

Die historischen Wurzeln der Umweltgeochemie  
und der geochemischen Ökologie in der DDR<sup>1)</sup>

Von BERND VOLAND, Freiberg

1. Einleitung

Eng verbunden mit der Entwicklung von **Bergbau** und Hüttenwesen sind im Freiburger Raum sehr frühzeitig auch die negativen Folgen des Eingriffes 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 des Umweltschutzes, von denen wir heute einen nicht unbedeutenden Teil als den Ausgangspunkt umweltgeochemischer Arbeiten betrachten.

Maßnahmen, die auf die **Umwelterhaltung** gerichtet waren, sind in der **Welt** schon aus sehr frühen Etappen bekannt. So weist **WIETHAUPT** (1966) **darauf** hin, daß es aus anderen Gebieten der **Silberproduktion** schriftlich erhaltene Forderungen aus dem Jahre 63 v. u. Z. dahingehend gibt, **Silberschmelzen** mit hohen Schornsteinen zu versehen, um die giftigen Abgase besser zu verteilen. Meist bestanden aber die "Lösungen" der Umweltproblematik in Produktionsverböten. So **wurde** im Jahre 1348 den Zwickauer Schmieden das Verbot ausgesprochen, Steinkohle im Stadtgebiet zu verbrennen. Im Jahre 1407 mußten sich die **Treibhütten** bei Goslar verpflichten, weder oberhalb noch im Stadtgebiet Erze zu rösten, und 1464 **föhrt**en Proteste der Bevölkerung gegen die Umweltvergiftung dazu, daß die Kupfer- und Bleihütte von Thomas von Benrath in Köln geschlossen werden **mußte** (**WIETHAUPT, 1966**).

Die Geschichte hat gleichzeitig deutlich gemacht, daß Produktionsverbote zur Lösung der **Umweltproblematik** untauglich sind.

---

<sup>1)</sup> Veröffentlichung Nr. 1585 der Sektion Geowissenschaften der Bergakademie Freiberg

Mit der Veränderung der Produktionsverhältnisse sind auch die Voraussetzungen und Möglichkeiten geschaffen worden, unter den Bedingungen der sich ständig entwickelnden Produktivkräfte, 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 erzwungen hat. Insbesondere sollen die Wurzeln der chemischen Richtung der Umweltforschung aufgezeigt werden, die den Ausgangspunkt für die Entwicklung solcher Disziplinen wie der **Umweltgeochemie** und der geochemischen Ökologie darstellen.

## 2. Die Entwicklung des Hüttenwesens in Freiberg und des damit verbundenen Umweltproblems bis zum 19. Jahrhundert

Im **Freiberger** Raum blicken Bergbau und das damit verbundene Hüttenwesen auf eine etwa **800jährige** Geschichte zurück. MERBACH(1893) berichtet, daß bis zum Jahre 1530 zahlreiche kleine Hütten existierten und mit höchst primitiven **Schmelzweisen** arbeiteten. Es ist anzunehmen, daß bereits zu dieser Zeit durch die **Bleitreibearbeit** bei der Silbergewinnung erhebliche Bleimengen in die Atmosphäre verdampften und zur Kontamination der **Umwelt** insbesondere der Böden führten. Eine gewisse Pause in der **Umweltbelastung** ist während des **30jährigen** Krieges zu vermerken, als die Silberproduktion nahezu vollständig zum Erliegen kam.

Erst unter August dem Starken wird mit der Bildung der **Generalschmelzadministration** am **4. Mai** 1710 die Grundlage zur Zentralisation des **Hüttenwesens** in Freiberg gelegt. Die Technologie der Silbergewinnung blieb aber zunächst bei steigender Produktion veraltet. MERBACH(1893, S. 302) charakterisiert den damals angewendeten Prozeß wie folgt:

"Man verschmolz die silberhaltigen Erze unter Zuschlag von Bleierzen und zugebrannten (d. h. in Stückform gerösteten) Rohstein, den man, nach einem in Freiberg von Barthel und Köhler angegebenen Verfahren, aus silberhaltigem Schwefelkies **erschmolz**, auf Werkblei, trieb letzteres ab und gab die fallenden Glätten als Zuschlag zum Schmelzen zurück". "Dass bei diesem Verfahren das vorgelaufene Blei fast gänzlich, hauptsächlich durch Verflüchtigung, zum geringsten Theil durch **Verschlackung**, verloren ging, kann nicht Wunder nehmen, ...".

Bei steigender Silberproduktion in der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts dürften folglich die Blei- und **SO<sub>2</sub>-Belastung** der Umwelt erheblich zugenommen haben.

Der mit der Erhöhung der Silberproduktion einhergehende stark gesteigerte Verbrauch an Holz und Holzkohle und die gleichzeitige Verarmung der Erze zwang zur Anwendung **neuer** Technologien. In dieser Hinsicht war die Einführung des Amalgamierverfahrens im Jahre 1784 auf der Halsbrücker Hütte von Bedeutung. Dieses Werk arbeitete mit einer Unterbrechung (1792 Zerstörung durch Brand) bis 1857. Es darf als gesichert angesehen werden, daß in dieser Zeit eine beachtliche Quecksilberkontamination der Umwelt erfolgte. Immerhin wurden in den Jahren des Bestehens über 150000 Tonnen Erz mit 31116 t Silber bei einem Quecksilberverbrauch von **6,6 t** verarbeitet.

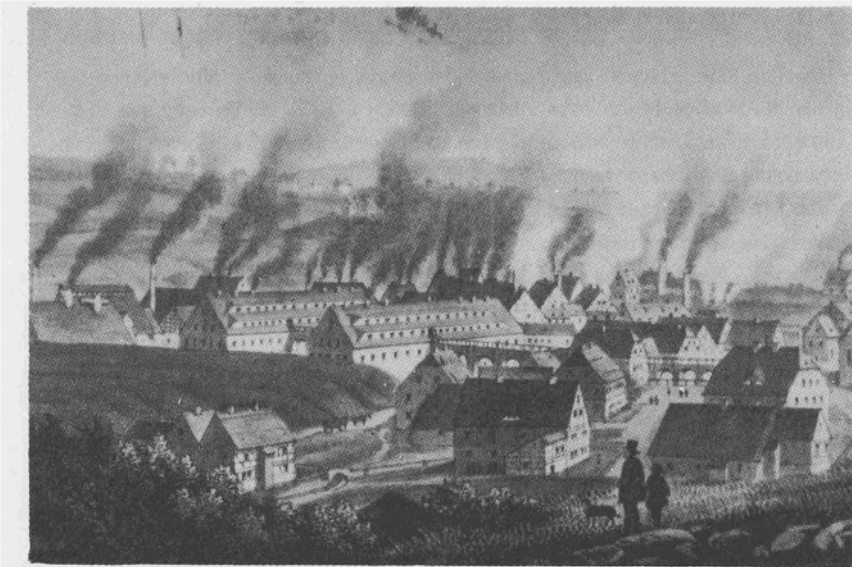


Bild 1. **Das** Amalgamierwerk Halsbrücke (1784 bis 1857)  
(Original im Stadt- und Bergbaumuseum Freiberg)

Im Jahre 1823 wurde schließlich der durch die Bergakademie **wissenschaftlich-technisch** gelöste Ersatz der Holzkohle durch Steinkohle bei der Verhüttung abgeschlossen. Dieser Vorgang stellt zugleich die erste Äußerung der industriellen Revolution **im** Freiburger Montanwesen dar (W. **MÜHLFRIEDEL**, 1969, S. 49).

Zusammen mit der **Übernahme** englischer Erfahrungen und dem Bau des ersten **Gasflammenofens** im Jahre 1845 leiten diese technischen Neuerungen eine völlig neue Periode des Montanwesens in Freiberg ein (E. **WÄCHTLER**, 1964). Die Produktion stieg erheblich, da **immer** größere Mengen insbesondere ärmerer Erze verarbeitet werden konnten. In den wenigen Jahren 1845 bis 1852 verdreifachte sich die Menge verhütteter Erze.

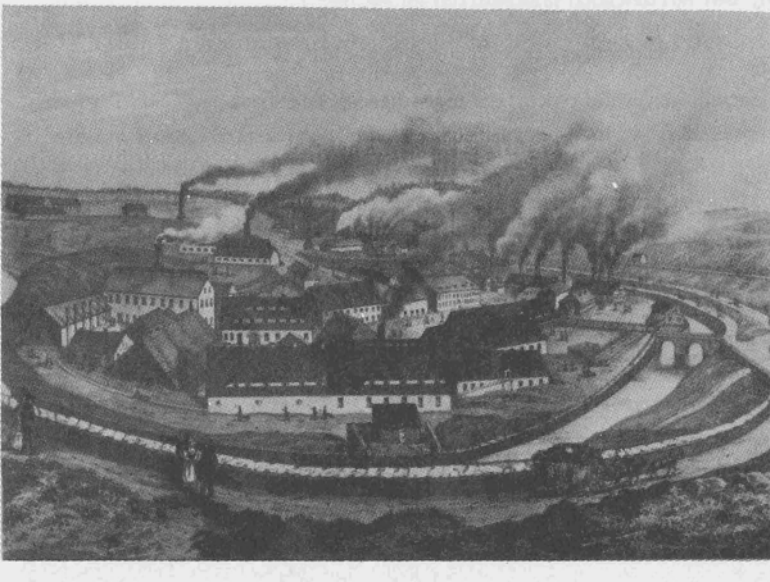


Bild 2. Oie Muldener **Schmelzhütte** im Jahre 1837  
(Original im Stadt- und Bergbaumuseum Freiberg)

Die auf der einen Seite offensichtlichen Fortschritte in der Periode der industriellen Revolution im Montanwesen Freibergs führten aber gleichzeitig zu **Umweltbeeinflussungen** in bis dahin nicht gekanntem Ausmaß. Die erhöhte Schadstoffemission **führte** zu **Vergiftungserscheinungen** in der umliegenden Forst-, **Land-** und Viehwirtschaft.

Welch großes Ausmaß die Hüttenrauchschäden dieser Zeit hatten, zeigt die Tatsache, daß bei der generellen Abfindung in den Jahren 1875 bis 1877 ungefähr 600 Grundbesitzer entschädigt wurden (**MERBACH**, 1881, S. 42). **MERBACH (1893)** schreibt dazu:

"Die Art und Weise, wie von allen Seiten Ansprüche auf Vergütung der entstandenen Rauchschaden geltend gemacht wurden, liess bald die Unmöglichkeit erkennen, sich mit **Zahlung** von Entschädigungsgeldern zu begnügen, es galt vielmehr, sollte anders die Fortentwicklung der Hütte nicht ernstlich bedroht sein, den Hüttenrauch unschädlich zu **machen**".

**TÄSCHNER**(1916) gibt von jener Zeit folgendes Bild:

"Man kann sagen, schon seit Jahrhunderten klagen die Landwirte von Freiberg und der anstoßenden Dörfer über die Rauchbelästigung der Hüttenwerke, sie beschwerten sich über die Vergiftung ihrer Felder und schoben die Mängel, die sich beim Vieh zeigten, auf das vergiftete Futter. Die Klagen waren in den **1840er** Jahren **immer schlimmer** geworden und wurden seit etwa 1853 noch vermehrt durch das Auftreten einer Rindviehkrankheit, die sich in der Bildung von Sauren in Magen, Milch, Blut, Mark usw. zeigte. Diese Krankheit, die am stärksten in Hilbersdorf auftrat und sich dann auf die **Nachbardörfer** erstreckte, führte zu Rechtsstreitigkeiten gegen den Staat als den **Hüttenunternehmer**; die sogenannte Hittenkuh erlangte bei den Freiburger **Gerichtsbeteiligten** eine gewisse Berühmtheit und spielte fortan in der Rechtswissenschaft, Landwirtschaft, Tierarzneikunde und Chemie eine **große** Rolle; sie kostete, nebenbei bemerkt, dem Staat viel Geld und ist schließlich auch die Ursache einer Weltberühmtheit, nämlich der höchsten Esse Europas, geworden".

### 3. Die Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Umweltschutzes in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts

#### 3.1. Überblick zu den Entwicklungsrichtungen der Umweltforschung

Es ließ sich also nicht mehr umgehen, die **Rauchschadensproblematik** jener Jahre mußte zum Gegenstand wissenschaftlicher Bearbeitung gemacht werden, wollte man Fortschritte erreichen. Die Leitung dieser Forschungstätigkeit übertrug das sächsische Finanzministerium dem Oberhüttenamt. Insbesondere unter Oberberghauptmann **v. BEUST** erfolgte eine straffe Koordinierung und Leitung der sehr breit angelegten technologischen, chemischen und biologischen Arbeiten.

Wissenschaftler der verschiedensten Disziplinen wurden zur Mitarbeit herangezogen. Mit der Erweiterung des **Hüttenlaboratoriums** in Freiberg wurden zugleich die materiellen Voraussetzungen zu entsprechenden technologischen und chemischen Arbeiten geschaffen.

Die anstehenden Aufgaben waren nur in einer breit angelegten interdisziplinären Arbeit zu lösen.

Als erster erhielt im Jahre 1849 der Tharandter Professor A. STÖCKHARDT vom Staat den Auftrag zu entsprechenden Untersuchungen, deren Ergebnisse er unter dem Titel:

"Über die Einwirkung des Rauches der Silberhütten auf die benachbarte Vegetation" (1850) veröffentlicht.

Am 31. Dezember 1852 veranlaßt das Landgericht Freiberg den Bezirkstierarzt FRANZ zur Untersuchung der durch die **Hüttentätigkeit** verursachten Krankheiten an den Rinderbeständen. Mit der Erweiterung des Schadensgebietes wird im Jahre 1854 erneut der Auftrag an A. STÖCKHARDT zu weiteren Untersuchungen erteilt, deren Ergebnisse er im Gutachten vom 1. März 1855 niederlegte (in FREYTAG, 1873). Die Untersuchungen an Tieren werden durch die Erteilung eines Auftrages seitens des sächsischen Ministeriums des Inneren an den Direktor der Tierarzneischule Dresden, Professor HAUBNER, erweitert. Erste Fütterungsversuche mit kontaminiertem Futter werden unternommen und die Ergebnisse in Berichten vom **31. März**, 28. April, 26. Juli 1854 und 18. Januar 1855 niedergelegt (in FREYTAG, 1873, S. 8). Im Bericht vom 1. Dezember 1854 teilt der Apotheker und Chemiker SUSZORF Ergebnisse chemischer Untersuchungen von **Böden** und Heu mit. **Weitere** Fütterungsversuche werden vom **Wirtschaftsdirektor** STECHER im Gutachten vom 30. November 1854 ausgewertet (in FREYTAG, 1873).

Eine neue Qualität der Umweltforschungen wird durch Verordnungen des sächsischen Staates vom **26. Juni** und **18. Oktober** 1862 mit der Berufung einer wissenschaftlichen Kommission zur Klärung der "Hüttenrauchproblematik" eingeleitet. Mit der Leitung wird der "Geheime **Regierungsrat**" **Dr. REUNING** beauftragt, als Mitglieder werden der Tharandter Professor **AUGUST STÖCKHARDT**, der Freiburger Professor **FERDINAND REICH** und der Direktor der Chemnitzer **Staatslehranstalt GUSTAV MARTIN WUNDER** berufen.

Auf Veranlassung dieser Kommission im Jahre 1862 unternimmt **FRIEDRICH NOBBE** in Chemnitz (Bericht vom **18. November** 1864 in **HStA OHA**, F 32, H 378, Vol. III, Blatt 112 - 125) erste Versuche zur **Bestimmung** von **Schädigungsgrenzen** für die Elemente Blei und Arsen an Pflanzen. Bei diesen Untersuchungen dürfte es sich um die ersten Bestimmungen von Toleranzgrenzen für Pflanzen handeln.

Die technologisch und chemisch orientierten Arbeiten werden verstärkt durch das **Hüttenlaboratorium** in Freiberg ausgeführt. Hier standen bereits seit dem Eintritt des Akademieprofessors **FERDINAND REICH** als Direktor des **Hüttenlaboratoriums** im Jahre 1856 Arbeiten zur Lösung des Hüttenrauchproblems im Mittelpunkt.

Der Auftrag des Königlich Sächsischen Finanzministeriums vom 15. Dezember 1870 an den Professor der landwirtschaftlichen Akademie zu Poppelsdorf bei Bonn, **MORITZ FREYTAG**, zur Ausarbeitung eines Gutachtens "über den Einfluß der Dämpfe der Freiburger Hütten auf die Vegetation der benachbarten Grundstücke und ganz besonders auf die Gesundheit der Haustiere, namentlich des Rindviehs", führte zu einer zusammenfassenden Darstellung der **Untersuchungsergebnisse** jener Jahre (**FREYTAG**, 1873).

Aufbauend auf Arbeiten von **F. REICH** und **A. STÖCKHARDT** wurden schließlich von **J. v. SCHRÖDER** und **A. SCHERTEL** im Jahre 1884 umfangreiche regionale Untersuchungen zum Schwefelsäuregehalt in Fichtennadeln publiziert. Die Ergebnisse dieser Arbeit führten zur ersten **kartenmäßigen** Darstellung der Verbreitung des Schadensgebietes (Bild 2). Sie dürfte in der Welt die erste Darstellung einer anthropogen verursachten biogeochemischen Anomalie repräsentieren.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß sich die Forschungstätigkeit auf dem Gebiet des Umweltschutzes im Raum Freiberg insbesondere seit Beginn der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts in zwei wesentlichen Richtungen vollzog, nämlich einmal in technologischer Richtung zur Entfernung toxischer Substanzen aus den Abgasen und zum anderen in eine Richtung, die wir heute als Bestandteil **umweltgeochemischer** Forschungen betrachten.



Bild 3. Anthropogene biogeochemische Anomalie, dargestellt durch die  $\text{SO}_4$ -Gehalte in Fichtennadeln (nach SCHRODER/SCHERTEL, 1884)  
 1 - Hüttenbetrieb; 2 - 0,25 Masse-%  $\text{SO}_4$ -Gehalt

Aus der Entwicklung jener Jahre ergab sich einerseits der Zwang, neue technologische Lösungen zur Beseitigung des Hüttenrauchproblems zu entwickeln und in die Praxis einzuführen. Andererseits machte es sich erforderlich, die einzelnen Quellen der Umweltbeeinflussung zu untersuchen. Es galt zu klären, welches sind die giftigen Substanzen, welche Rolle spielen dabei das Schwefeldioxid und die Schwermetalle wie Blei, Zink und Arsen, wie verteilen sich



diese Elemente in der Umwelt, wie wirken sie auf Pflanze und Tier? Die in diesem **Zusammenhang** ab etwa **1850 vorgenommenen** Untersuchungen zur chemischen **Zusammensetzung** der Abgase (insbesondere  $\text{SO}_2$  und  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), zur **Zusammensetzung** der **Flugstäube** (insbesondere Blei, Zink und Arsen), zur Verteilung von Schwefeldioxid in der Atmosphäre, zur Verteilung von Pb, Zn und As in Niederschlägen, insbesondere im Schnee, zur Verteilung der Schwermetalle in Böden, zur Verteilung dieser Metalle im biologischen Material, wie in Nadelbäumen und Futterpflanzen, in rauchbeeinflussten und **-unbeeinflussten** Gebieten, stellen die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen im Sinne einer Umweltgeochemie dar. Mit diesen Untersuchungen **wurde** also bereits vor 130 Jahren der von der Umweltgeochemie heute beschriftete **methodische** Weg vorgezeichnet, das Verhalten der Elemente in der Kette: Quelle, Ausbreitungs**mechanismus** in der **Atmosphäre**, Kontamination des Bodens, Kontamination des Wassers, der Pflanzen und des Tiers zu untersuchen.

### 3.2. Zum Kenntnisstand in der Mitte des 19. Jahrhunderts auf dem Gebiet des Umweltschutzes im Bereich von Hüttenbetrieben

**Über** die internationale Situation in der Mitte des 19. Jahrhunderts auf dem Gebiet des Umweltschutzes im Bereich von Hüttenbetrieben liegt uns eine ausgezeichnete Arbeit FERDINAND REICHS (1867) vor. Diese Arbeit "Ober bei außersächsischen Hüttenwerken beobachtete Wirkungen des Hüttenrauches und die dagegen ergriffenen Maßregeln" entstand in Auswertung der zu jener Zeit bekannten Literatur und in Zusammenfassung der Ergebnisse einer Reise, die er **zusammen** mit dem **Hüttengehilfen** ERHARD in den Monaten Mai und Juni 1865 in verschiedene deutsche, belgische und englische Hüttengebiete durchführte und dabei etwa 40 verschiedene Betriebe besuchte.

Die Arbeit befaßt sich im ersten Teil mit den toxischen Wirkungen der verschiedenen Bestandteile des Hüttenrauches. Im zweiten Teil werden gesetzliche Bestimmungen der Länder zur Vermeidung von Umweltschäden und entsprechende **Entschädigungsregelungen** beschrieben. Der dritte Teil enthält Aufzeichnungen über technologische Maßnahmen zur Vermeidung von Umweltschäden.

Zunächst wird **die Toxizität** der wichtigsten Schwermetalle eingeschätzt. Die toxische **Wirkung** des Bleis wird insbesondere in der Kontamination der Böden mit bleioxidhaltigen Substanzen gesehen. Die Bleikrankheit bei Hüttenarbeitern war darüber hinaus seit langem bekannt.

Versuche mit Böden, denen Zinkoxid beigemischt wurde, haben das **Pflanzenwachstum** nicht beeinflusst, während Pflanzen, die auf mit Zinksulfat behandelten **Böden** angebaut wurden, Schädigungen aufwiesen.

In dieser Beobachtung wird zum ersten Male der für **umweltgeochemische** Arbeiten bedeutsame Sachverhalt sichtbar, daß toxische Wirkungen von Schwermetallen sehr wesentlich von der Bindungsart und der Löslichkeit der entsprechenden Verbindungen abhängen.

Die Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums auf arsenhaltigen **Böden** wird noch als zweifelhaft eingeschätzt. **Das** heute als besonders problematisch einzuschätzende Kadmium wird noch nicht erwähnt.

Als wichtigste Schadensverursacher werden schwefelige Säure, **Chlorwasserstoffsäure** und Fluorwasserstoffsäure, "selbst in großer Verdünnung", erkannt.

REICH weist auch schon **darauf** hin, daß die Pflanzen sehr unterschiedliche Resistenz gegen die Umweltgifte aufweisen. So erweisen sich Nadelhölzer als empfindlicher als Laubhölzer. Unter den Laubhölzern werden Pflaumenbäume und Eichen als empfindlicher angesehen als Birnenbäume.

Als wesentlich **für** die Ausbreitung und Wirkung der toxischen Emissionen werden der Zustand der **Atmosphäre** und das Wetter betrachtet.

**Vergiftungserscheinungen** beim Tier werden vor allem auf kontaminierte Futterpflanzen zurückgeführt. Erste Fütterungsversuche an Kühen mit Zinkoxid kontaminierten Futter führten zum Verlust der Freßlust.

Am Ende dieses ersten Teils geht REICH noch einmal auf die möglichen Quellen der Umweltvergiftung ein und weist **darauf** hin, daß neben den **Hüttenbetrieben** als Verursacher auch chemische Fabriken, Seifenfabriken, Glashütten und Sodafabriken in Frage **kommen**. Ferner weist er **darauf** hin, daß **Bergbauhalden** und Abprodukthalden der **Hüttenbetriebe** zu wichtigen Quellen der Verunreinigungen von **Wässern** werden können.

Über die von REICH **angeführten** gesetzlichen Regelungen soll hier nur soviel gesagt werden, daß sie in den deutschen Ländern und Belgien sehr ähnlich waren und im wesentlichen **darin** bestanden, daß der Staat die Genehmigung zum Betreiben eines **Hüttenbetriebes** erteilen **mußte**. Am fortgeschrittensten waren die Regelungen in **England**, wo es bereits Auflagen zur Entfernung von Schwefeldioxid und Chlorwasserstoff aus den Abgasen gab. Die Kontrolle der Einhaltung dieser Vorschriften ließ das Gesetz allerdings offen. REICH (1867, S. 139) kommentiert die englische Gesetzgebung in dieser Frage wie folgt:

"Durchaus waltet das Prinzip vor, die Industrie nicht durch gesetzliche Bestimmungen zu schädigen oder ihren Fortschritt zu hemmen".

Zum vorherrschenden Prinzip der Regelung von Schadensforderungen entwickelte sich die **Entschädigungszahlung** der Schadensverursacher an die Geschädigten, bzw. der Aufkauf von Schadensgebieten durch die Verursacher oder die einmalige Abfindung.

Auch die im dritten Teil von REICH beschriebenen technologischen Lösungen zur Entgiftung des Hüttenrauches sollen hier nur kurz erwähnt werden.

Der Zwang zur Entgiftung ergab sich im wesentlichen aus zwei Motiven. Erstens wurden in allen **Hüttenbetrieben** die **Entschädigungsforderungen** so hoch, daß die Rentabilität stark beeinträchtigt wurde. Zweitens führte der zunehmende Bedarf an Schwefelsäure, Blei, Zink und Arsen zur Suche nach technologischen Lösungen zur Erhöhung des Metallausbringens der Hütten.

Es ist daher nicht verwunderlich, daß sich sowohl in deutschen **Hüttenbetrieben**, als auch in Belgien und **England** der gleiche technologische Trend vollzog, nämlich das anfallende Schwefeldioxid zur Herstellung von Schwefelsäure zu nutzen, den Flugstaub, der erhebliche **Mengen** an Blei, Zink und Arsen enthielt, in Kondensationskanälen unterschiedlicher **Bauart zurückzugewinnen** und die verbleibenden Abgase über hohe Essen in die Atmosphäre abzuleiten.

**Zusammenfassend** vermerkt REICH, daß er keine Hütte angetroffen hat, in der die Maßnahmen zur Entgiftung des **Hüttenrauches** so weit vorangeschritten waren, wie in Freiberg.

Diese sicher **unbestreitbare Tatsache** kann man als Ausdruck dafür interpretieren, daß der inzwischen bürgerliche sächsische Staat seine eigenen Betriebe als **Experimentierfeld** für die Bourgeoisie nutzt. Die erzielten Fortschritte resultieren aus der Einheit von Hochschule und **Betrieb**, von Forschung und Praxis.

### 3.3. STÜCKHARDTs Arbeiten auf dem Gebiet der Umweltforschung in der Mitte des 19. Jahrhunderts

Den Auftrag des sächsischen Staates im Jahre 1849 an den an der Forstakademie in Tharandt tätigen Professor AUGUST STOCKHARDT, die "Art und Größe des nachtheiligen Einflusses, welcher durch den Rauch der Halsbrückner Hütten auf die **Umgebung** derselben ausgeübt wird", zu untersuchen, kann man als Ausgangspunkt

für die chemische Richtung der Forschung auf dem Gebiet des Umweltschutzes in der **Welt überhaupt** ansehen.

STÜCKHARDT (1850) untergliedert die Bestandteile des Hüttenrauches in unschädliche und schädliche. Zu den unschädlichen zählt er "Kohlensäure, Kohlenoxydgas, Wasserdampf, Ruß, Kohlenwasserstoffgas, Stickstoff und Schwefeldampf". Zu den schädlichen stellt er "schwefelige Säure, Schwefelsäure, Salzsäure, Chlorgas, arsenige Saure, Arsensuboxyd, Hleioxyd, Zinkoxyd und Antimonoxyd".

Je nach Wirkungsweise der schädlichen Bestandteile auf die Pflanzen unterscheidet er einerseits akute Vergiftungen, die insbesondere den Säuren zugeordnet werden und andererseits indirekte oder chronische Vergiftungen, deren Ursachen in der **Schwermetallkontamination** der Böden, insbesondere durch Blei, gesehen werden.

Um seine Aussagen zu belegen, untersuchte STÜCKHARDT die Blätter **hüttenrauchbeeinflußter** und im Absterben befindlicher Haferpflanzen, indem er sie mit Wasser wusch und im Waschwasser sowohl einen erheblichen Sulfatgehalt als auch freie Schwefelsäure nachweisen konnte.

Als Vorläufer für derartige Arbeiten kann man die Beschreibung der giftigen Wirkung von Schwefeldioxid auf Pflanzen durch BRACONNOT und SIMONIN (1848) und Begasungsversuche von TURNER und CHRISTISON (1828) ansehen.

Für die umweltgeochemische Forschung bedeutender sind STÜCKHARDTs Untersuchungen an kontaminierten Böden.

Auch hier gibt es als Vorläufer den chemischen Nachweis der Gegenwart von Blei in **Böden** durch den in Clausthal (**Oberharz**) tätigen Forstamtassessor RETTSTADT (1845), der "die Einwirkungen des Rauches der **Silberhütten** des Oberharzes auf die Waldbäume und den Forstbetrieb" untersuchte.

Bereits STÜCKHARDTs Vorgehensweise bei der chemischen Untersuchung der Bodenproben ist originell. Zuerst untersuchte er den wäßrigen Auszug der Bodenproben auf Blei. Da er **darin** kein Blei nachweisen konnte, schlußfolgert er, daß Blei nicht in wasserlöslicher Form im Boden vorliegt und somit eine **direkte Vergiftungswirkung** auf die Pflanze auszuschließen sei. **Im salpetersauren** Auszug weist er hingegen in den 3 untersuchten Proben die hohen Gehalte von 6900, 9600 und 10500 ppm Blei nach. Antimon, Arsen und Zink **wurden** nur in Spuren nachgewiesen.

Originell und noch heute bedeutsam ist auch seine Erklärung des Kausalzusammenhanges zwischen diesen hohen Bleigehalten des Bodens und seiner Unfruchtbarkeit. STÜCKHARDT (1850) geht davon aus, daß sich **Blei** mit den or-

ganischen, humosen Bestandteilen des Bodens verbindet und dieselben "unlöslich und **unverweslich**" macht. Er weist gleichzeitig **darauf** hin, daß Blei wasserunlösliche Karbonate und Phosphate bilden kann, die dann ebenfalls nicht für die Pflanzenernährung zur **Verfügung** stehen.

**STÜCKHARDT** resümiert: "Haben wir unter der "**Bodenthätigkeit**" eine stetige fortschreitende Verwesung der organischen Bodenbestandteile und Verwitterung der unorganischen zu verstehen, und stellt sich heraus, daß die Gegenwart von Bleioxyd in den Boden diesen **beiden** Prozessen, welche die Nahrungsstoffe für die Pflanzen zubereiten und genießbar (auf löslich) machen, hemmend entgegentritt, **so** wird es vollkommen gerechtfertigt erscheinen, wenn man diesem Metall eine "**vergiftende**" Einwirkung auf den Boden **zuschreibt**". (1850, S. 263).

**Unabhängig** davon, daß wir heute über andersartige und weitergehende Erkenntnisse über die toxische Wirkung des Bleis auf das Wurzelsystem der Pflanzen verfügen, **muß** man feststellen, daß **STÜCKHARDT** mit diesen Ergebnissen ein wichtiges Prinzip **umweltgeochemischer** Forschungen begründete.

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 werden und wissenschaftlich begründete Maßnahmen zur Verhütung von Schäden eingeleitet werden.

Es ist deshalb auch unrichtig, allein aus erhöhten Schwermetallgehalten eines Bodens auf eine Umweltgefährdung zu schließen.

Der toxischen Wirkung des Arsens auf die Pflanzen **mißt** **STÜCKHARDT** wenig Bedeutung bei. Als Ursache der toxischen Wirkungen beim Tier sieht er vor allem die den Futterpflanzen auflagernden Schwermetallstäuben an, von denen er **annimmt**, daß man sie abwaschen könne. Durch eigene entsprechende Versuche mußte er sich später überzeugen, daß dies praktisch nicht möglich ist.

**STÜCKHARDT** beschäftigte sich noch viele Jahre mit dem sogenannten **Hüttenrauchproblem**. Im Gutachten vom **1. März 1855** wendet er sich vor allem der Frage der Kontamination der Böden mit Schwefeldioxid und Schwefelsäuren zu (siehe **FREYTAG, 1873**).

Zahlreiche Versuche stellt er über die Wirkung des Schwefeldioxids auf Pflanzen, sowie über die toxische Wirkung der auf Pflanzen abgelagerten **Metallgifte** an. Er zeigte die Zunahme des Sulfatgehaltes in Pflanzen verschiedener Gattungen in Hüttenrauch beeinflussten gegenüber unbeeinflussten Gebieten auf.

Durch Pflanzenversuche zeigte er, daß auf der Pflanze auflagerndes Bleioxid bzw. Arsentrioxid das Pflanzenwachstum nicht beeinflusst, während **Vegetationsversuche** mit Blei und Arsen kontaminierten Böden entsprechende toxische Wirkungen zeigten.

Eine intensive Zusammenarbeit entwickelte sich ab 1856 auf diesem Gebiet mit FERDINAND REICH in Freiberg.

Fortgesetzt wurden die Arbeiten **STÜCKHARDTs** durch seinen Nachfolger JULIUS von SCHROEDER, der im Jahre 1883 den Erkenntnisstand auf dem Gebiet der Umweltforschung gemeinsam mit CARL REUSS **zusammenfassend** darstellte.

Die Bedeutung der Arbeiten **STÜCKHARDTs** liegt weniger in den **Einzelergebnissen**, als vielmehr im methodologischen Weg, den er mit seinen Untersuchungen aufzeigte. Dieser Weg, die Verteilungsbahnen der toxischen Elemente von der Quelle über die Ausbreitung in der Atmosphäre, der Kontamination der Böden, der Aufnahme durch die Pflanze und schließlich der Aufnahme durch das Tier zu untersuchen, hat prinzipielle Bedeutung für diesen Teilbereich **umweltgeochemischer** Forschung.

### 3.4 REICHs Arbeiten auf dem Gebiet des Umweltschutzes

Eine bedeutende Rolle bei der Einführung und Herausbildung der chemischen Arbeitsrichtung auf dem Gebiet des Umweltschutzes nimmt der ehemalige Professor der Bergakademie, FERDINAND REICH (1799 bis 1882), ein.

Bekannt ist er durch seine Arbeiten zum Erdmagnetismus, durch seine "Fallversuche über die Umdrehung der Erde in dem Oreibrüderschacht zu Freiberg", durch seine grundlegenden Arbeiten zur Geothermie und durch die Einführung **geoelektrischer** Verfahren zur Suche gangförmiger Erzlagerstätten. Am bekanntesten ist sicher seine Entdeckung des **chemischen Elementes** Indium zusammen mit TH. RICHTER (1863).

**Weniger** bekannt sind die chemischen Arbeiten auf dem Gebiet des Umweltschutzes, die vornehmlich während seiner Tätigkeit im **Hüttenlaboratorium** in den Jahren 1856 bis 1866 entstanden. In seiner Selbstbiografie (1867) schreibt REICH zu seinen Aufgaben im Hüttenlaboratorium:

"Namentlich fielen mir die vielen Arbeiten zu, welche die leidige **Hüttenrauchfrage** veranlaßte, und als das Ministerium eine eigene **Kommission** zu **wissenschaftlicher** Erörterung der dabei einschlagenden Fragen unter dem Vorsitz des Geh. Rates REUNING anordnete, wurde ich zu einem Mitglied derselben ernannt."

### 3.4.1. REICHs Arbeiten zur Entfernung des Schwefeldioxids aus den Abgasen der Hüttenbetriebe

Die Hauptaufgabe bestand in der Untersuchung des Hüttenrauches und der Entwicklung von Verfahren zu seiner Entgiftung. Den Stand der Kenntnisse jener Zeit über die Giftigkeit der Komponenten des Hüttenrauches beschreibt REICH (1858) wie folgt:

"Nachdem man früher die schädlichen Einwirkungen des Hüttenrauches auf die benachbarte Vegetation und den Viehbestand vorzüglich den Blei- und **Arsen-**dämpfen zugeschrieben hat, ist man später zu der Ueberzeugung gekommen, daß er vornehmlich nur in dem Gehalte der **Dämpfe** an schwefeliger Säure und der aus dieser entstehenden 'Schwefelsäure zu suchen sei".

Zu erst beschäftigte sich der verstorbene Bergrath PLATTNER damit, und widerlegte sofort die sowohl von ihm selbst getheilte, als wie es scheint hier allgemein verbreitete Ansicht, daß die von den Röstöfen, vornehmlich aber den Röststadeln entweichende Luft ihres Sauerstoffes ganz oder doch in hohem Grade beraubt sei".

Die ersten überhaupt bekannten  $\text{SO}_2$ -Messungen von PLATTNER (zitiert bei REICH, 1858) in den Abgasen erbrachten Werte zwischen 0,25 bis 0,78 Vol.-%  $\text{SO}_2$ . Die Notwendigkeit, sich zunächst mit dem  $\text{SO}_2$ -Problem zu befassen, führte zur ersten Geräteentwicklung zur Überwachung der Umwelt durch FERDINAND REICH. Unter dem Titel: "Beschreibung eines Apparates zur leichten und schnellen **Bestimmung** des Gehaltes einer Luft an schwefelsaurem Gase" veröffentlicht REICH im Jahre 1858 seine Geräteentwicklung. Neben zahlreichen Analysen der Abgase veröffentlicht REICH (1858) die ersten zuverlässigen Werte für  $\text{SO}_2$ -Gehalte in der **Atmosphäre** Freibergs, die bei "lebhaftem Wind" mit 0,0056 Vol.-% und "bei mehr ruhiger Luft" mit 0,01 Vol.-% angegeben werden. **Wiederholungsmessungen** im Oktober 1863 führten zu etwa gleichen Werten (HStA OHA, F 32, H 378, Vol. III, Blatt 22). Mit Schreiben vom 1. November 1863 teilt REICH dem Oberhüttenamt erneute Messungen mit (HStA OHA, F 32, H. 378, Vol. III, Blatt 30 - 31). Bei 10 Schritt Entfernung von der Esse eines **Röststadels** wurden 0,00178 Vol.-%  $\text{SO}_2$  und in 60 Schritt Entfernung 0,00078 Vol.-%  $\text{SO}_2$  in der Atmosphäre gemessen. Gleichzeitig werden auf der Grundlage dieser Analysen Berechnungen über den Gesamtumfang der  $\text{SO}_2$ -Emission **vorgenommen**. So gibt REICH die Emission von 6 dt Schwefel innerhalb von 24 Stunden für einen Röstöfen an (HStA, OH, H 378, Bd. III, Bl. 74 ff.).

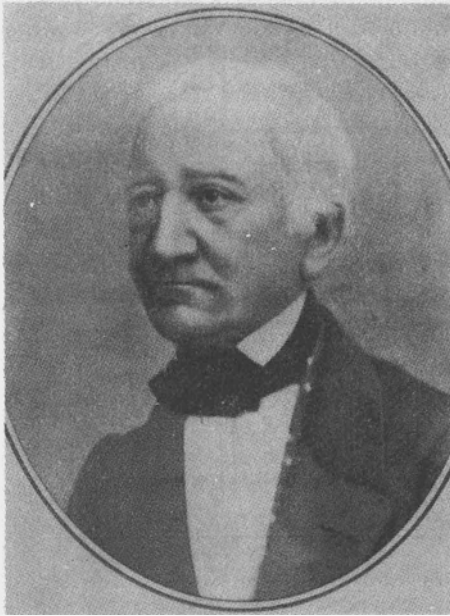


Bild 4. FERDINAND REICH(1799 bis 1882)

Zur Ausarbeitung technologischer Verfahren zur Beseitigung des  $\text{SO}_2$  aus den Abgasen wurden seit 1854 zahlreiche Untersuchungen vorgenommen. REICH (1858, S. 173 bis 176) berichtet darüber und wägt ihre großtechnische Realisierbarkeit ab. Als erfolgversprechend und ökonomisch anwendbar schlägt er die Oxydation der schwefeligen Säure mittels Salpetersäure und die Gewinnung der Schwefelsäure vor.

Auf REICHs Vorschlag hin wird im Jahr 1857 mit dem Bau einer ersten Schwefelsäurefabrik in Muldenhütten begonnen. Nur zögernd setzt sich dieser Weg durch(siehe dazu auch Bild 5). Der Oberberghauptmann von BEUST (HStA, OHA, H. 388, Bl. 32), der noch ungenutzte Möglichkeiten bei der Rauchentgiftung erkannte, schlug im Jahre 1859 vor, die Schwefelsäureproduktion zu einem leistungsfähigen und kostengünstigen Chemiebetrieb auszubauen.



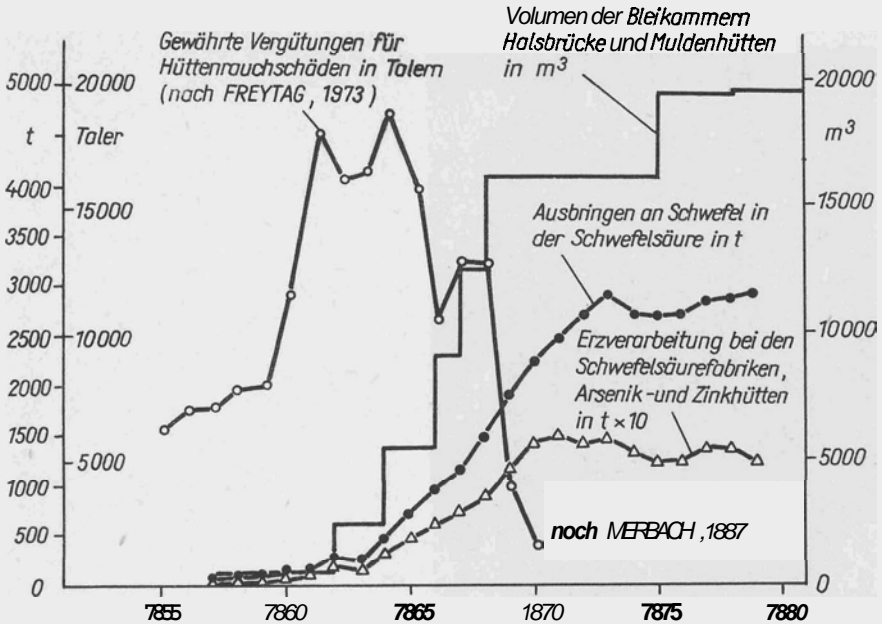


Bild 5. Gewährte Vergütungen für Hüttenrauchschäden (nach FREYTAG 1873) und Entwicklung der Maßnahmen zur Abgasentschwefelung zwischen 1851 und 1881 (nach MERBACH, 1881)

Gleichzeitig wurde aber auch gezeigt, daß bisherige Schadstoffe bei entsprechender Stoffwandlung in Nutzkomponenten überführt werden können, ein Weg, der schließlich auch zur Produktion von Arsen und Zink führte.

Gleichzeitig mit dem Vorschlag, aus dem schädlichen  $\text{SO}_2$  Schwefelsäure zu gewinnen, schlägt REICH den Bau hoher Essen und von Flugstaubkondensationskanälen vor.

"Durch sie werden in nicht ferner Zeit alle übrigen **schädlichen** Bestandtheile 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 Jahre 1858 wurde der Bau der ersten hohen Esse in Muldenhütten begonnen. 1860 beginnt der Bau von Flugstaubkondensationskanälen und 1866 wird die Schwefelsäurefabrikation in Halsbrücke aufgenommen.

Der Bau der Hohen Esse in Muldenhütten brachte keine Besserung. Das Schadensgebiet erweitert sich, wie Schadensmeldungen aus dem Gebiet des Tharandter Waldes zeigten.

Am 20. Juni 1864 berichtet REICH an das Oberhüttenamt (HStA, OHA F 32, H 378, Vol. III, Bl. 55 ff.), daß nach seinen neueren Messungen noch immer 77,69 Zentner  $\text{SO}_2$  pro Tag der Hochesse Muldenhütten entweichen. Auf ein Jahr berechnet würde das immerhin die Menge von rund 1400 t  $\text{SO}_2$  ergeben, die an die Atmosphäre abgegeben wurden.

Ungeachtet dessen kann REICH im Jahre 1867 in seinem Aufsatz "Ueber die bei außersächsischen Hüttenwerken beobachteten Wirkungen des Hüttenrauches und die dagegen ergriffenen Maßregeln" darauf verweisen,

"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 zur Veränderung der Technologie bereits im Jahr 1865 rund 1390 t  $\text{SO}_2$  und 445,6 t  $\text{As}_2\text{O}_3$  der Atmosphäre weniger zugeführt wurden.

Angaben über den Gesamtumfang der  $\text{SO}_2$ -Emission jener Jahre liegen uns heute leider nicht vor. Eine Abschätzung aus den im Jahre 1865 verarbeiteten Erzmengen von 28 500 t läßt auf eine Emission von etwa 4000 bis 5000 t schließen. Eine solche Größenordnung schätzte übrigens auch FREYTAG (1873) ab.

REICHs Annahme, daß sich die Schwefelsäureproduktion des Jahres 1865 noch verdreifachen läßt (REICH, 1867, S. 163), wenn die geplanten Schwefelsäurefabriken im Raum Freiberg arbeiten, steht mit dieser Abschätzung im Einklang.

### 3.4.2. REICHs Untersuchungen der Hüttenstäube

Nachdem das  $\text{SO}_2$ -Problem weitestgehend gelöst war, erhielt F. REICH von der "zur Untersuchung der Eigenschaften und der Wirkung des Hüttenrauches der fiskalischen Freiburger Hütten eingesetzten Kommission" den Auftrag, "über Quantität und Qualität des Hüttenrauches Angaben zu liefern".

Im Bericht vom 3. August 1863 (HStA, OHA F 32, H. 378, Vol. III, 81. 1-18) teilt REICH die erste Analyse eines Flugstaubes (siehe Tabelle Nr. 2, Spalte 1) dem Oberhüttenamt mit. Er geht dabei davon aus, daß dieser Staub der

**Schmelzflammenöfen**, der aus einem Kondensationskanal gewonnen wurde, im wesentlichen auch die Zusammensetzung emittierter Stäube repräsentiert.

An 20. Juni 1864 berichtet REICH erneut an das Oberhüttenamt (HStA, OHA, F. 32, H. 378, Vol. III, Bl. 55) zu "Untersuchungen über den aus den Schmelzflammenöfen der Muldener Hütte durch den Kanal und die Hohe Esse entweichenden Rauch".

Auf der Grundlage der chemischen Analyse des Staubes (Probe vom 24. Mai 1864) und der gemessenen Gasvolumina, die die Hohe Esse verlassen und dem Staubgehalt in einem Kubikmeter Abgas, kommt REICH zu einer ersten Abschätzung der Elementmengen, die stündlich in die Atmosphäre emittiert werden (siehe Tabelle 1). Entsprechende Messungen wurden 1865 wiederholt, um die Wirksamkeit verbesserter Staubabweichungsanlagen zu belegen (OHA, F. 32, H. 378, Vol. III, Bl. 143). Von den 5 verschiedenen Messungen des Jahres 1865 betrachtet REICH die Analyse Nr. V als die repräsentativste.

Tabelle 1. Elementemission der Hohen Esse, Muldenhütten in Zentnern pro Tag (nach F. REICH)

	1864	1865
SiO <sub>2</sub>	8,83	n. b.
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,30	6,415
PbSO <sub>4</sub>	26,06	9,560
ZnSO <sub>4</sub>	29,86	11,865
ZnO	2,65	n. b.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,65	n. b.
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,13	n. b.

Auch wenn es gewagt erscheinen muß, läßt die Umrechnung auf eine jährliche Emission (für das Jahr 1864) von rund 60 t As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 470 t PbSO<sub>4</sub> und 540 t ZnSO<sub>4</sub> schließen. Damit ist gleichzeitig die Größenordnung des Elementeintrages in die Atmosphäre gegeben, die aus heutiger Sicht für jene Jahre als sehr wahrscheinlich eingeschätzt werden muß.

Aus den Analysen der Hüttenstäube wird unter Einbeziehung der Ergebnisse FREYTAGs (1873) ersichtlich, daß eine beachtliche Heterogenität je nach angewandter Technologie und je nach Art der eingesetzten Erze vorliegt. Prinzipiell gelangten schon damals bleibetonte, zinkbetonte und arsenbetonte Stäube zur Emission in die Atmosphäre.

Tabelle 2. Chemische Zusammensetzung von **Hüttenstäuben** (in Masse-%)

	REICH		FREYTAG (1873)			
	1863	1864	1871(1)	1871(2)	1871(3)	1871(4)
C	1,50	n. b.	3,40	1,17	6,12	3,75
SiO <sub>2</sub>	8,90	11,41	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,40	3,42	4,36	1,57	0,96	1,63
CdO	n. b.	n. b.	n. b.	1,36	n. b.	0,02
ZnO	19,10	3,42	2,64	6,60	45,85	0,56
ZnSO <sub>4</sub>	-	38,53	-	-	-	-
PbO	26,27	-	23,06	1,35	26,23	17,53
PbSO <sub>4</sub>	-	33,64	-	-	-	-
PbS	-	-	-	38,71	-	-
CaO	0,80	n. b.	0,61	1,01	0,44	0,43
MgO	0,50	n. b.	0,25	0,25	n. b.	0,15
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,56	4,25	50,51	36,66	5,39	61,88
SO <sub>4</sub> "	28,14	5,33	8,23	3,38	13,59	7,95
S	n. b.	n. b.	1,34	n. b.	n. b.	0,60
	n. b.	n. b.	1,46	n. b.	n. b.	3,27
Saure unlösl.	-	-	4,81	6,19	-	2,53

Leider wurde dem Element Kadmium noch keine Aufmerksamkeit geschenkt. Es ist aber davon auszugehen, daß die zinkbetonten **Stäube** gleichzeitig **kadmiumbetont** sind.

Welch enormen Einfluß REICHs Vorschläge zur Abscheidung der **Hüttenstäube** in Kondensationskammern auf die gesamte Produktion hatten, wird aus Bild 6 deutlich.

### 3.4.3. REICHs Untersuchungen an Schneeproben

Um das Ausbreitungsverhalten der **Hüttenstäube** nach ihrer Emission zu ermitteln, untersuchte REICH wiederholt Schneeproben.

Bereits 1863 (OHA, F. 32, H. 378, Vol. III, Bl. 19 - 20) wies er Schwefelsäure und Arsen in Schneeproben nach. In der Handakte REICHs "**Über** die Einwirkungen des Hüttenrauches", Blatt 13 und 14 (Reich-Nachlaß, Altbestand der

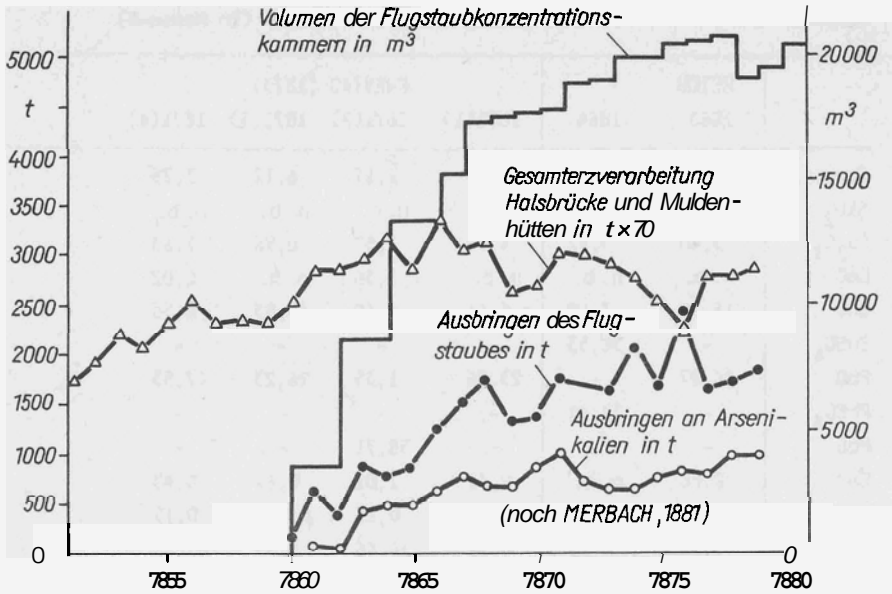


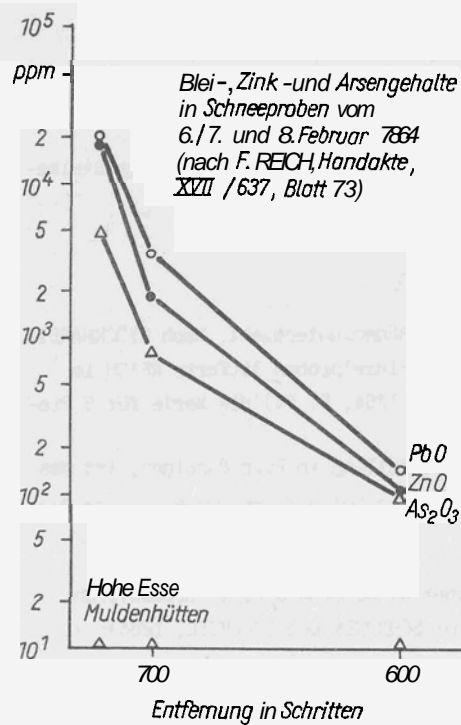
Bild 6. Gesamterzverarbeitung im Buntmetallhüttengebiet Freiberg zwischen 1851 und 1881 und Ergebnisse der Maßnahmen zur Abgasentstaubung (nach MERBACH, 1881)

Bergakademie, Sign. XVII/639) finden sich die Analysenwerte für "Untersuchungen von Schnee in der Umgebung der Hohen Esse, Muldenener Hütten" vom 6./7. und 8. Februar 1864 mit folgenden Ergebnissen:

Tabelle 3. Elementverteilung im Schnee (in ppm)

	Unterhalb der Esse	In 100 Schritten Entfernung	In 600 Schritten Entfernung
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	30 200	3 200	150
SiO <sub>2</sub>	600	700	50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 300	400	50
ZnO	17 700	1 900	100
PbO	19 800	3 400	150
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4 700	800	100

Aus der grafischen Darstellung der Werte (Bild 7) wird die Erkenntnis REICHS sichtbar, daß Blei und Zink bereits nach einem relativ kurzem äolischen Transport zur Sedimentation gelangen, während Arsen über etwas größere Entfernungen transportiert werden kann.



**Bild 7**  
Die Verteilung von Blei-, Zink- und Arsengehalten 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)

Sedimentationsstaubmessungen, wie wir sie heute kennen und durchführen, wurden zu jener Zeit noch nicht realisiert. Es sei aber bereits hier **darauf** hingewiesen, **daß** etwas später von FREYTAG (1873) eine erste Analyse an echtem Sedimentationsstaub **vorgenommen** wurde. Die Probe wurde am 1.6.1871 östlich der Hohen Esse, Muldenhütten, **gesammelt** und ergab folgendes Ergebnis:

As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,17
	64,82
FeO	0,75
CdO	Spuren
SO <sub>4</sub> "	10,92
Verlust	1,38

Tabelle 4  
Chemische Zusammensetzung eines  
Sedimentationsstaubes (in Masse-%)  
nach FREYTAG, 1873

Auch aus dieser Analyse wird ersichtlich, daß die Zinkbelastung die Bleibelastung zu jener Zeit überwog.

#### 3.4.4. REICHs Untersuchungen an Böden

Intensiv wurden in jenen Jahren auch die Böden untersucht. Nach STÜCKHARDTs (1850) ersten Untersuchungen auf Blei an Einzelproben lieferte REICH im Jahre 1863 (siehe: SCHRÖDER und SMERTEL, 1884, S. 94) die Werte für 5 Proben in einem Südwest - Nordostprofil.

Wie die Tabelle 5 und die graphische Darstellung in Bild 8 zeigen, ist das Gebiet von etwa 1 km im Umkreis der Muldener Hütte durch stark erhöhte Blei-gehalte im Boden charakterisiert.

Tabelle 5. Blei-gehalte (in ppm) in einem SW-NE-Bodenprofil nordwestlich von Muldenhütten (nach REICH, 1863, in: SCHRÖDER und SCHERTEL, 1884)

Bodenprobe aus dem Nauendorfer Revier	480
Bodenprobe, Feld nordwestlich Muldenhütten	1410
Bodenprobe, 400 Schritt südwestlich derselben	3760
Bodenprobe, 500 Schritt südwestlich derselben	4400
Bodenprobe, 1000 Schritt südwestlich derselben	2280

Was die Höhe der von REIM ermittelten Gehalte anbelangt, so muß man aus der Sicht heutiger Kenntnisse feststellen, daß sie etwas zu hoch liegen. Die Größenordnung stimmt aber durchaus mit einzelnen Spitzengehalten, die im Rahmen neuerer Untersuchungen ermittelt wurden, überein.

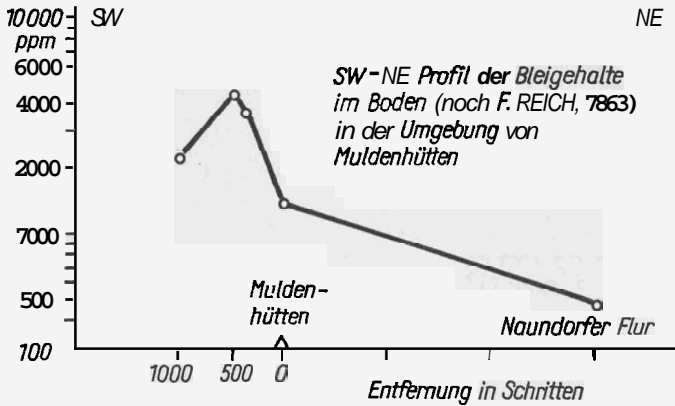


Bild B. Bleigehalte im Boden in der Umgebung von Muldenhütten (SW-NE-Profil, nach REICH, 1863)

In der Handakte REICHS zur **Hüttenrauchfrage** (Altbestand Bergakademie, REICH Nachlaß, Sign. XVII/639, Lft. Nr. 23) findet sich auf der Rückseite des Blattes 6 eine **Zusammenstellung** der Blei-, Zink- und Arsengehalte von **Böden** und **Schläwen** aus der Umgebung des Freiburger **Hüttengebietes** aus dem Jahre 1867 (siehe Tabelle 6).

Die Analysen Nr. 3, 4 und 5 **gehören** zum ersten nach der Tiefe untersuchten Bodenprofil. Die grafische Darstellung in Bild 9 zeigt deutliche **Abnahme** der Gehalte bis in eine Tiefe von 20 cm. REICH schlußfolgerte daraus, daß die Elemente des **Hüttenstaubes** allmählich in den Boden eindringen, daß aber bereits die oberste Schicht erhebliche Mengen zurückhält.

Die in der Tabelle 6 angegebenen Analysenwerte vergleicht REICH mit den von NOBBE angegebenen Toleranzgrenzen und **kommt** zum Ergebnis, daß die Böden und **Schlämme** der Analyse Nr. 1 bis Nr. 9 als "vergiftet" zu bewerten sind. Dies dürfte der erste überhaupt bekannte Versuch sein, die Gefährdung eines kontaminierten Bodens auf der Grundlage des Vergleichs der Elementgehalte mit den entsprechenden Toleranzgrenzen **für** Pflanzen vorzunehmen.



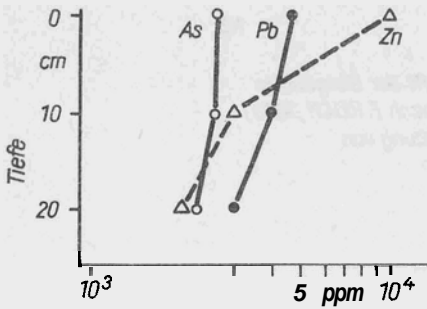


Bild 9  
Die Verteilung von Blei,  
Zink und Arsen in einem Bo-  
denprofil (nach REICH,  
1867)

Tabelle 6. Blei-, Arsen- und Zinkgehalte (in ppm) in Böden und Schlämmen be-  
lasteter Gebiete des Raumes Freiberg (nach F. REICH, 1867, Reich Nachlaß,  
Sign. XVII/639, Lft. Nr. 23, Blatt 6, Rückseite, 24. Juni 1867)

	Pb	As	Zn
1. Schlammablagerungen Neubauer Wiese, Münzbachteil	7200	2400	11900
2. Schlammablagerungen Zellaer Wiese, Muldental	6700	2800	5800
3. Oberer Wiesenboden Zellaer Wiese, Muldental	4600	2600	9700
4. Boden (4 bis 5 Zoll tief) Ort der Probe Nr. 3	4000	2600	3000
5. Boden (9 Zoll tief) Ort der Probe Nr. 3	3000	2200	2100
6. Vegetationsloser Wiesenboden Großschirma, Muldental	5100	?	3500
7. Wiesenboden mit verkümmertem Vegetation Ort der Probe Nr. 6	3500	?	3200
8. Durch Schwefel vergifteter Teichschlamm, Oberschöna	4100	3800	?

Tabelle 6 (Fortsetzung)

	Pb	As	Zn
9. Waldböden			
<b>Silberhütte</b> bei Clausthal	3240	Spur	0
Boden und Bodendecke			
Waldleithe, Nauenhof	480	?	0
Nadelstreu			
Waldleithe, Nauendorf	520	140	0
Toleranzgrenze nach <b>NOBBE</b>	2000	200	n. b.

### 3.4.5. REICHS Untersuchungen an Pflanzen

Die Schadenersatzforderungen der Landwirtschaft an die **Hüttenbetriebe**, die Erkrankungen von Rindern und die Erkenntnis, daß die Erkrankungen auf **schwermetallkontaminiertes** Futter zurückzuführen sind, führte zu zahlreichen Untersuchungen an Pflanzen in dem von REICH geleiteten Hüttenlaboratorium.

Bereits 1864 gibt REICH (OHA, F. 32, H. 378, Vol. III, Blatt 93-97) eine "Zusammenstellung der bisherigen Versuche über den Gehalt verschiedener Vegetabilien an Schwefelsäure, Arsen usw.". Am 16. März 1865 berichtet er erneut (Blatt 137) über Untersuchungen an Heu, **Grummet** und Haferspreu, ebenso am 25. April 1865 (Blatt 149).

Im Jahr 1867 stellt er gemeinsam mit STÜCKHARDT (Handakte FERONANO REICHS über die Einwirkungen des Hüttenrauches (1864-1881), 148 gez. Bl. Sign. XVII 639) zum ersten Male die **Sulfatgehalte** von Pflanzen (insbesondere von **Fichtenzweigen** und **-nadeln**) in belasteten und unbelasteten Gebieten **zusammen** (siehe Tabelle 7) und **kommt** zu dem Ergebnis, daß der Sulfatgehalt in Pflanzen belasteter Gebiete durchschnittlich doppelt so hoch ist wie in den Pflanzen unbelasteter Gebiete. Damit wurden die Voraussetzungen geschaffen, um später auf biogeochemischer Grundlage das Schadensgebiet in seiner regionalen Ausdehnung genauer abzugrenzen.

Tabelle 7. Sulfatgehalte(in ppm) von Pflanzen unbelasteter und belasteter Standorte(nach F. REICH und A. STÖCKHARDT, 1867)

Nr. der Analyse	Untersuchtes Material	Standort		Verhältnis
		unbelastet	belastet	
1.	Zweige und Rinde des Pflaumenbaumes	1280	2480	100:193
2.	Zweige der Tanne	910	2480	<b>100:250</b>
3.	Zweige der Fichte	620	1130	100:182
4.	Nadeln der Fichte	2400	7540	100:314
5.	Zweige älterer Fichten	1380	1880	100:136
6.	Zweige <b>8jähriger</b> Fichten	2120	4050	100:186
7.	Zweige <b>4jähriger</b> Fichten	2400	7200	<b>100:300</b>
8.	Wiesenheu	2100	6700	100:324

### 3.5. FREYTAGs Arbeiten auf dem Gebiet des Umweltschutzes

Die am 15. Dezember 1870 vom **Oberhüttenamt** Freiberg im Auftrag des Königlich Sächsischen Finanzministeriums an **MORITZ FREYTAG** übertragene Verpflichtung zu einem weiteren Gutachten führte zu einer Zusammenfassung des gesamten Erkenntnisstandes intensiver Umweltforschung seit dem Jahre 1850. **FREYTAG (1873)** untersuchte die schädigende Wirkung des Hüttenrauchs auf die Pflanzen und Tiere. Er behandelte in diesem **Zusammenhang** erstmals **zusammenhängend** den gesamten Zyklus von der Emission über die **Bodenkontamination** bis zur Wirkung auf Pflanzen und Tiere.

Die **Zusammensetzung** der emittierten Gase und Stäube der Hüttenindustrie **entnimmt** er aus den Untersuchungen **REICHs**. Ihr Ausbreitungsverhalten wird aus den **Meßergebnissen** erneuter Untersuchungen an Schneeproben rekonstruiert.

Als toxische Substanzen betrachtet **FREYTAG (1873)**:

- "die sauren Dämpfe der schwefeligen und Schwefelsäure"
- "die im Wasser löslichen Metallverbindungen, arsenige Säure und Zinkvitriol"
- "die im Wasser unlöslichen **Bestandtheile** des Hüttenrauches, das Bleioxyd, das schwefelsaure Bleioxyd, das Zinkoxyd, die Schwermetalle enthaltenen Erztheilchen und den Kohlenstaub".

Bei der Beurteilung der Kontamination von Böden geht FREYTAG erstmals von der Löslichkeit der kontaminierenden Substanzen aus.

Dabei kommt er für jene Zeit zu einer Reihe von überraschenden Ergebnissen.

Hinsichtlich der schwefeligen Säure bzw. der Schwefelsäure stellt er in Abrede, daß sie die Bodenbeschaffenheit nachteilig verändert. Er geht davon aus, daß das in die Atmosphäre emittierte  $\text{SO}_2$  sehr schnell zu Schwefelsäure oxidiert wird. Die über die Niederschläge in den Boden gelangende Schwefelsäure reagiert sofort mit dem Kalk, das entstehende Kalziumsulfat könne über die Bodenwässer abgeführt werden, bzw. stelle den für die **Lebenstätigkeit** notwendigen Schwefel zur Verfügung.

Er stellt weiter fest:

"Es ist zwar möglich, daß die im Boden befindlichen Silikate hierdurch etwas schneller aufgeschlossen werden, dann werden aber nicht bloß lösliche Kiesel-erde, sondern gleichzeitig alle anderen darin enthaltenen mineralischen Nährstoffe in einen für die Pflanzen **aufnehmbaren** Zustand in größeren Quantitäten **überführt**." "Wenn also durch die Vermittlung der in den Röstgasen enthaltenen schwefeligen Säure den benachbarten Feldern Schwefelsäure unentgeltlich und in sehr geringem Maße, aber gleichförmig zugeführt wird, so kann hierin nur eine Verbesserung des Ackers gefunden werden, ..."

Um den Einfluß der löslichen Substanzen auf den Boden und insbesondere auf das Wachstum der Pflanzen zu untersuchen, wurden von FREYTAG zahlreiche Versuche mit Mais- und Bohnenpflanzen **durchgeführt**. Folgende oberen **Schwellenwerte** in der reinen Nährlösung wurden als toxisch auf Pflanzen ermittelt:

Tabelle 8. Obere Schwellenwerte (in ppm) einiger Schwermetallverbindungen für Pflanzen in der reinen Nährlösung (nach FREYTAG, 1873)

Verbindung	Oberer Schwellenwert
Arsenige Säure	125
Zinksulfat	200
Kupfersulfat	250
Kobaltsulfat	400
Nickelsulfat	660
Eisensulfat	2000

Den oberen Schwellenwert für arsenige Säure von 10 ppm, wie ihn NOBBE (in FREYTAG, 1873) angab, hält FREYTAG für zu niedrig. Für Bleinitrat fand NOBBE 333 ppm als oberen Schwellenwert.

Aus der Tatsache, daß alle im Freiburger Raum untersuchten Regen- und Schneewässer und die zahlreich untersuchten wässrigen Auszüge von Bodenproben mit ihren Gehalten unter diesen Grenzwerten lagen, schlußfolgert FREYTAG, daß auch von dieser Seite keine Gefährdung für die Pflanzen herrühre.

Es wird weiterhin die Frage diskutiert, ob nicht eine jahrelange Kontamination der Böden mit geringen Mengen löslicher Metallsalze zur Erhöhung der Konzentration in der Bodenlösung führen **könne**. FREYTAG verneint diese Frage und weist **darauf** hin, daß insbesondere das Kalziumkarbonat, das Magnesiumkarbonat und die Eisenhydroxide sowohl die arsenige Säure als auch die löslichen Metallsulfate in unlösliche Verbindungen **im** Boden überführen und somit unverfügbar werden. Durch gute Kalkversorgung können dieser Vorgang auf unfruchtbaren, mageren und saueren Böden beschleunigt werden.

Der Rolle der löslichen Kupfer-, Kadmium- und Wismutverbindungen **mißt** FREYTAG keine Bedeutung bei, da diese in den **Hüttenstäuben** nur als Spuren vorkommen.

Diese Feststellung mag hinsichtlich der toxischen Wirkung auf Pflanzen richtig sein, muß aber heute als bedenklich hinsichtlich der Rolle dieser Elemente bei der biogeochemischen Migration in der Nahrungskette angesehen werden.

Ähnliches trifft für **FREYTAGs** Einschätzung der Rolle der unlöslichen Metallverbindungen zu. Er **nimmt** an, daß die unlöslichen Verbindungen, wie Bleioxid, Bleisulfat und die unlöslichen Verbindungen des Zinks, im Boden durch ständige Kontamination aufgenommen werden, **daß** sie aber für die Vegetation ohne Bedeutung sind.

Auf der Grundlage zahlreicher Untersuchungen **kommt** FREYTAG zu dem Schluß, "daß die Pflanzen das Vermögen der Auswahl in Bezug auf die von ihnen durch die Wurzeln aufzunehmenden Substanzen nicht besitzen, daß sie vielmehr gezwungen sind, alles, was sich ihnen **im** Boden als resorbierbar **darbietet, aufzunehmen**, daß sie jedoch von solchen Stoffen, welche in der Bodenflüssigkeit nicht gelöst **sind, niemals** soviel aufnehmen, daß die Existenz der Pflanze gefährdet wird. **Dies** gilt ganz besonders von den unlöslichen Metallverbindungen".

Die Kontamination der Böden betreffend, halt es FREYTAG

"für vollkommen erwiesen, daß das culturfähige Land in der Umgebung der Freiburger Hütten durch die ihm im Hüttenrauch zugeführten **Metallverbindungen** in seiner Bodenbeschaffenheit ebensowenig nachtheilig verändert wird, wie durch die verdünnte Schwefelsäure, und daß von einer Vergiftung desselben durch die Hüttenrauchdämpfe gar nicht die Rede sein kann".

Kritischer sieht FREYTAG die Wirkung der Emissionen der Hütten auf die oberirdischen Teile der Pflanzen.

Die Wirkung der schwefeligen Säuren auf die Pflanzen wird als sehr unterschiedlich bei trockenem und bei feuchtem Wetter herausgestellt.

Durch Begasungsversuche wird eine Toleranzgrenze von **0,25 Vol.-% SO<sub>2</sub>** für trockene Luft und **0,003 Vol.-% SO<sub>2</sub>** für feuchte Luft ermittelt.

Bei feuchten Wetterlagen reicht also schon ein relativ niedriger **SO<sub>2</sub>-Gehalt** der Luft aus, um Schädigungen an den Blättern und insbesondere an den Blüten der Pflanzen auszulösen.

Verschiedene Pflanzenarten reagieren unterschiedlich auf eine SO<sub>2</sub>-Belastung. Als empfindlich unter den Nadelhölzern werden die Fichten und Tannen und unter den Laubhölzern die Weiden und Birken herausgestellt.

Widerstandsfähiger zeigen sich Akazien, Erlen und Eichen, am unempfindlichsten sind Pappeln und Ulmen.

Bei Obstbäumen zeigen Süßkirschen, Nußbäume und Pflaumenbäume eine **hohe** Empfindlichkeit, während Sauerkirschen, Apfelbaume und besonders Birnenbaume und Maulbeerbaume die höhere Resistenz gegenüber einer **SO<sub>2</sub>-Belastung** zeigen.

Ausführlich beschäftigt sich FREYTAG mit dem Verhalten von **schwermetallführenden** Stäuben als **Sedimentationsstaubauflage** auf der Pflanzenoberfläche, insbesondere auf den Blättern. Durch entsprechende Versuche stellt er für die wasserlöslichen Verbindungen Zinksulfat, Kupfersulfat und arsenige **Säure** Schädigungen bei **Weizen**, Erbsen, Hafer, Luzerne und Klee fest. Bei Gegenwart von Wassertröpfchen auf der Blattoberfläche führen diese Verbindungen zur Zerstörung des Chlorophylls. FREYTAG **nimmt** an, **daß** kleine Metallmengen in das Blatt eindringen können.

Die im Regenwasser enthaltenen Metallmengen reichen nach seiner Ansicht hingegen nicht aus, um eine Schädigung der Pflanze auszulösen.

Im Ergebnis von Versuchen mit dem wasserunlöslichen Zinkoxid, Bleioxid und Bleisulfat **kommt** er zur Schlußfolgerung, daß sie als Staubauflage auf der Pflanzenoberfläche

"weder directe schädliche Wirkung auf die Pflanze ausüben, noch eine wirk-  
same Verstopfung der Spaltöffnungen bewirken".

Während also die **schwermetallhaltigen** Staubaufgaben auf den Pflanzen hin-  
sichtlich ihrer toxischen Wirkung auf die Pflanze selbst als weniger proble-  
matisch eingeschätzt werden, sieht FREYTAG in ihnen eine starke Gefährdung  
für den tierischen **Organismus**, sobald solcherart kontaminierte Pflanzen als  
Futtermittel eingesetzt werden.

Oie Gefährdung wird vor allem in den völlig veränderten Löslichkeitsbedin-  
gungen der **Schwermetallstäube** im sauren Magensaft und den alkalisch reagie-  
renden Gallen-, Pankreas- und Darmsäften gesehen.

Fütterungsversuche mit kontaminiertem Futter an Ochsen wiesen darauf hin, daß  
zwar keine akuten, aber chronische Erkrankungen auftreten. Am auffälligsten  
ist die verringerte Gewichtszunahme gegenüber Vergleichstieren. Langzeitver-  
suche führten zu Veränderungen an der Knochensubstanz. Pansen und Labmagen  
wiesen Vernarbungen nach entzündlichen Prozessen auf. Oie auffälligsten Ver-  
änderungen wurden an der Leber der Tiere festgestellt.

Auf der Grundlage der Fütterungsversuche sieht FREYTAG die toxische Wirkung  
der **Hüttenstaubaufgabe** auf Pflanzen für den tierischen **Organismus** als erwie-  
sen. Der Hinweis,

"daß comparative Fütterungsversuche mit je einem Versuchsthier und einem  
Vergleichsthier stets mißlich sind, da die Individualität jedes Thieres eine  
außerordentlich wichtige Rolle spielt"

ist für die sich heute entwickelnde geochemische **Ökologie** von grundsätz-  
licher Bedeutung. Sie untersucht ganze Populationen, wobei sich jeweils 20  
bis 30% als empfindlich gegenüber derartigen Umweltnoxen erwiesen (KOVALSKIJ,  
1977).

Um seine These von der toxischen Wirkung der **Schwermetallverbindungen** auf das  
Tier weiter zu festigen, analysiert FREYTAG den Mageninhalt verstorbener Tie-  
re und teilt erste Werte für Blei-, Zink- und Arsengehalte in Tierorganen  
wie Magen, Dün- und Dickdarm mit.

Mit gleichem Ziel führte er zahlreiche Analysen an Futterpflanzen aus. Ins-  
besondere untersuchte er Klee (Tabelle 9), Wiesenheu (Tabelle 10) und einige  
Getreidearten (Tabelle 11).

Bereits die Probenauswahl erfolgte sehr geschickt. Material aus den belastete-  
ten Gebieten (Halsbrücke, Halsbach, Niederbobritsch, Rothenfurth usw.) wird  
einerseits mit Material aus unbelasteten aber geologisch ähnlichen Gebieten

(Schellerhau, Bärenburg, Erbisdorf) verglichen. Weitere werden zum Vergleich Materialien aus belasteten Gebieten anderen geologischen Aufbaus (**Kupferhüttengebiet** Mansfeld, **Zinkhüttengebiet** Borbeck) und entsprechenden unbelasteten Gebieten (Poppelsdorf bei **Bonn**) ausgewählt.

Aus diesen Untersuchungen (Ergebnisse in Tabellen 9, 10 und 11 neu **zusammengestellt**) wurde ersichtlich, daß prinzipiell keine freie Schwefelsäure in den Pflanzen auftritt.

Hinsichtlich der Sulfatgehalte wird festgestellt, daß Klee und Wiesenheu aus dem Erzgebirge prinzipiell höhere Werte ausweisen als Proben aus anderen geologischen Einheiten. Auf dieses Problem **kommt** FREYTAG später bei der Erörterung endemischer Erkrankungen der Rinder nochmals zurück.

Tabelle 9. Sulfat- und Schwermetallgehalte im Klee anthropogen belasteter und unbelasteter Gebiete.

Gehaltsangaben in ppm, bezogen auf Trockenmasse (**zusammengestellt** nach FREYTAG, 1873)

Belastete Gebiete	SO <sub>4</sub> "	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	PbO	CuO
I. Böhme, Niederbobritzsch	2970	15	B	6	-
II. Halsbach	<b>3180</b>	62	180	142	6
VIII. Halsbach	3120	Spur	Spur	-	-
XIII. Hensel, Halsbrücke	6250	58	170	85	10
XV. Pretzschners, Rothenfurth	<b>2850</b>	15	78.	11	2
XVII. Pretzschners, Rothenfurth	3160	34	96	37	4
XX. Marbach, Halsbrücke	7580	<b>80</b>	110	85	3
XXI. Walter, Hohentanne	3210	27	90	40	-
XXVI. Dietrich, Hohentanne	4400	75	129	70	Spur
IV. Drechsler, Grüneburg	2410	10	90	10	-
XXXVII. (1871) Mansfeld	1310	-	290	-	180
XXXX (1872) Borbeck	2060	-	120	-	-

Unbelastete Gebiete

IV. Kleinschirma	<b>1880</b>	-	-	-	-
XXVIII. Schellerhau	<b>1950</b>	-	-	-	-
XXX. <b>Bärenburg</b>	2200	-	-	-	-
XXXIII. Köhler, Erbisdorf	2830	-	-	-	-
XXXVI. (1871) Poppelsdorf	1160	-	-	-	-
XXXIX. (1872) Poppelsdorf	1080	-	-	-	-



Tabelle 10. Sulfat- und Schwermetallgehalte in Wiesenheu, Gartengras und Wiesengrumet anthropogen belasteter und unbelasteter Gebiete. Gehalt in ppm, bezogen auf Trockenmasse (zusammengestellt nach FREYTAG, 1873)

Belastete Gebiete	SO <sub>4</sub> "	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	PbO	CuO
V. Halsbach	5800	25	50	54	Spur
VI. Halsbach	6330	11	12	6	-
IX. Halsbach	4480	Spur	Spur	-	-
XVI. Pretzschner, Rothenfurth	3520	22	85	16	5
XXII. Störr, Rothenfurth	3620	32	75	30	-
XXV. Lantzsch, Hohentanne	6920	31	65	22	-
Unbelastete Gebiete					
XI. Kleinschirma	2030	-	-	-	-
XXVII. Schellerhau	2360	-	-	-	-
XXIX. <b>Bärenburg</b>	2200	-	-	-	-
XXXI. Hauboldt, <b>St. Michaelis</b>	4420	-	-	-	-
XXXII. Kampfe, Erbisdorf	3170	-	-	-	-
XXXIV. Franze, Erbisdorf	1940	-	-	-	-
XXV. <b>(1871), Bonn</b>	1830	-	-	-	-
XXXVIII. <b>(1872), Bonn</b>	1610	-	-	-	-

Tabelle 11. Sulfat- und Schwermetallgehalte verschiedener Getreidearten aus anthropogen belasteten Gebieten.

Gehaltsangaben in ppm, bezogen auf Trockenmasse (zusammengestellt nach FREYTAG, 1873)

Getreideart, Probenort	SO <sub>4</sub> "	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	inO	PbO	CuO
XIV. Winterkorn, Halsbrücke	3950	62	230	104	9
<b>III. Sommerkorn</b> , Halsbach	5740	65	140	8	-
VII. Gerste, Halsbach	6910	22	16	Spur	-
XVIII. Hafer, Rothenfurth	3380	19	60	10	-
XIV. Hafer, Rothenfurth	4190	27	78	15	Spur
XXIV. Hafer, Niederbobritzsch	3740	20	65	9	-

Es sei **darauf** hingewiesen, daß die Erkenntnis der Abhängigkeit der **Elementgehalte** in Pflanzen von den geologischen Faktoren ihres Standortes eines der wichtigsten Prinzipien **umweltgeochemischer** Forschungen begründet. Der chemische Status der Pflanzen wird wesentlich von den geochemischen Verhältnissen der Landschaft **bestimmt**, in der sie leben.

Pflanzen aus bestimmten geochemischen Landschaften können ebenso wie solche aus anthropogen belasteten Gebieten prinzipiell **höhere** Gehalte an Schwermetallen aufweisen. An erster Stelle steht nach FREYTAGS Untersuchungen das Zink, gefolgt von Arsen und Blei.

Blattreiche Pflanzen weisen höhere Gehalte als **blattarme** auf. Aus **Lösungsversuchen** **kommt** FREYTAG zur Feststellung,

"daß der größte Theil der arsenigen Säure und etwa die Hälfte des Zinkoxyds im Wasser sich lösen, so daß dieselben in löslicher Form als Anflug auf den Pflanzen haften geblieben angesehen werden können".

Von grundlegendem Charakter sind FREYTAGS Untersuchungen hinsichtlich der sogenannten **"Säurekrankheit"** bei Rindern. Diese Krankheit wurde lange Zeit **im** Freiburger Raum als Ergebnis der toxischen Wirkung der Emissionen der Hütten angesehen.

FREYTAG klärte zunächst durch vergleichende Betrachtung der Symptome, daß diese sogenannte **"Säurekrankheit"** mit der **"Knochenbrüchigkeit"** bei Rindern in anderen Regionen identisch ist. Sie ist durch Gewebsveränderungen der Knochen charakterisiert und wird insbesondere durch Kalzium- und **Magnesiummangel** im Futter verursacht.

Ohne den **Begriff** zu gebrauchen, weist FREYTAG nach, daß es sich hierbei um eine endemische Krankheit handelt.

"Nicht bestimmte Pflanzen, sondern bestimmte Bodenverhältnisse sind die Ursachen dieser **Krankheit**".

Als prädestiniert stellt er Böden über Gneisen und Grauwacken sowie diluviale Sandböden und **Heideböden** heraus.

Heute müssen wir diese Erkenntnisse als herausragende Leistungen jener Zeit anerkennen. Die Erkenntnis, daß bestimmte Krankheiten als Folge einer **Mangelversorgung** mit bestimmten chemischen Elementen auftreten können und **daß** ein direkter Zusammenhang zum geochemischen Inventar der Landschaft besteht, stellt die Basis für die heute inner dringlicher notwendig werdenden **Forschungsarbeiten** auf dem Gebiet der Geochemie der Landschaft einerseits und

auf dem Gebiet der endemischen Erkrankungen bei Pflanzen, Tier und Mensch andererseits dar.

Damit ist auch klar herausgestellt, daß eine **moderne Umweltgeochemie** sowohl die anthropogenen Beeinflussungen der **Umwelt** als auch die **natürliche geochemische** Differenzierung des geologischen Materials und seine Wirkung als natürlicher Umweltfaktor erforschen muß,

#### 4. 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 gleichzeitig zu einer beachtlichen Belastung der Umwelt.

Von der Landwirtschaft ab **1855** erzwungene Entschädigungszahlungen (siehe Bild 5, **zusammengestellt** nach Angaben von FREYTAG, **1873**) belasteten das ökonomische Ergebnis der Hütten derart, daß eine wissenschaftliche Bearbeitung des "**Hüttenrauchproblems**" im Sinne des **Umweltschutzes** unausweichlich auf die Tagesordnung gesetzt wurde.

Aus diesem Zwang entwickelten sich zwei wesentliche Richtungen der Umweltforschung, die technologische und die umweltgeochemische.

Mit den technologischen Forschungen zur "Entgiftung des **Hüttenrauches**" und ihren Ergebnissen wurde der prinzipielle Weg der Umwandlung von schädlichen Abprodukten in Nutzkomponenten durch Stoffumwandlung aufgezeigt und realisiert. So führte der von FERDINAND REICH aufgezeigte Weg zur Wandlung des schädlichen Schwefeldioxids in Schwefelsäure mit der Errichtung der ersten Schwefelsäurefabrik im Jahre 1857 und der **ständigen** Erweiterung der Kapazität zur Schwefelsäuregewinnung (siehe Bild 5, Entwicklung des Volumens der Bleikammern, nach MERBACH, **1881**) zu einer beachtlichen Verbesserung des ökonomischen Ergebnisses. Diese Entwicklung hatte zur Folge, daß ab 1864 die Schwefelbezahlung an die Grubenbetriebe möglich und auf diese Weise der Bergbau erheblich stimuliert **wurde**, indem schwefelreichere Erze verarbeitet werden konnten, die bis dahin nicht zur Verhüttung geeignet waren.

Das ab 1871 auf etwa 2500 Tonnen angewachsene Ausbringen von Schwefel in der Schwefelsäure läßt zugleich den Umfang der Reduzierung der **Schwefel**-emissionen in der **Atmosphäre** erkennen, bedenkt man, daß vorher die Abgase ohne  $\text{SO}_2$ -Entfernung in die Atmosphäre emittiert wurden.

REICHS Vorschläge zur Entfernung der festen Phase aus den Abgasen führten ab 1860 zum Ausbau der Flugstaubkondensationskammern, deren Volumen bis zum Jahr 1880 ständig anstieg (siehe Bild 6, nach MERBACH, 1881). In gleicher Weise stieg das Ausbringen des Flugstaubes und damit auch die Produktion an Blei, Zink und Arsen.

Im Jahre 1858 wurde die Zink- und 1862 die Arsenbeziehung an die Gruben möglich, nachdem die  $As_2O_3$ -Gewinnung ab 1861 aus dem Flugstaub zu einem kostengünstigen Verfahren entwickelt wurde.

Das Ausbringen von Flugstaub von etwa 1750 Tonnen pro Jahr ab 1868 läßt die Größenordnung der Mengen an schwermetallführenden Flugstäuben erkennen, die vor dieser Zeit in die Atmosphäre emittiert wurden. Wie aus dem Ausbringen an Arsenikalien (siehe Bild 6, nach MERBACH, 1881) ersichtlich wird, können von diesen 1750 t Staub etwa 750 t arsenhaltige Stäube gewesen sein. Zu einer solchen Abschätzung ist man berechtigt, da bis 1857 alle Erze ohne Gewinnung von Schwefelsäure und Flugstaub verarbeitet wurden.

Vom Beginn der technologischen Forschungen bis zur Realisierung der Maßnahmen waren immerhin reichlich 20 Jahre notwendig. Sie erbrachten aber bereits damals den Beweis, daß Maßnahmen zum Umweltschutz das ökonomische Ergebnis des Betriebes verbessern können und nicht, wie oftmals angenommen wird, nur Kosten verursachen.

Industrielle Entwicklung und technologische Maßnahmen im Sinne des Umweltschutzes bildeten eine Einheit.

Mit der Herangehensweise an die Lösung von Umweltproblemen wurde gleichzeitig der prinzipielle Weg aufgezeigt, der einerseits durch veränderte Technologien zur wesentlichen Verringerung von Emissionen seitens der Quellen führte, andererseits den spezifischen Weg der Umwelttoxine in der Natur studiert, um Gefährdungen aufzuzeigen bzw. zu vermeiden.

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 schließlich der Tiere zu ermitteln, führte zu Erkenntnissen, die heute wesentliche Bestandteile solcher neuen Disziplinen wie der Umweltgeochemie und der geochemischen Ökologie darstellen.

Die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der im Gefolge der industriellen Entwicklung im Zusammenhang stehenden Umweltbelastung hat so zur Herausbildung neuer Richtungen der Forschung und Wissenschaft geführt.

Charakteristisch ist der starke Zwang zur interdisziplinären **Zusammenarbeit**.

**Die** Tatsache, **daß der Hüttenbetreiber** der sächsische Hof, also der Staat war, stellte in diesem Falle (**im** Gegensatz zu vielen anderen Entwicklungen) ein **förderliches** Element dar. Insbesondere die Silberproduktion war für den sächsischen Hof lebensnotwendig. Der daraus resultierende Zwang zum Erhalt der **Hütten** ermöglichte die Tatsache einer einheitlichen und relativ straffen Leitung aller Arbeiten auf dem Gebiet des Umweltschutzes, seien es die technologischen einerseits oder die naturwissenschaftlichen andererseits. Auf die Notwendigkeit der Existenz entsprechender wissenschaftlicher Einrichtungen sei hier nur hingewiesen.

Mit der Bergakademie in Freiberg und der Forstakademie in Tharandt waren die Potenzen zur wissenschaftlichen Bearbeitung der entstandenen Umweltprobleme vorhanden. In enger Zusammenarbeit mit der Hüttenindustrie wurden diese Potenzen voll ausgeschöpft.

Auf diese Weise waren in Freiberg in der Mitte des 19. Jahrhunderts Bedingungen gegeben, die wir heute als den Ausgangspunkt solcher neuen wissenschaftlichen Disziplinen wie **Umweltgeochemie** und geochemische Ökologie ansehen können.

### Literaturverzeichnis

- BRACONNOT** und **SIMONIN**: **Über** die Ausdünstungen der chemischen Fabriken. Journ. de chimie **médicale**, 1848. In: Dinglers polytechn. Journal, Band 108, S. 264
- FREYTAG**, M.: Wissenschaftliches Gutachten über den Einfluß des Hüttenrauches bei den fiscalischen Hüttenwerken zu Freiberg. Jhrb. f. d. Berg- und Hüttenwesen im Königreich Sachsen, 1873, S. 3-86
- KOVALSKIJ**, V. V. M.: Geochemische Ökologie-Biogeochemie. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, **Berlin** 1977
- MERBACH**, K.: Die Anlagen zur Unschädlichmachung des Rauches auf den **fiscalischen Hüttenwerken** bei Freiberg. Jahrbuch f. Berg- und Hüttenwesen 1881, S. 42-49
- MERBACH**, K.: Die Freiburger Hütten. Freiburger Berg- und Hüttenwesen 2 A. Gerlachsche Buchdruckerei in Freiberg, 1893, S. 299-340
- MÜHLFRIEDEL**, W.: Zur Geschichte der Produzenten im Bergbau und Hüttenwesen in Deutschland (18. bis 19. Jahrhundert). In: Beiträge zur Geschichte des Bergbau- und **Hüttenwesens**, Band VII. Freiburger Forschungsheft D 63, Leipzig 1969

- REICH, F.: Beschreibung eines Apparates zur leichten und schnellen **Bestimmung** des Gehaltes einer Luft an schwefligsaurem **Gas**. **Berg- und Hüttenmännische** Zeitung 17 (1858), S. 2-4
- REICH, F.: Die bisherigen Versuche zur Beseitigung des schädlichen Einflusses des Hüttenrauches bei den fiscalischen **Hüttenwerken** zu Freiberg. **Berg- und Hüttenmännische** Zeitung 17. Jahrgang (1858) Nr. 21, S. 165 - 168 und Nr. 22, S. 173-176
- REICH, F. und Th. RICHTER: Vorläufige Notiz über ein **neues Metall**. Journ. f. prakt. Chemie, Bd. 89 (1863)
- REICH, F. und Th. RICHTER: Über das Indium. Journ. f. prakt. Chemie Bd. 90(1863), S. 172 - 178; Bd. 92(1864), S. 480 - 485
- REICH, F.: Ueber die bei außersächsischen Hüttenwerken beobachteten Wirkungen des Hüttenrauches und die dagegen ergriffenen Maßregeln. Jahrbuch f. d. Berg- und Hüttenwesen 1867, S. 127-163
- RETTSTADT: Über die Einwirkungen des Rauches der Silberhütten im Oberharz auf die **Waldbäume** und den Forstbetrieb. Allgem. Forst- und Jagdzeitung 1845, S. 132-145
- SCHROEDER, J. v. und C. REUSS: Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die **Oberharz**er Hüttenrauchschaden. Berlin, 1883. Verlag Paul Parey
- SCHROEDER, J. v. und N. SCHERTEL: Die Rauchschäden in den Wäldern der Umgebung der fiscalischen **Hüttenwerke** bei Freiberg. Jahrb. f. d. Berg- und Hüttenwesen 1884, 2, S. 93 - 120
- STÖCKHARDT, A.: Über die Einwirkung des Rauches der Silberhütten auf die benachbarte Vegetation. Polytechn. Centralblatt 1850, S. 256 - 278
- TÄSCHNER, C.: Ferdinand Reich, 1799 - 1882. Ein Beitrag zur Freiburger Gelehrten- und Akademiegeschichte. Mitteilungen des Freiburger **Altertumsvereins**, H. 51, Freiberg, 1916, S. 23-61
- TURNER und CHRISTISON: Über die Wirkung der giftigen Gase auf Pflanzen. Edingb. Journal of Science, V. 8, S. 140 in: Poggend. Ann. Bd. 14 (1828) S. 259
- WÄCHTLER, E.: Besonderheiten der Entwicklung der Produktivkräfte **im** Bergbau während und **im** Gefolge der industriellen Revolution in Deutschland. **Freiburger** Forschungsheft D 46, Bd. ■, Leipzig 1964
- WETHAUPT, H.: Über die geschichtliche Seite der Luftverschmutzung. Z. **Aerosol** 13 (1966) 2, S. 166 - 175

## Historische Quellen

**Oberhüttenamtsakte**, F 32, M 379, Vol. **III**. Standort: Historisches **Staats-**archiv Freiberg. Folgende Blätter wurden ausgewertet und zitiert:

Blatt: 112-125, 22, 30-31, **74 ff**, 32, **55 ff**, 1-18, 55, 143, 19-20, 93-97, 137, 149

Handakte FERDINANO REICHs über die Einwirkungen des Hüttenrauches.

1864-1881, 148 gez. Blätter. Reich Nachlaß. Altbestand Bergakademie, Hochschulbibliothek. Sign. **XVII/639**

Selbstbiographie von FERDINANO REICH. Original im Besitz von Frau Elisabeth Täschner, Freiberg. Mikrofilm im wissenschaftlichen Altbestand der Bergakademie, Hochschulbibliothek, 89 gez. Blätter, Sign.: **XVII/610**