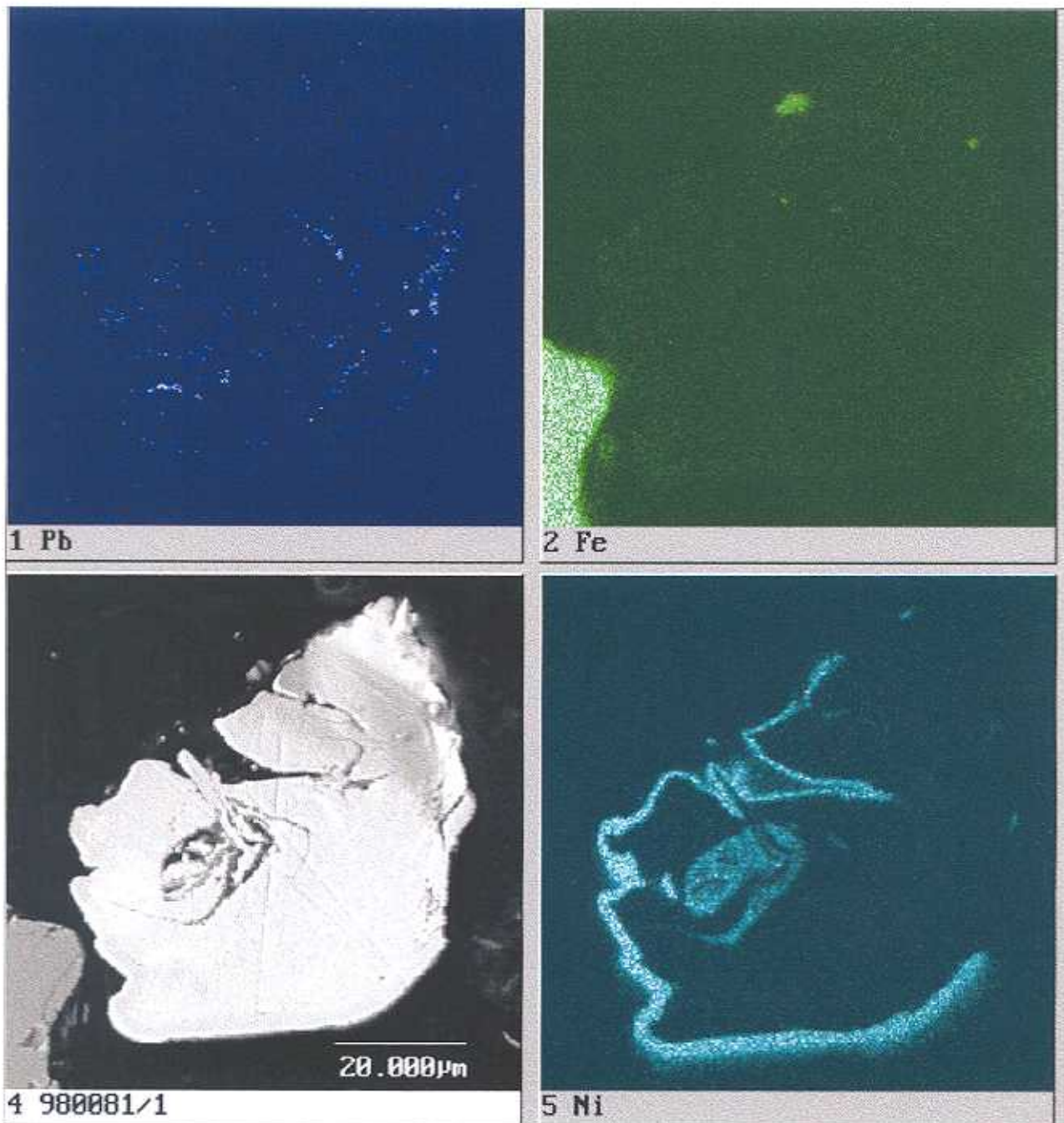


Abb. 44b: historische Buntmetallpartikel in Auflage-Horizont, Elementverteilungsbilder von Cu und Zn in Messing mit (Cu, Ni)-Legierungssaum

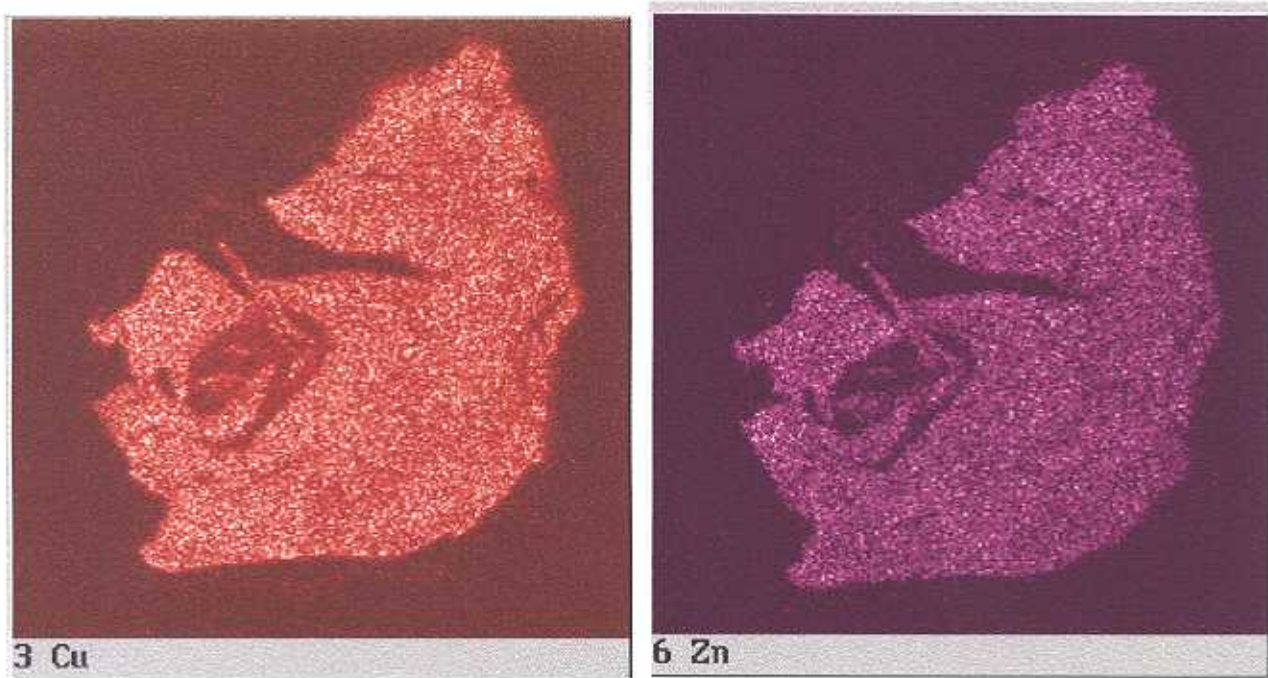


Abb. 45: REM-Aufnahme von Chrysotilasbest. Vergrößerung: 750fach.



Abb. 46: EDX-Spektrum von Chrysotilasbest.

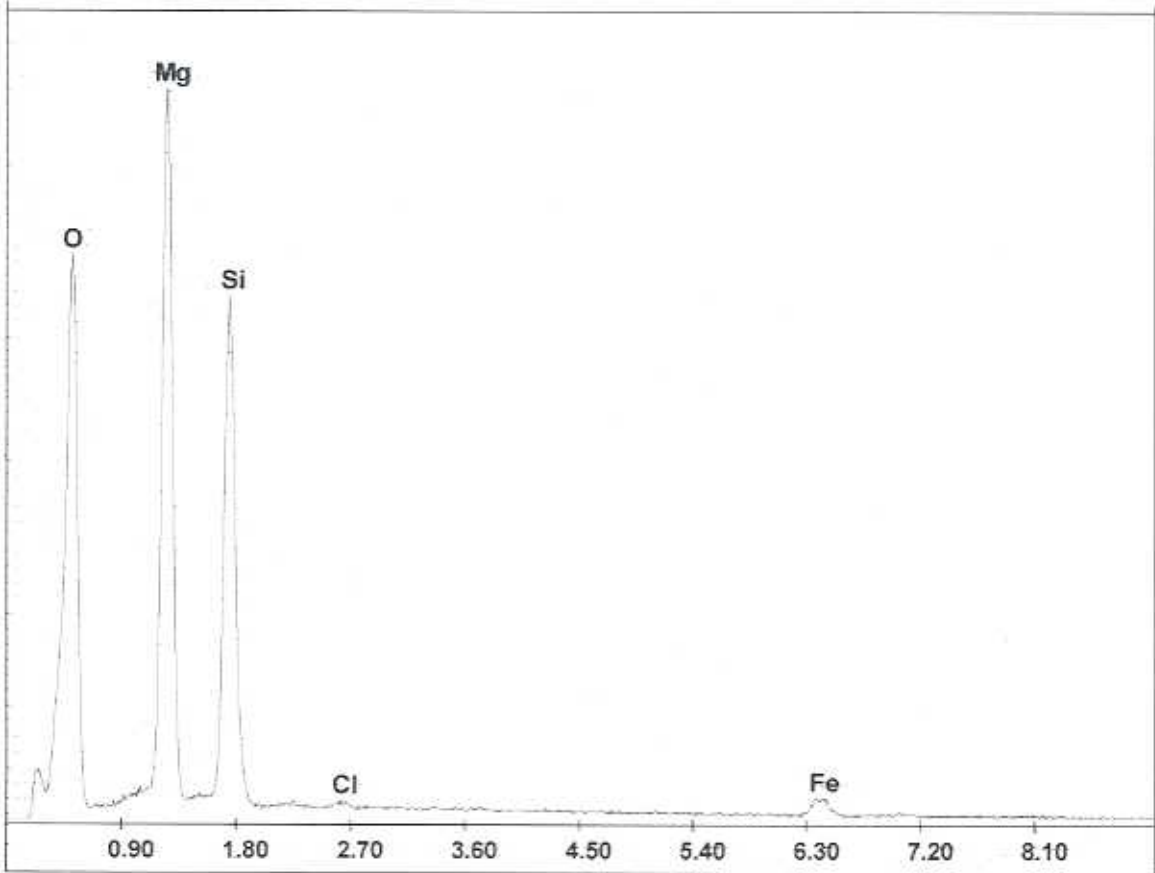


Abb. 47: REM-Aufnahme von Steinwollfasern. Vergrößerung: 750fach.

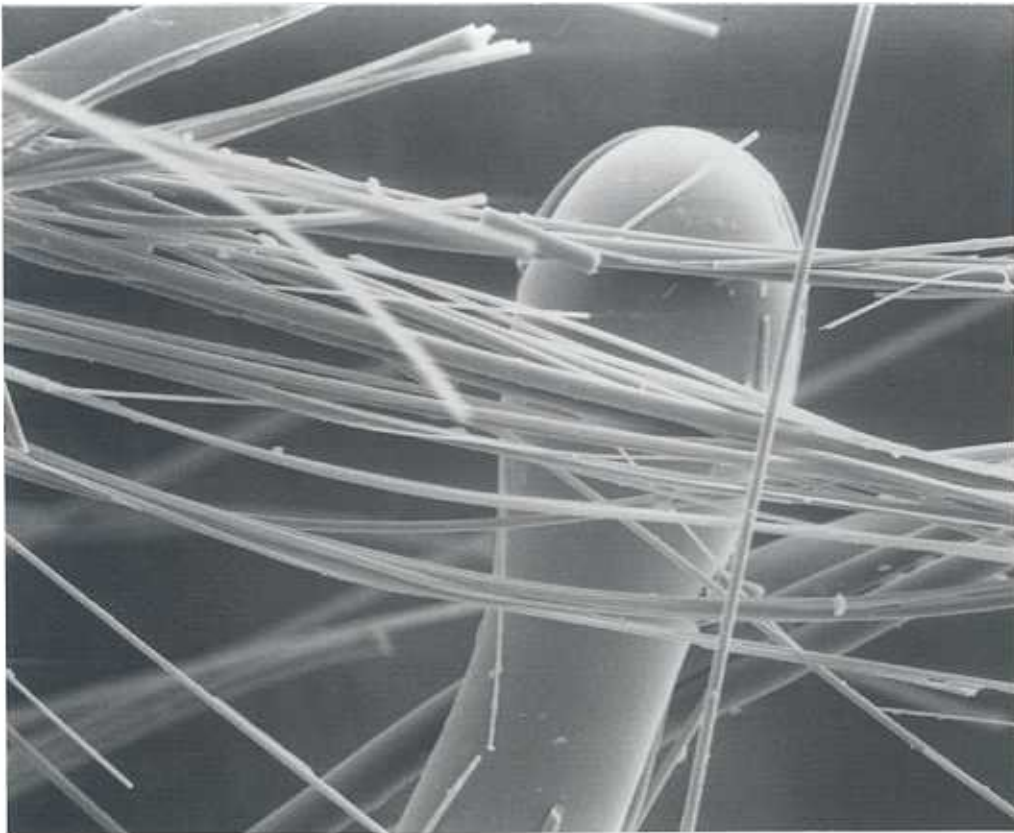
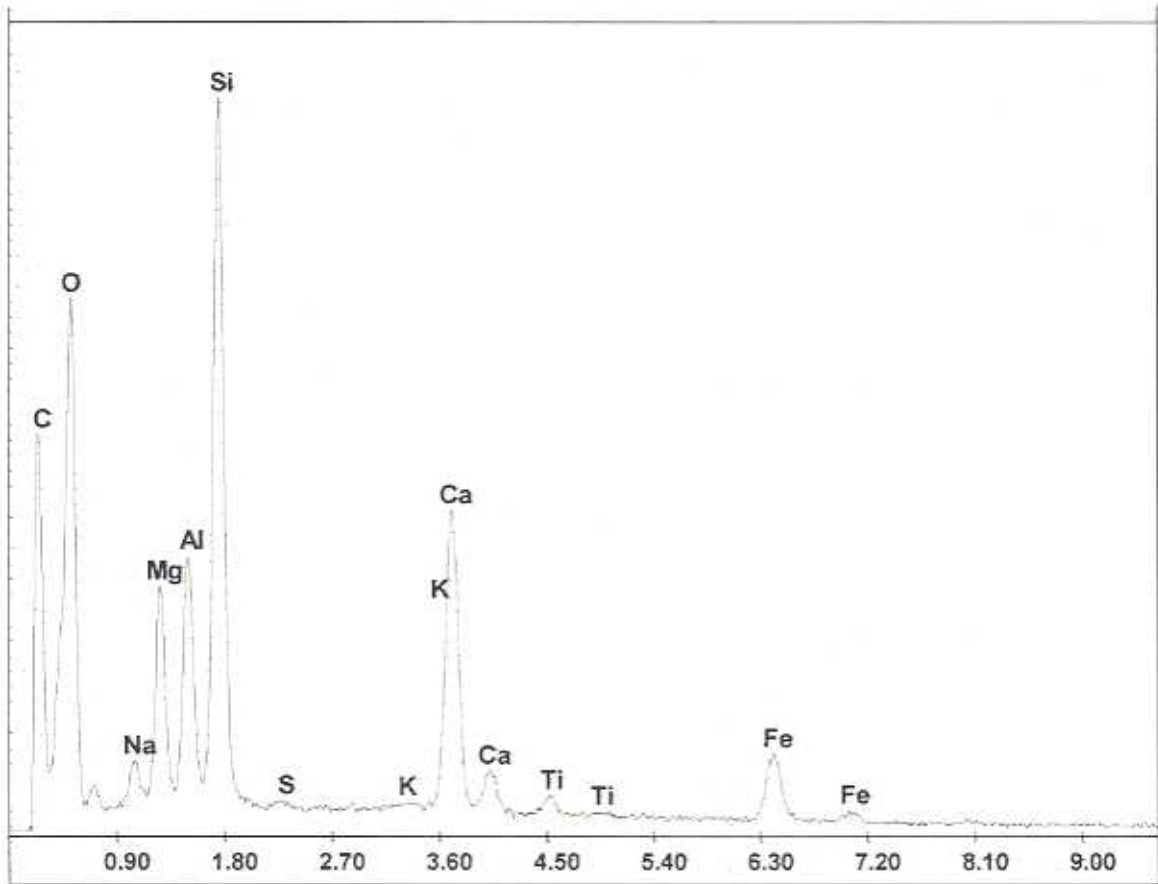


Abb. 48: EDX-Spektrum von Steinwollfasern.



8 GLOSSAR

<i>Aerosol:</i>	Luft mit Schwebeteilchen mit einem Durchmesser bis etwa 10 µm
<i>anthropogene Partikel:</i>	primär geogene Partikel, die durch menschliche Transportprozesse in ein fremdes Umfeld transportiert wurden
<i>Buntmetalle:</i>	umfaßt Kupfer, Zink, Quecksilber, Zinn, Blei und Cadmium
<i>Dendritisch:</i>	bäumchenförmig
<i>geogene Partikel:</i>	natürliche, feste Teilchen, die aus dem geologischen Untergrund oder aus Böden stammen
<i>Idiomorph:</i>	eigengestaltig
<i>LD-Staub:</i>	Durch LD-Verfahren (Linz-Donawitz, durch Einsatz von Schrott und Roheisen) in Luft freigesetzte Staubpartikel
<i>RO-Phase:</i>	Technogene Mischoxide von zweiwertigen Metallen
<i>RO-R₂O₃-Phase:</i>	Technogene Mischoxide von zwei- und dreiwertigen Metallen
<i>Schwereflüssigkeiten:</i>	Flüssigkeiten zur Trennung von Mineralien mit verschiedener Dichte
<i>Schwermineral:</i>	Minerale mit einer Dichte von mehr als 2.9 g/cm ³
<i>Schwermetalle:</i>	Metalle mit einer Dichte über 4.5 g/m ³ , z.B. Bunt-, Eisen- und Edelmetalle
<i>Sintern:</i>	Das Zusammenfiltern von pulverförmigen bis körnigen unter Hitzeeinwirkung durch oberflächliches Aufschmelzen des Gutes (z.B. Erz + Koks + Kalkzuschläge). Durch Sintern werden Karbonate und Sulfate zersetzt, leichtflüchtige Oxide, Sulfide und Chloride verdampft und im Sinterflugstaub angereichert.
<i>Technogene Partikel:</i>	Partikel, die aus industriellen Prozessen stammen
<i>Thomasdünger, Thomasmehl:</i>	Bei Stahlerzeugung (Thomas-Verfahren) anfallende phosphorreiche Konverterschlacke wird gemahlen und als Phosphordünger in Landwirtschaft verwendet

9 ANHANG

Tabellarische Auflistung technogener Phasen und ihrer Schwermetallführung

Phase	Anmerkung	Schwermetalle sowie sonstige Elemente
Akermanit	(Ca,Mg)-Silikat	
Alabandin	Mangansulfid	Mn
Anhydrit		
Anglesit	Bleisulfat	<u>Pb</u> , Zn, Cd, Cl
Apatit		P, V, Ni
Azurit	Kupferkarbonat	Cu, Sb, As
Bleiglanz		<u>Pb</u> , Cd
Bornit	Eisen-Kupfersulfid	<u>Cu</u> , Ni, Mn, As, Sb
Brucit	Magnesiumhydroxid	
Bronze		<u>Cu</u> , <u>Sn</u> , <u>Ni</u> , Mo
Bredigit	α -Dicalciumsilikat	
Brownmillerit	(Ca,Al)-Eisenoxid	Cr, V, P, Nb, Ba
Calciumaluminat		V, Cu, Zn
Calciumferrit	(Ca,Fe)-Oxid	Cr, Ni, V, Mn, P, Cu, Pb, Zn, Nb, Ta, Ce, Ba
Calciumsilikate		Cr, Ni, V, Pb, Zn, P, Mn, Cl
Calcium-Phosphorsilikat		<u>P</u> , Ba
Calciumwüstit	(Ca,Fe)-Oxid	Mn
Cerussit	Bleikarbonat	<u>Pb</u> , Cd, Zn
Cerferrit	(Ce,Fe)-Oxid	<u>Ce</u> , La, Nd, Pr, Ge, N
Cristobalit	SiO ₂	
Ceroxid		Ce
Chromspinelle		<u>Cr</u> , Ni, Mo, Zn, Cl
Chrommagnetit		<u>Cr</u> , Ni
Chrom-Vanadiumspinell		<u>Cr</u> , <u>V</u>
Chrysokoll	Kupfersilikat (+H ₂ O)	Cu
Cuprit	Kupferoxid	<u>Cu</u> , Ni, S, Sb, Zn, As
Cubanit	Eisen-Kupfersulfid	Cu
Covellin	Kupfersulfid	Cu
Cuprospinell		<u>Cu</u> , Mn
Digenit	Kupfersulfid	<u>Cu</u> , Sb, As, Ni
Delafossit	Kupfer-Eisenoxid	<u>Cu</u> , Ni
Diopsid	(Ca,Mg)-Silikat	

Tabellarische Auflistung technogener Phasen und ihrer Schwermetallführung

Phase	Anmerkung	Schwermetalle sowie sonstige Elemente
Eisen-Manganhydroxide		<u>Mn</u> , Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, V, P, Cl, S
Eisen-Arsenlegierung		<u>As</u> , Cu, Mn
Eisen-Titanmischoxid		Cr, P, Mn
Eisen-Antimonlegierung		<u>Sb</u> , Ni, Cu, As
Ettringit	(Ca,Al)-Sulfat (+H ₂ O)	
Ferrolegerungen		<u>Cr</u> , <u>Ni</u> , <u>V</u> , <u>Mo</u> , W, Mn, Zn
Eisen-Wolframkarbid		<u>W</u> , Ni, Cu, As
Fayalit	Fe-Silikat (Olivingruppe)	Mn, Cu
Freier Kalk		Mn
Farbpigmente		Pb, Cl, Cr, Zn, B, S, Ti
Ferromangan		<u>Mn</u> , Cr, V
Ferrosilizium		Cr, Ni, Cu, V, Mn, Ga, P, N
Ferrochrom		<u>Cr</u> , Ni
Ferronickel		<u>Ni</u> , Cr, Cu, V
Franklinit	Zinkferrit	<u>Zn</u> , Ni, Mn
Fluorit		F
Gahnit	Zinkspinel	<u>Zn</u> , Cr, Pb, V, Cd
Graphit		
Glaukochroit	Mn-Monticellit (Olivingruppe)	Mn
Gehlenit	(Ca,Mg,Al)-Silikat (Melilithgruppe)	Mn, Ni
Gips		Pb
Glasphase		Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, Cd, Cl, S, B, V, Ga, Zr, Ba, Mn, P, F
Hämatit		Mn
Hedenbergit	Pyroxengruppe	Cu
Hydrozinkit	Zinkhydroxid	<u>Zn</u> , Pb
Jakobsit	Eisen-Manganoxid	<u>Mn</u> , Zn, V, Ni
Kirchsteinit	Fe-Monticellit (Olivingruppe)	Mn
Knebelit	Manganolivin	<u>Mn</u> , P, Cl
Kupferglanz	Kupfersulfid	<u>Cu</u> , Ni, Sb, As, Co, Zn
Korund		Ga, Ni
Keramik		Cu, S, Mn, P
Koks		
Kohle		

Tabellarische Auflistung technogener Phasen und ihrer Schwermetallführung

Phase	Anmerkung	Schwermetalle sowie sonstige Elemente
Kupfer-Arsenantimonid		<u>Cu</u> , <u>As</u> , Sb, Ni, Hg
Larnit	β-Dicalciumsilikat	
Larsenit	(Pb,Zn)-Silikat	<u>Pb</u> , <u>Zn</u> , V, Cd, Ba, P
Laurionit	Bleichlorid	<u>Pb</u> , <u>Cl</u> , Zn, Cd
metallisches Eisen		Cr, Ni, Ca, As, Co, Mn, S, P, W, Mo
metallisches Kupfer		<u>Cu</u> , Ni, Sb, Cl, As, S, Co, Zn
metallisches Aluminium		
metallisches Silber		Ag
metallisches Titan		Ta
metallisches Blei		Pb
metallisches Silizium		Ni, N
metallisches Nickel		<u>Ni</u> , Cr, Cu, Co
metallisches Vanadium		V
metallisches Zinn		Sn
metallisches Zink		Zn
Malachit	Kupferkarbonat	<u>Cu</u> , As, Sb, Ni
Messing		<u>Cu</u> , <u>Zn</u> , Ni
Manganosit	Manganoxid	Mn
Magnetit		V, Ni, Pb, Zn
Magnetkies	Eisensulfid	Cu, Ni, Zn
Maghemit	Eisenoxid	Mn
Melanterit	Eisensulfat	Ni, Cu
Magnesioferrit	(Mg,Fe)-Oxid	Cr, Ni, Mn, Cu, Zn
Magnesiowüstit	(Mg,Fe)-Oxid	Ni, Cu, V, P, Zn
Merwinit	(Ca,Mg)-Silikat	Mn, Ni, P
Mullit	Aluminiumsilikat	
Mennige	Bleioxid	Pb, Cd, Zn
Meliithmischkristalle	(Ca,Al,Mg,Fe)Silikate	Cr, Ni, Cu, V, Pb, Zn, P
Neusilber		<u>Cu</u> , <u>Ni</u> , Zn
Nickelsilikat		<u>Ni</u> , Zn, Cl
Nickel-Ferrosinell		<u>Ni</u> , Mn
Olivinmischkristalle		Mn, Zn, Ni, P, Cu, Cr, V, Pb
Oldhamit	Calciumsulfid	Mn
organisches Material (Wurzel)		Pb, Zn, Cu

Tabellarische Auflistung technogener Phasen und ihrer Schwermetallführung

Phase	Anmerkung	Schwermetalle sowie sonstige Elemente
Periklas	Magnesiumoxid	Mn
Plumboferrit	(Pb,Fe)-Oxid	<u>Pb</u> , Zn, V
Portlandit	Calciumhydroxid	
Plastik		Cr, Zn, Pb
RO-Phase	(Ca,Mg,Mn,Fe)- Mischoxide	<u>Mn</u> , Cr, V, P, Ni, Zn
RO-R ₂ O ₃ -Phase	(Fe,Mn,Cr,Ni,Zn)- Mischoxide	<u>Mn</u> , <u>Cr</u> , <u>Ni</u> , <u>Zn</u> , Cu, P, V, Pb
Rankinit	Tricalciumsilikat	
Spinell	(Fe,Al,Mg)-Oxid	Cr, Ni, Cu, Zn, Mn, V, P
Smithsonit	Zinkkarbonat	<u>Zn</u> , Pb
Sillimanit	Aluminiumsilikat	
Titansulfid		V, Cr
Tridymit	SiO ₂	
Vanadiumspinell		<u>V</u> , Ni
Wüstit	(Mn,Fe)-Oxid	Mn, P, Ni, V, Zn, Pb
Wolframit	(Fe,Mn)-Wolframoxid	<u>W</u> , Ni
Wollastonit	Tricalciumsilikat	
Wolfram-Molybdänoxid		<u>W</u> , <u>Mo</u> , Cr, Ni, V, Mn, Yb
Wolfram-Chromstahl		<u>Cr</u> , W, V, Zn
Willemit	Zinksilikat	<u>Zn</u> , Pb
Zinkit	Zinkoxid	Zn
Zinkblende	Zinksulfid	<u>Zn</u> , V, Pb, Cu, Cd

Nächste Seite: Diagramm Untersuchungsmethoden

