

Zur Herausbildung der Wissenschaftsgebiete Umweltschutztechnik, Umweltgeochemie und geochemische Ökologie im Gefolge der Industriellen Revolution in Deutschland

VON BERND VOLAND, Freiberg

Mit 5 Abbildungen

1. Einführung

Menschliche Tätigkeit führt seit Anbeginn zu bewußter und unbewußter Veränderung der Umwelt.

Während in den vorkapitalistischen Gesellschaftsordnungen der Einfluß des Menschen auf die Natur relativ gering und ohne schwerwiegende Wirkungen blieb, führt seit Beginn der Industriellen Revolution menschliche Tätigkeit verstärkt zur gewollten, insbesondere aber ungewollten Beeinflussung der stofflichen Sphären unserer Umwelt.

Eng verbunden mit der Entwicklung von Bergbau und Hüttenwesen sind im Freiburger Raum frühzeitig die negativen Folgen des Eingriffs des Menschen in die Natur offenbar geworden.

Die Versuche zur Lösung der in der Auseinandersetzung des Menschen mit der Natur entstandenen Widersprüche führten hier Mitte des 19. Jahrhunderts zu intensiven Forschungsarbeiten im Sinne der sich gegenwärtig als Wissenschaftsdisziplinen entwickelnden Umweltschutztechnik, Umweltgeochemie und der geochemischen Ökologie.

Maßnahmen zur Umwelterhaltung sind bereits sehr frühzeitig getroffen worden. Sie bestanden zumeist in Produktionsverboten. So wurde im Jahre 1348 den Zwickauer Schmieden das Verbot ausgesprochen, Steinkohle im Stadtgebiet zu verbrennen. Im Jahre 1464 führten Proteste der Bevölkerung zur Schließung der Kupfer- und Bleihütten von Thomas von Benrath in Köln (WIETHAUPT 1966).

Natürlich waren und sind Produktionsverbote zur Lösung der Umweltproblematik untauglich. Mit der Veränderung der Produktionsverhältnisse und den sich ständig entwickelnden Produktivkräften sind auch die Voraussetzungen und Möglichkeiten geschaffen worden, Wege zur bewußten Erhaltung und Gestaltung der Umwelt zu beschreiten.

Am Beispiel der Entwicklung der Buntmetallhüttenindustrie im Raum Freiberg bis zum Ende des 19. Jahrhunderts soll aufgezeigt werden, in welcher Weise die Industrielle Revolution Forschungen im Sinne des Umweltschutzes bedingt hat.

2. Die Entwicklung des Hüttenwesens in Freiberg und des damit verbundenen Umweltproblems

Im Freiburger Raum blicken Bergbau und Hüttenwesen auf eine 800jährige Geschichte zurück. Bis zum Jahre 1530 existierten zahlreiche kleine Hütten (MERBACH 1893) mit höchst primitiven Schmelzverfahren. Es ist anzunehmen, daß bereits zu dieser Zeit durch Anwendung der Bleitreibarbeit bei der Silbergewinnung erhebliche Bleimengen in die Atmosphäre verdampften und zur Kontamination der Umwelt, insbesondere der Böden, führten.

Mit der Bildung der Generalschmelzadministration am 4. Mai 1710 wird die Grundlage zur Zentralisation des Hüttenwesens in Freiberg gelegt. Die Technologie der Silbergewinnung bleibt aber zunächst bei wachsender Produktion veraltet. Mit der steigenden Silberproduktion in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts geht eine erhöhte Kontamination der Umwelt mit Schwefeldioxid und Blei ebenso einher, wie ein steigender Verbrauch an Holzkohle.

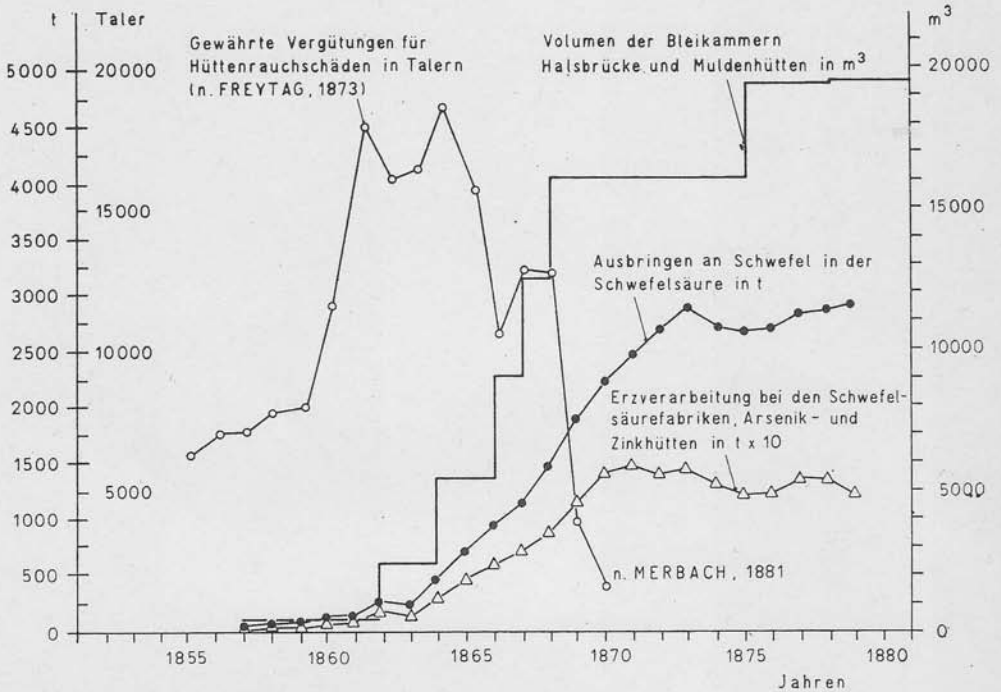


Abb. 1. Gewährte Vergütung für Hüttenrauchschäden (nach FREYTAG 1873) und Entwicklung der Maßnahmen zur Abgasentschwefelung zwischen 1851 und 1881 (nach MERBACH 1881)

Neue Technologien wurden erforderlich. Die Einführung des Amalgamierverfahrens bereits im Jahre 1784 auf der Halsbrücker Hütte führte zwar zur Einschränkung des Holzkohlenverbrauchs, dennoch wurden bis 1857 insgesamt 6,6 t Quecksilber in die Atmosphäre emittiert.

Im Jahre 1823 wurde schließlich der durch die Bergakademie wissenschaftlich-technisch gelöste Ersatz der Holzkohle durch Steinkohle bei der Verhüttung realisiert. Damit setzt zugleich die Industrielle Revolution im Freiburger Montanwesen ein (MÜHLFRIEDEL 1969). Die Produktion stieg erheblich; in den wenigen Jahren von 1845–1852 verdreifachte sich die Menge verhütteter Erze.

Die offensichtlichen Fortschritte mit der Industriellen Revolution im Montanwesen Freibergs führten gleichzeitig zu Umweltbeeinflussungen in bis dahin nicht gekanntem Ausmaß. Die erhöhten Schadstoffemissionen brachten Vergiftungserscheinungen in der umliegenden Forst-, Land- und Viehwirtschaft.

Das Ausmaß der Schädigungen wird unter anderem in der Tatsache ersichtlich, daß in den Jahren 1875–1877 etwa 600 Grundbesitzer mit einer generellen Abfindung entschädigt wurden. Gleichzeitig erkannte man, daß das Umweltproblem nicht durch Zahlung von Entschädigungsgeldern zu lösen ist. Demzufolge wurde die Rauchschadensproblematik jener Jahre zum Gegenstand wissenschaftlicher Bearbeitung gemacht. Die administrative Leitung dieser Forschungstätigkeit übertrug das sächsische Finanzministerium dem Oberhüttenamt, welches sehr breit angelegte technologische, chemische und biologische Arbeiten straff koordinierte.

Mit der Erweiterung des Hüttenlaboratoriums in Freiberg wurden die materiell-technischen Voraussetzungen für entsprechende technologische und chemische Arbeiten geschaffen.

Hauptaufgabe war, neue technologische Lösungen zur Beseitigung des Hüttenrauchproblems zu entwickeln und in die Praxis einzuführen. Gleichzeitig waren die einzelnen Quellen der Umweltbeeinflussung zu untersuchen. Es galt zu klären, welches sind die giftigen Substanzen, welche Rolle spielen dabei Schwefeldioxid und die Schwermetalle wie Blei, Zink und Arsen? Wie verteilen sich diese Elemente in der Umwelt, welche Wirkung haben sie auf Böden, wie wirken sie auf Pflanzen und Tiere?

Die in diesem Zusammenhang ab 1849 durch den Tharandter Professor A. STÖCKHART, den Freiburger Professor F. REICH und etwas später von M. FREYTAG vorgenommenen Untersuchungen zur chemischen Zusammensetzung der Abgase, zur Zusammensetzung der Flugstäube, zur Verteilung des Schwefeldioxids in der Atmosphäre, zur Verteilung von Pb, Zn und As in den Niederschlägen, zur Verteilung der Schwermetalle in Böden, im biologischen Material, wie in Nadelbäumen und Futterpflanzen, in rauchbeeinflussten und -unbeeinflussten Gebieten, stellen die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen in der Welt im Sinne einer Umweltgeochemie — geochemischen Ökologie dar.

Mit diesen Untersuchungen wurde also bereits vor 135 Jahren der von der „Umweltgeochemie — geochemischen Ökologie“ heute beschrittene methodische Weg vorgezeichnet, das Verhalten der Elemente in der Kette: Quelle, Ausbreitungsmechanismus in der Atmosphäre, Kontamination der Böden, des Wassers, der Pflanzen und der Tiere einschließlich dabei auftretender endemischer Erkrankungen zu untersuchen.

3. Arbeiten auf dem Gebiet der Umweltschutztechnik in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts

Die Hauptaufgabe bestand zunächst in der Entwicklung von Verfahren zur Entgiftung des Hüttenrauchs. Den Stand der Kenntnisse jener Zeit über die Giftigkeit der Komponenten des Hüttenrauchs beschreibt REICH (1858):

„Nachdem man früher die schädlichen Einwirkungen des Hüttenrauches auf die benachbarte Vegetation und den Viehbestand vorzüglich den Blei- und Arsendämpfen zugeschrieben hat, ist man später zu der Überzeugung gekommen, daß er vornehmlich nur in dem Gehalt der Dämpfe an schwefeliger Säure und aus dieser entstehenden Schwefelsäure zu suchen ist.“

Mit REICHS „Apparat zur leichten und schnellen Bestimmung einer Luft an schwefelig-saurem Gase“ (REICH 1858) sind die ersten SO_2 -Gehaltsbestimmungen in der Atmosphäre mit relativ hoher Präzision durchgeführt worden (Quellen: HStA, OHA, F 32, H. 378, Vol. III, Blatt 22 und Blatt 30–31). Gleichzeitig lag damit die erste Geräteentwicklung zur Umweltüberwachung vor.

In Ausarbeitung technologischer Verfahren zur Beseitigung des SO_2 aus den Abgasen wurden durch REICH seit 1854 zahlreiche Untersuchungen vorgenommen. Als erfolgversprechend und ökonomisch anwendbar schlug er (REICH 1858, S. 173–176) die Oxidation der schwefeligen Säure mittels Salpetersäure und die Gewinnung der Schwefelsäure vor.

Auf der Grundlage seiner Arbeiten zur Umweltschutztechnik begann man im Jahr 1852 mit dem Bau einer ersten Schwefelsäurefabrik in Muldenhütten. Zögernd aber stetig wird die Kapazität der Schwefelsäuregewinnung ausgebaut. Ab 1864 wird die Schwefelbezahlung an die Grubenbetriebe und damit eine erhebliche Stimulierung des Bergbaus einschließlich der Verarbeitung schwefelreicher Erze möglich. Das ab 1871 auf ca. 2500 Tonnen pro Jahr angewachsene Ausbringen von Schwefel in der Schwefelsäure (MERBACH 1881) läßt zugleich den Umfang der Reduzierung der Schwefelemissionen in der Atmosphäre erkennen (Abb. 1).

REICH schlug gleichzeitig den Bau hoher Essen und von Flugstaubkondensationskanälen vor.

„Durch sie werden in nicht ferner Zeit alle übrigen schädlichen Bestandteile aus den Röstgasen sich absetzen, die schwefelige Säure aber in so hohe Schichten der Atmosphäre sich mit der Luft mengen, daß sie, ehe sie irgendwo die Erdoberfläche erreichen, bis zur Unschädlichkeit verdünnt ist“ (REICH 1858).

Letzteres sollte sich sehr schnell als Irrtum herausstellen. Im Jahr 1858 wurde mit dem Bau der ersten hohen Esse in Muldenhütten begonnen. (Intensiv genutzt, wurde sie im Herbst 1984 von einem Sturm zerstört.) Im Jahr 1860 wurden die ersten Flugstaubkonzentrationskanäle errichtet.

In seiner 1867 publizierten Arbeit „Ueber die bei außersächsischen Hüttenwerken beobachteten Wirkungen des Hüttenrauches und die dagegen ergriffenen Maßregeln“ weist REICH darauf hin:

„daß zuvörderst, nirgends den Klagen derer, die sich durch den Rauch von Hüttenwerken beschädigt glauben, so große und sorgfältige, mit einem Aufwand vieler Arbeit und nicht unbedeutender Geldmittel verbundener Berücksichtigung geschenkt wird, als bei uns“.

Als Erfolg sieht er die Tatsache an, daß in Realisierung seiner Vorschläge bereits im Jahr 1865 rund 1390 t SO_2 und 445,6 t As_2O_3 weniger in die Atmosphäre emittiert wurden. Nachdem die As_2O_3 -Gewinnung aus den zurückgehaltenen Flugstäuben ab 1861 zu einem kostengünstigen Verfahren entwickelt wurde, konnte ab 1862 die Arsenbezahlung an die Gruben erfolgen.

Bis zum Jahr 1880 erfolgte ein ständiger Ausbau des Volumens der Flugstaubkonzentrationskammern zur Entfernung der festen Phasen aus den Abgasen. Mit dem Anstieg des Ausbringens dieser Flugstäube stieg gleichzeitig die Produktion des daraus zurückgewonnenen Bleis, Zinks und Arsens (Abb. 2).

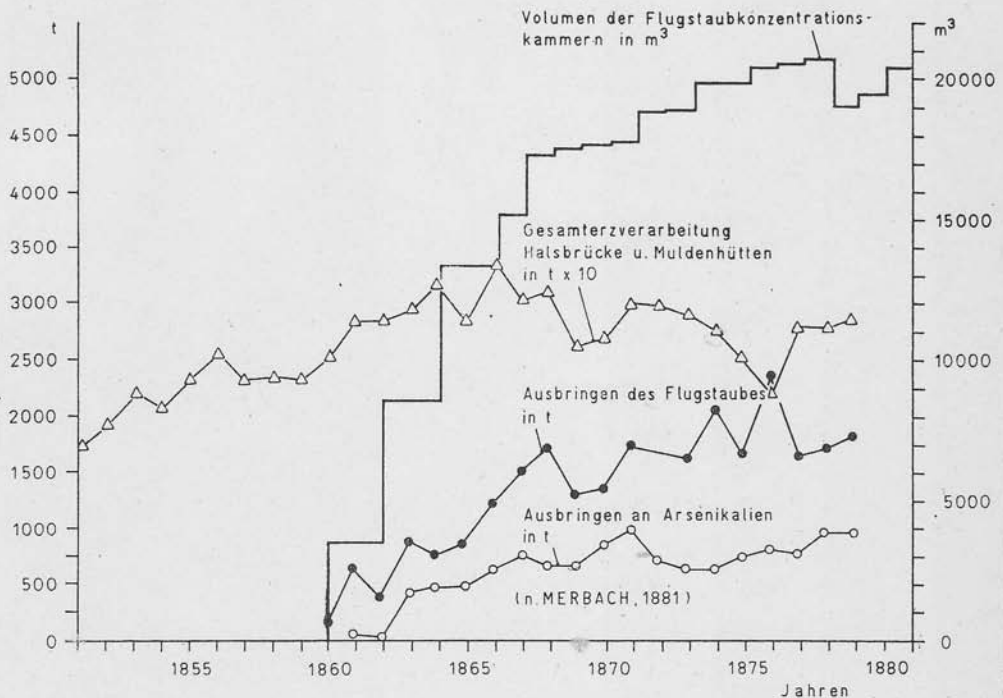


Abb. 2. Gesamterzverarbeitung im Buntmetallhüttengebiet Freiberg zwischen 1851 und 1881 und Ergebnisse der Maßnahmen zur Abgasentstaubung (nach MERBACH 1881)

Mit den technologischen Forschungen zur „Entgiftung des Hüttenrauches“ und ihren Ergebnissen wurde so erstmals der prinzipielle Weg der Umwandlung von schädlichen Abprodukten in Nutzkomponenten durch Stoffumwandlung bei gleichzeitiger Reduzierung der Umweltbelastung aufgezeigt. Vom Beginn der Arbeiten zur Umweltschutztechnik bis zur Realisierung der Maßnahmen vergingen reichlich 20 Jahre. Sie erbrachten aber bereits damals den Beweis, daß Maßnahmen zum Umweltschutz das ökonomische Ergebnis des Betriebs verbessern können und nicht, wie oftmals angenommen wird, lediglich Kosten verursachen.

4. Die Arbeiten zur Umweltgeochemie und geochemischen Ökologie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts

Den Auftrag des sächsischen Staates im Jahre 1849 an den an der Forstakademie in Tharandt tätigen Professor August Stöckhardt, die „Art und Größe des nachteiligen Einflusses, welcher durch den Rauch der Halsbrückener Hütten auf die Umgebung derselben ausgeübt wird“ zu untersuchen, kann man als Ausgangspunkt für die che-



Abb. 3. Technologische biogeochemische Anomalie dargestellt durch Sulfatgehalte 0,25 Masse-% in Fichtennadeln (nach SCHRÖDER & SCHERTEL 1884)

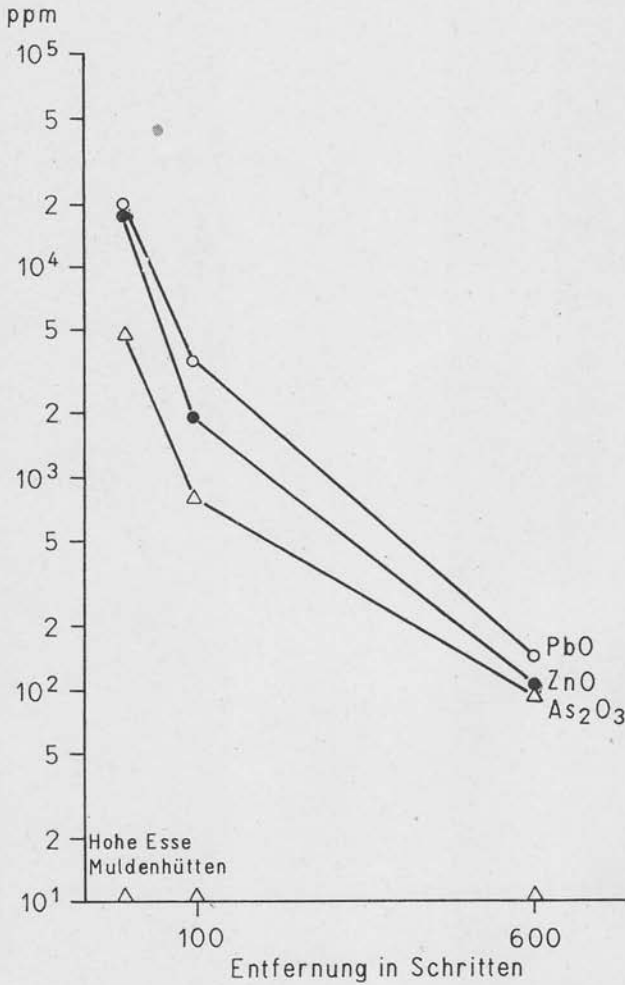


Abb. 4. Die Verteilung von Blei, Zink und Arsen in Schneeproben vom 6./7. und 8. Februar 1864 in der Umgebung der Hohen Esse von Muldenhütten (nach REICH, Handakte, Sign. XVII/639, Blatt 13)

mische Richtung der Forschung auf dem Gebiet des Umweltschutzes in der Welt überhaupt ansehen (STÖCKHARDT 1850).

STÖCKHARDT erforschte vor allem die toxische Wirkung der Hüttenemissionen auf die Pflanzen. Für die Entwicklung der umweltgeochemischen Arbeitsrichtung bedeutsam sind seine Untersuchungen an kontaminierten Böden. Im Ergebnis dieser originellen Arbeiten wird durch STÖCKHARDT ein wichtiges Prinzip umweltgeochemischer Forschung begründet.

Um Aussagen über das geochemische Verhalten der Elemente und ihre möglichen toxischen Wirkungen in der Wechselbeziehung Boden—Pflanze zu erhalten, ist es notwendig, die Bindungsarten zu studieren, die die Elemente in den Böden eingehen. Erst auf dieser Grundlage können Aussagen zur Pflanzenverfügbarkeit gemacht und wissenschaftlich begründete Maßnahmen zur Verhütung von Schäden eingeleitet werden.

Zahlreiche Versuche stellte STÖCKHARDT über die Wirkung des Schwefeldioxids auf Pflanzen sowie über die toxische Wirkung der auf Pflanzen abgelagerten Metallgifte an.

Aufbauend auf seinen Arbeiten zum Sulfatgehalt in Fichtennadeln konnten seine Schüler SCHRÖDER und SCHERTEL (1884) zum ersten Mal in der Welt eine technogen verursachte biogeochemische Anomalie darstellen und so das Schadensgebiet abgrenzen (Abb. 3).

Für die Entwicklung der geochemischen Ökologie bedeutsam ist insbesondere der von STÖCKHARDT eingeschlagene methodologische Weg, die Verteilungsbahnen der Elemente vom kontaminierten Boden über die Aufnahme durch die Pflanzen und Tiere und ihre toxischen Wirkungen zu untersuchen.

Eine intensive und fruchtbare Zusammenarbeit entwickelte sich ab 1856 mit dem an der Bergakademie Freiberg tätigen Professor FERDINAND REICH.

REICH'S Untersuchungen an Hüttenstäuben (HStA, OHA, F 32, H. 378, Vol. III, Bl. 1—18, 55, 143) führten zu den ersten bekannt gewordenen Emissionsmessungen, deren Ergebnisse jeweils dem Oberhüttenamt mitgeteilt wurden. Auf der Grundlage seiner Untersuchungen kann man z. B. im Jahr 1864 mit einer Emission von 60 t As_2O_3 , 470 t $PbSO_4$ und 540 t $ZnSO_4$ rechnen.

Gleichzeitig studiert er durch Untersuchung von Schneeproben (HStA, OHA, F. 32, H. 378, Vol. III, Bl. 19—20) (REICH-Nachlaß, Altbestand Bergakademie, Sign. XVII/639, Bl. 13 u. 14) das Ausbreitungsverhalten der Schwermetallemissionen in der Atmosphäre und kommt zur Erkenntnis, daß sich Blei und Zink etwas eher sedimentieren als Arsen (Abb. 4).

Mit diesen Untersuchungen liefert er zugleich den Beweis dafür, daß die von ihm bereits 1863 nachgewiesene Bleianomalie in den Böden der Umgebung von Muldenhütten technogenen Ursprungs ist (Abb. 5).

Der Nachweis anthropogen bzw. technogen verursachter geochemischer Anomalien gehört heute mit zu einem der wichtigsten Aufgabenbereiche der Umweltgeochemie. Intensiv befaßt sich REICH mit der Frage, ab welcher Elementkonzentration man einen Boden als „vergiftet“ betrachten muß.

Im Jahre 1862 hatte FRIEDRICH NOBBE in Chemnitz (Bericht vom 18. Nov. 1864 in HStA, OHA, F. 32, H. 378, Vol. III, Blatt 112—125) den Auftrag erhalten, erste Versuche zur Bestimmung von Schädigungsgrenzen bei Pflanzen durch Blei und Arsen zu realisieren. Auf der Basis dieser Untersuchungen kommt REICH zu der Auffassung,

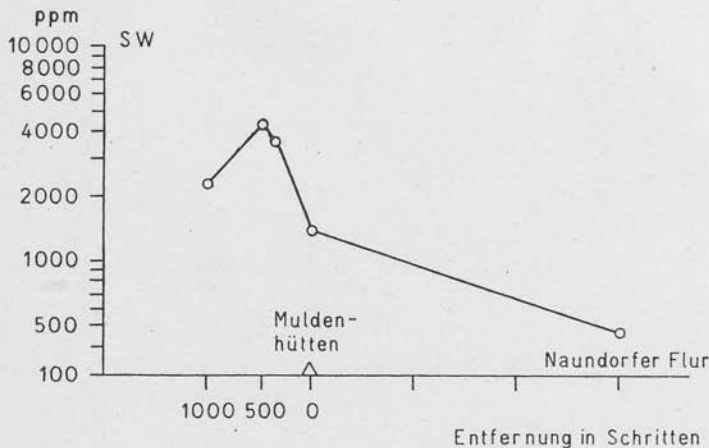


Abb. 5. Bleigehalte im Boden in der Umgebung von Muldenhütten (SW—NE-Profil, nach REICH 1863)

daß Böden mit Bleigehalten über 2000 ppm und Arsengehalten über 200 ppm als „vergiftet“ zu betrachten sind. (REICH-Nachlaß, Sign. XVII/639, Hft.-Nr. 23, Blatt 6, Rückseite, 24. Juni 1867.) Durch seine Vorgehensweise wies er hier für die geochemische Ökologie den methodischen Weg der Festlegung von Tolleranzgrenzen, einer Aufgabe von höchster Aktualität in der Gegenwart.

Die Erkenntnis, daß bestimmte Erkrankungen von Rindern auf den Verzehr schwermetallkontaminierter Futters zurückzuführen sind, veranlaßte zahlreiche Untersuchungen an Pflanzen in dem von F. REICH geleiteten Hüttenlaboratorium. Im Jahr 1867 stellt er gemeinsam mit A. STÖCKHARDT (REICH-Nachlaß, Sign. XVII/639) zum ersten Male die Sulfatgehalte von Pflanzen in belasteten und unbelasteten Gebieten zusammen und weist nach, daß Pflanzen in belasteten Gebieten durch generell erhöhte Gehalte charakterisiert sind. Damit wurden theoretische und praktische Voraussetzungen für die biogeochemische Regionalisierung geschaffen.

Am 15. Dezember 1870 erhält MORITZ FREYTAG, Professor an der Landwirtschaftsakademie zu Poppelsdorf bei Bonn, vom Königlich Sächsischen Finanzministerium den Auftrag zu einem weiteren Gutachten über die Umweltbelastung im Raum Freiberg.

FREYTAG (1873) stellt in seinem Gutachten erstmals zusammenhängend den gesamten Zyklus von der Emission über die Bodenkontamination bis zur Wirkung auf Pflanzen und Tier dar. Es kann im Rahmen dieses Beitrags leider nicht auf alle Leistungen FREYTAGS eingegangen werden.

Als wesentlich für die Umweltgeochemie und geochemische Ökologie soll hier die Erkenntnis herausgestellt werden, daß erhöhte Elementgehalte in Pflanzen nicht nur als Folge technogener Umweltbeeinflussungen auftreten, sondern auch von den geologischen Faktoren ihrer Standorte abhängen.

Von ebenso grundlegendem Charakter sind FREYTAGS Untersuchungen zur „Säurekrankheit“ bei Rindern, die er als Folge von Mangel- und Überschußversorgung mit bestimmten Elementen erkennt. Ohne den Begriff schon zu gebrauchen, weist er nach, daß es sich um endemische Erkrankungen handelt, die in einem direkten Zusammenhang zum geochemischen Inventar der Landschaft stehen.

Diese Erkenntnisse stellen die Basis für die heute immer dringlicher notwendig werdenden Forschungsarbeiten zur Geochemie der Landschaft und der biogeochemischen Regionalisierung einerseits und den endemischen Erkrankungen bei Pflanzen, Tier und Mensch andererseits dar.

Damit wird deutlich, daß eine moderne Umweltgeochemie und geochemische Ökologie sowohl die anthropogenen Beeinflussungen der Umwelt als auch die natürliche geochemische Differenzierung des geologischen Materials und seine Wirkung als natürlicher Umweltfaktor erforschen muß.

Zusammenfassung

Die sich zwischen 1850 und 1870 im Freiburger Hüttenwesen im Zuge der weiteren Industrialisierung vollziehenden Veränderungen führten zu einer erheblichen Steigerung der Produktion und zugleich zu einer Belastung der Umwelt mit Schwefeldioxid und Schwermetallen. Hohe Entschädigungszahlungen an die Landwirtschaft beeinträchtigten das ökonomische Ergebnis der Hütten und zwangen den sächsischen Staat unter Nutzung der Potentiale der Bergakademie Freiberg und der Forstakademie in Tharandt zu Forschungen zur Lösung der entstandenen Umweltprobleme.

Aus diesem Zwang entwickelten sich zwei wesentliche Richtungen der Umweltforschung, die technologische und die umweltgeochemische. Mit den Arbeiten zur Umweltschutztechnik wurde der Nachweis erbracht, daß durch Stoffwandlung toxischer Abprodukte in Nutzkomponekten das ökonomische Ergebnis des Betriebes verbessert und die Umweltbelastung reduziert werden kann.

Die Notwendigkeit, die Toxizität der Bestandteile der Emissionen zu untersuchen, ihr Ausbreitungsverhalten zu studieren, die Art und Weise der Kontamination der Böden und Wässer festzustellen, die Wirkung der Schwermetalle auf die Entwicklung der Pflanzen und Tiere zu ermitteln, führten zu Erkenntnissen, die heute wesentlicher Bestandteil der sich entwickelnden Disziplinen Umweltgeochemie und geochemische Ökologie darstellen.

Summary: The changes which took place in metallurgy technology in Freiberg between 1850 and 1870 lead to a considerable increase in production and simultaneously to increased pollution of the environment by sulphur dioxide and heavy metals.

The need to pay large sums in compensation for the damage caused to agriculture reduced the economic viability of the industry and this in turn has faced the State of Saxony to undertake research and to find a solution to the environmental problems which have arisen. This research has been undertaken using the resources of the Freiberg Mining Academy and the Tharandt Academy of Forestry.

Two principal schools of research have correspondingly developed: one technological; the other geochemical. It has been demonstrated following work carried out on methods of environmental protection, which involve the conversion of toxic wastes into useful products, that the economic viability of the industrial process can be improved and that the level of pollution can be reduced considerably.

The need to undertake research into the toxicity of components in the pollutants, to study their distribution in the atmosphere, to determine ways in which soil and rivers are contaminated, to ascertain the effect which heavy metals have on the development of plants and animals, all of these have led to realizations which now represent an essential component of developments in environmental geochemistry and geochemical ecology.

Резюме: Происходящие с 1850ого года до 1870ого года в ходе дальнейшего развития промышленности изменения на Фрейбергских горнорудных предприятиях привели к значительному повышению производства и одновременно к возрастающему загрязнению окружающей среды с двуокисью серы и тяжёлыми металлами. Высокие репарации сельскому хозяйству влияли на экономику предприятий и вынуждали саксонское государство, используя потенции Фрейбергской Горной Академии и Тарандтской лесной академии, проводить соответствующие исследования для решения возникнутых проблем. В результате развивались два основных направления исследования окружающей среды, а именно технологическое и геохимическое.

С помощью работ по технике охраны окружающей среды удалось показать, что путём вещественных превращений токсических выбросов в полезные компоненты улучшается экономический результат предприятия и уменьшается напряжённость среды.

Необходимость, исследовать токсичность составных частей эмиссии, изучать их способ распространения, установить сущность контаминации почв и вод, выявить действие тяжёлых металлов на развитие растений и животных, привели к выводам, которые сегодня представляют основные составные части развивающихся дисциплин геохимии окружающей среды и геохимической экологии.

Literatur

- FREYTAG, M.: Wissenschaftliches Gutachten über den Einfluß des Hüttenrauches bei den fiscalischen Hüttenwerken zu Freiberg. — In: *Jahrb. Berg- u. Hüttenw. Königreich Sachsen.* — (1873). — S. 3—86
- MERBACH, K.: Die Anlagen zur Unschädlichmachung des Rauches auf den fiscalischen Hüttenwerken bei Freiberg. — In: *Jahrb. Berg- u. Hüttenw.* — (1881). — S. 42—49
- Die Freiburger Hütten. — Freiberg: Gerlach'sche Buchdruckerei, 1893. — S. 299—340. — (Freiberger Berg- u. Hüttenwesen; 2A)
- MÜHLFRIEDEL, W.: Zur Geschichte der Produzenten im Bergbau und Hüttenwesen in Deutschland (18. bis 19. Jahrhundert). — Leipzig, 1969. — (Freiberger Forsch.-H.; D 63)
- REICH, F.: Beschreibung eines Apparates zur leichten und schnellen Bestimmung des Gehaltes einer Luft an schwefelig-saurem Gase. — In: *Berg- u. Hüttenmänn. Ztg.* — Freiberg 17 (1858) 1. — S. 2—4
- Die bisherigen Versuche zur Beseitigung des schädlichen Einflusses des Hüttenrauches bei den fiscalischen Hüttenwerken zu Freiberg. — In: *Berg- u. Hüttenmänn. Ztg.* — Freiberg 17 (1858) 10. — S. 165—168; 11. — S. 173—176

- REICH, F.: Handakte über die Einwirkungen des Hüttenrauches. 1864–1881. 148 gez. Blätter. — REICH-Nachlaß. Altbestand Bergakad. Freiberg, Hochschulbibliothek. — Sign. XVII/639
- Selbstbiographie. — Original im Besitz von Frau Elisabeth Täschner, Freiberg
- Ueber die bei außersächsischen Hüttenwerken beobachteten Wirkungen des Hüttenrauches und die dagegen ergriffenen Maßregeln. — In: Jahrb. Berg- u. Hüttenw. — (1867). — S. 127–163
- SCHROEDER, I. v.; SCHERTEL, N.: Die Rauchsäden in den Wäldern der Umgebung der fiscalischen Hüttenwerke bei Freiberg. — In: Jahrb. Berg- u. Hüttenw. — (1884) 2. — S. 93–120
- STÖCKHARDT, A.: Über die Einwirkungen des Rauches der Silberhütten auf die benachbarte Vegetation. — In: Polytechn. Cbl. — (1850). — S. 256–278
- WIETHAUP, H.: Über die geschichtliche Seite der Luftverschmutzung. — In: Z. Aerosol. — 13 (1966) 2. — S. 166–175
- Oberhüttenamtsakte, F. 32, M 378, Vol. III. Standort: Historisches Staatsarchiv Freiberg. Folgende Blätter wurden ausgewertet: 1–20, 22, 30–32, 55, 74, 93–97, 112–125, 137, 143, 149

Manuskripteingang: 18. September 1985

Vortrag, gehalten anlässlich der Tagung der Gesellschaft für Geologische Wissenschaften der DDR und der Bergakademie Freiberg, „Die geologischen Wissenschaften während der Industriellen Revolution in Deutschland (1830–1870)“, vom 21. bis 23. Mai 1985 in Karl-Marx-Stadt

Anschrift des Autors:

Doz. Dr. sc. nat. B. VOLAND, Bergakademie Freiberg, Sektion Geowissenschaften, Wissenschaftsbereich Geochemie/ Mineralogie, Schließfach 47, Freiberg, 9200, DDR