

Hydrogeochemische Untersuchungen an Erzgebirgischen Gruben- und Oberflächenwässern

F. LEUTWEIN und L. WEISE

(Received 6 April 1962)

Zusammenfassung—Die chemische Zusammensetzung von Grubenwässern verschiedener Lagerstätten wurde über einen längeren Zeitraum untersucht. Die Spurenelementgehalte schwanken in Abhängigkeit von klimatischen Faktoren, doch geben die meisten Erzformationen deutlich verschiedene Spurenelementkombinationen im Grubenwasser. Für einige Bezirke können die jährlich wegtransportierten Metallmengen berechnet werden—wobei auch das Ausmass an iondispers gelösten Stoffen zu in Kolloiden transportierten bestimmt wird. Weiterhin wird eine hydrogeochemische Untersuchung über den Gesamtalauf der Mulde gegeben, ein Flüsschen, das im Mittelgebirge entspringt, zahlreiche Erzreviere entwässert und schliesslich nach 115 Km Lauf im diluvialen Flachland in die Elbe mündet. Lösung, Stofftransport, Selbstantreinigung des Wassers werden untersucht und für einzelne Metalle quantitativ verfolgt.

Abstract—The chemical composition of mine-waters from different ore-districts in the Erzgebirge was studied over a period of several months. The composition changes were due to climatic factors but nearly all ore formations give rather characteristic trace-element-associations in the mine waters. For some districts, the quantity of metals transported as ionic or colloidal solutions over a year are calculated. Further, the writers give the results of a hydrogeochemical investigation over the whole course of the Mulde—a little river, whose source lies at about 800 m altitude in a crystalline region and receives as affluents, waters from most of the ore-districts of Saxony. The second half of the Mulde lies in the diluvial plains, and after a course of 115 km it flows into the Elbe. Solution, transport, sorption and precipitation of mobilized matter were investigated and quantitative data for several metals are given.

EINFÜHRUNG

In geologischer Hinsicht ist das Erzgebirge eine flach von ca +200 m bis auf ca 800 m nach Süden aufsteigende, schwach wellige Hochebene aus Gneissen und Graniten. Die Flüsse haben sich teilweise in engen Tälern tief eingeschnitten. Am Nordrand treten Glimmerschiefer, Phyllite und teilweise auch Gabbros auf. In diesem Gebiet treten eine Vielzahl von Erzlagerstätten auf, die z.T. durch Jahrhunderte alten Bergbau bis in grössere Tiefen erschlossen sind. In klimatischer Hinsicht liegt das Gebeit im Bereich mitteleuropäisch-humiden Gebirgsklimas. Einen Überblick über die Situation gibt Abb. 1.

ZUR ANALYSENMETHODIK

Üblicherweise wurden jeweils 2 l. Probe entnommen. Die chemische Untersuchung erfolgte nach den üblichen Methoden-s.z.B. HAUSE (1954).

Die Spurenmetalle wurden im filtrierten Wasser bestimmt. 0.5 bis 1 l. Wasser wurden in Quarzschenalen staubfrei eingedampft, der Löserückstand mit 5 oder 10 cc aufgenommen. Diese Lösung wurde noch auf rotierenden Kohlerädchen abgefunkt und mit analog zusammengesetzten Standardlösungen verglichen. Die Auswertung

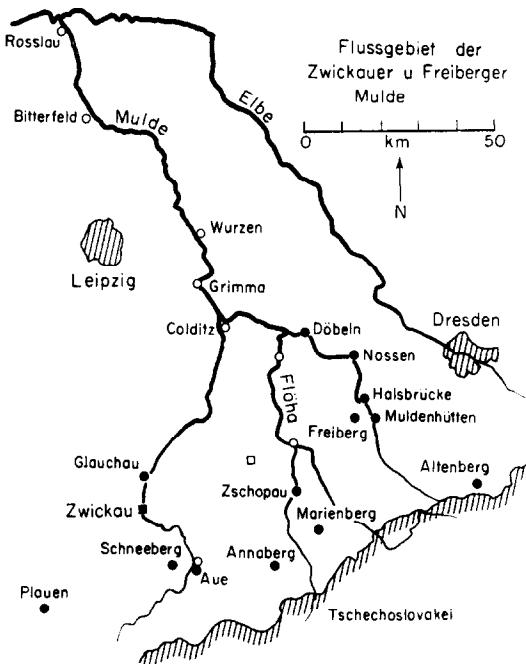


Abb. 1.

erfolgte zumeist mit der hier ausreichenden Addinck'schen spd. Methode, mit der ein mittlerer Fehler von ca. ± 10 bis 20% eingehalten werden konnte. Für die Ausführung haben wir vor allem Frl. SCHUBERT und Frl. T. VOLLE zu danken. Letztere war auch massgebend an der Ausarbeitung der Analysenverfahren beteiligt.

DAS SCHNEEBERGER REVIER

Das heute vollständig abgebaute Revier wird durch den aus dem 16. Jahrhundert stammenden Marx Semler Stollen entwässert, doch reichen die Grubenbaue über 200 m unter sein Niveau herunter. Die Erzgänge des Reviers führen bei meist quarziger Gangart Kobalt-Nickel Arsenide (Co:Ni etwa 5:1–3:1) und gediegen Wismut, Silbererze, selten Bleiglanz und Zinkblende. Karbonate, Eisenglanz fehlen nicht. Auch Schwerspat kommt dazu. Zu diesen Mineralien kommt die bekannte Pechblendeführung. Eine vor allem vor 1945 wichtige Ausbildungsform der Gänge stellen die sog. oxydischen Partien dar, in denen assendente, kohlensäurehaltige Thermen in den Gangspalten alle Arsenide zerstörten und wegführten. Die Wismutmineralien wurden in ein Gemenge von Wismutocker und Wismutkarbonat verwandelt, das z.T. recht silberreich war. Für den Uranbergbau hatten natürlich nur die arsenidischen Gangteile Interesse. Das Nebengestein dieses Lagerstättenbezirks sind Gneis-Glimmerschiefer, Granit steht in etwa 200 m Teufe an, streicht im Süden des Reviers zu Tage aus.

Das in der Literatur bekannte gesamte Schneeberger Revier besteht—von Norden nach Süden—aus folgenden Teilgebieten: die im Mittelalter und erst wieder für den Uranbergbau wichtigen Reviere Nieder- und Oberschlema, und dem Kernrevier der

Stadt Schneeberg (St. Georgszeche z.B.). Unsere Analysen beziehen sich auf den vom Mittelalter bis 1957 abgebauten Südteil—Schneeberg—Neustädtel—with dem Hauptschacht Weisser Hirsch und anderen bedeutenden Gruben wie z.B. Sieben-schlehn, Bergkappe, Adam Heber, Beustschacht.

Untersuchungen vor 1945 ergaben folgendes: Standwässer aus alten Grubenbauen arsenidischer Paragenesen enthielten beachtliche Mengen Mangan, Arsen Kobalt und Nickel. Wismut war meist nicht nachweisbar, die Silbergehalte lagen bei 0,05 mg/l. Im unfiltrierten Wasser wurden Gehalte von 1 bis 10 mg Co und 3 mg Nickel beobachtet. Der schwarze, flockige Schweb enthielt, an Manganoxyde gebunden, bis zu 7 mg Co und 1 mg Ni. d.h. dass die Sorption hier Kobalt sehr stark gebunden hat. Nickel dagegen war stärker ionar gelöst.

Aus Bauen oxydischer Erze stammende Wässer enthielten regelmässig noch 0,5–2 mg Co + Ni/l. Bi war selbst hier nicht nachweisbar, d.h. unter 0,01 mg/l. Die regelmässige Verfolgung der Co-Ni Gehalte (am Pegel unterhalb Weisser Hirsch) auf dem Marx Semler Stollen, ergab, bei rund 400–600.000 m³ monatlich, damals wie auch 1957, Gehalte von 0,2–1 mg Co und 0,05–0,1 mg Ni/l. Bei 0,5 mg Co + Ni und 6 Mio m³ im Jahresmittel, bedeutete dies rund 300 Kg Co + Ni allein aus diesem Teilrevier von ca 5 × 5 km Fläche.

Nach Schliessung dieser Gruben 1957 konnte mein Mitarbeiter H. TÖLLE in einigen Abbaurevieren auf dem Marx Semlerniveau noch einige Wasserproben nehmen und ihre Radioaktivität messen (S. Tabelle 1).

Die Radioaktivität der Wässer erwies sich als gering und klang bei weiteren Probenahmen im Frühsommer schnell ab. Ein Nachweis von im Wasser gelösten Uran

Tabelle 1.

Probenahmeort (alle im Niveau des Marx Semler Stollens)	26.4.1957 Radioaktivität in Mikro Curie/l.
1. Erika, am Querschlag 91	6·57 · 10 ⁻⁴
2. Bergkappeschacht	6·30 · 10 ⁻⁴
3. Kreuz Anna und Priesterschacht	11·77 · 10 ⁻⁴
4. Morgenstern-Schimmelsberger Stollenflügel	6·98 · 10 ⁻⁴
5. Fleischer Morgengang-Schindlerschacht	7·16 · 10 ⁻⁴

konnte mangels geeigneter Geräte nicht geführt werden. Die Monatsmittel der chemischen Analysen für das Frühjahr 1957 gibt die folgende Tafel 1.

MARIENBERGER REVIER

Ein wesentlich kleineres Kobalt-Nickel-Silber-Uranrevier stellt das Gebiet von Marienberg östlich von Schneeberg dar. Hier treten in erheblich grösserem Umfange noch Blei und Silberreiche Formationen auf. Flussspat ist als Gangart neben Quarz bedeutsam. Schwerspat und Karbonate, auch Kupfermineralien fehlen nicht, sind aber weniger wichtig. Das Verhältnis Co:Ni war hier etwa 1:2. Die Blütezeit dieses Reviers war das 17. und 18. Jahrhundert. Erst seit 1948 ist wieder ein gewisser Betrieb, zuerst auf Uran, dann auf Flussspat umgegangen. Die Abbaue dürften maximal 200 m tief gewesen sein. Entwässert wurde das Gebiet durch den einige

Kilometer langen Weisstauer stollen. Nebengestein ist hier der sogenannte Marienberger Gneis. Einige für dieses Gebiet charakteristische Analysen auf Spurenelemente im Grubenwasser gibt die folgende Tabelle 2. Probe 2, 3 und 4 sind aus dem Niveau des Weisstauer Stollens entnommen. Probenahme erfolgte in den Monaten Oktober, November, Dezember 1957. Probe 1 stammt vom Weisstauer Stollen selbst.

Tabelle 2

Probe	Fe	Mn	Ti	Sr	Ba	Cu	Ni	Co	As	Pb	Ag	Zn	V	Al
1	0.05	0.01	0.001	0.1	0.3	0.01	0.005	—	0.1	0.5	0.01	—	0.005	0.03
2	0.05	0.005	0.002	0.07	0.2	0.01	0.005	0.1	0.02	1	0.05	—	0.005	0.02
3	0.05	0.005	0.001	0.05	0.2	0.003	0.005	0.1	0.02	0.5	0.008	—	0.005	0.1
4	0.001	0.005	0.001	0.05	0.1	0.005	0.001	—	—	—	0.005	—	—	0.08

Die Analysen, verglichen mit denen des Schneeberger Reviers, geben den komplexen Charakter der Vererzung, insbesondere die starke Beteiligung der BPG Formationen in diesem Gebiet wieder.

DIE ZINNREVIERE

Die Untersuchung der Grubenwässer der Zinnreviere des Erzgebirges brachte keine besonders charakteristische Daten. In all diesen Gebieten treten untergeordnet Bi, Co, Ni und vor allem BPG Formationen mit auf, und die Spurenelemente der Grubenwasser sind vor allem von diesen Formationen beeinflusst. Es war meist nicht möglich bei hydrogeochemischen Prospektionen sichere Hinweise auf das Vorkommen von Wolfram-Zinnlagerstätten zu bekommen. Cu, Pb, Zn Ionen überwiegen im Wasser. Der Nachweis von Zinn gelang noch seltener als in Wässern aus der Zinnkiesführenden Blei-Zinkblendeformation des Freiberger Reviers, die gelegentlich Spuren Zinn enthielten. Auch die Gehalte an Lithium waren nicht immer eindeutig. Spuren Li finden sich fast in allen Oberflächenwässern der Granit- und Greisengebiete. Es war nur möglich aus dem Chemismus der Quell- und Stollenwässer die Gegenwart irgendeiner Vererzung zu diagnostizieren, nicht aber speziell die Anwesenheit von Sn-W-Lagerstätten zuverlässig zu folgern.

FREIBERGER BLEI-ZINKREVIER

Bedeutend abwechslungsreicher und interessanter waren die hydrogeochemischen Arbeiten im Bereich der Blei-Zink-reviere des Erzgebirges. Freilich war es auch hier meist nicht möglich zu unterscheiden zwischen den vier bekannten Blei-Zinkformationen. Dies allerdings nur, weil meist innerhalb eines Grubenreviers tatsächlich alle diese Formationen mehr oder weniger unterschiedlich vertreten sind. Kleine Grubenanlagen liessen in der Wasseranalyse unschwer erkennen, ob die kata-thermale Kiesig-blendige Formation mit marmatitischer Zinkblende und Zinnkies neben Arsenkies und Bleiglanz (Kb), oder die jüngere Baryt—und Flussspatführende Zink-arme Bleiformation (fba) vorliegt. Die Kobalt-Nickel-Arsenide, neben Bleiglanz führenden "Edlen Geschicke", treten nie als alleinige Erzbildung auf. Die "Edle Braunspatformation" (eba) des Brander Revieres liess sich eher durch hohe Mangan gehalte bei nur Spuren Arsen im Wasser erkennen. Gruben der ältesten—heute nicht abgebauten Antimon führenden Bleiformation der "Edlen Quarzformation"

Tafel 1. Grubenwässer Schneeberg (gehalte in mg/l.)

	Probenahme vom 27. 4. 57 Probe-Nr.					Probenahme vom 23.-24. 5. 57 Probe-Nr.					Probenahme vom 14.-15. 6. 57 Probe-Nr.					Probenahme vom 26.-27. 6. 57 Probe-Nr.				
	1 2 3 4 5					1 2 3 4 5					1 2 3 4 5					1 2 3 4 5				
pH	6.2	6.2	6.3	6.1	6.4	6.6	6.8	6.9	6.8	6.9	6.9	7.0	7.2	6.9	6.9	6.6	6.9	6.9	6.7	6.9
Abdampfrückstand	403	236	211	314	186	567	224	211	334	226	700	178	205	354	192	607	240	198	346	119
Härte (°DGH)	15.8	8.7	8.3	10.9	6.7	18.8	8.1	9.5	6.9	22.2	9.1	9.7	13.3	7.9	22.7	12.5	7.98	14.0	8.1	
Fe	0.26	0.24	0.20	0.20	0.18	2.78	0.48	0.42	0.19	0.22	0.42	0.36	0.02	0.48	0.46	0.36	0.38	0.62	0.42	0.64
Ca	60.4	36.8	32.4	43.1	30.2	nb	43.1	nb	39.7	71.0	23.8	30.2	nb	nb	nb	30.2	nb	36.7		
Mg	25.0	7.0	9.5	22.0	5.3	nb	nb	3.23	nb	3.25	46.5	7.2	8.6	nb	nb	nb	7.9	nb	0.0	
Na	17	6	5.5	7	4	5.3	5.5	6.0	7.6	6.5	6.4	5.3	6.4	9.3	5.1	3.0	2.8	4.0	1.4	
K	2.9	2.6	2.1	2.8	1.7	3.1	2.7	2.1	2.8	2.2	2.5	1.9	2.2	1.5	3.2	2.6	2.3	1.9	2.3	
SO ₄	344	142	96	257	97	31.0	72	48	140	47	31.2	40	43	134	38	30.6	70	48	138	52
Cl	18.1	21.3	13.3	14.8	9.6	17.2	17.0	11.7	14.2	8.3	17.9	9.6	11.2	14.9	7.8	17.1	16.0	10.5	13.7	8.7
SiO ₄	16.5	11.5	19.5	10.5	18.5	12.0	16.0	21.0	12.0	18.0	17.0	17.0	24.0	14.0	22.6	12.7	17.5	21.5	12.7	19.6
Cu	<0.01	11.5	19.6	0.01	<0.01	12.0	15.0	21.0	~0.001	18.0	<0.001	~0.001	24.0	0.68	0.63	1.7	1.02	0.013	0.68	0.78
Zn	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.5	<0.1	<0.1	0.34	<0.017	>1.7	>1.7	—	0.238	<0.017	0.85	0.043	<0.013	0.085	<0.013
Co	<0.1	<0.08	—	0.3	0.08	0.99	<0.17	—	0.51	—	3.23	—	—	<0.17	<0.017	2.21	—	<0.17	<0.13	
Ni	<0.05	<0.08	—	0.08	<0.05	0.42	0.05	—	1.02	0.289	>1.7	0.085	1.36	0.051	0.013	1.7	0.041	0.041	0.051	0.02
As	—	0.01	0.06	0.04	0.06	0.42	0.06	—	0.017	0.544	—	—	0.453	0.425	0.412	0.306	0.051	0.65	0.204	0.468
Al	<0.05	0.01	0.06	0.05	0.07	<0.05	—	<0.05	0.043	0.007	>1.7	—	0.017	0.031	0.005	0.306	0.02	0.004	0.014	0.016
Ti	<0.05	0.01	0.01	<0.01	0.07	<0.01	—	0.02	0.068	0.014	<0.007	—	0.049	0.085	—	0.058	0.006	—	0.009	—
Ba	<0.1	—	<0.1	—	<0.1	—	—	—	0.061	0.017	>1.7	<0.017	0.001	0.051	0.068	0.031	0.128	0.039	0.068	0.039
Sr	<0.1	—	<0.1	—	<0.1	—	—	—	<0.17	—	—	—	0.017	0.068	0.145	0.111	0.055	0.111	0.013	
Gr	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	III	II	+	0.009	0.005	0.017	0.003	0.002	0.007

(eq)—gaben in den wenigen uns zur Verfügung stehenden Wasserproben kein einheitliches Bild. In Stollenwässern aus dem Bräunsdorfer Gebiet fiel gelegentlich (bei Probenahmen im Winter) der sonst nicht beobachtete schwache Antimongehalt auf, bei deutlicher Anreicherung von Silber relativ zu Blei.

Besonders eingehend konnten diese Verhältnisse im Bereich des rund 6×15 Km grossen Freiberger Erzreviers untersucht werden, dessen Abbau heute auf fast 600 m Tiefe herabreicht und das in etwa 150 m Tiefe vom ca 30 Km langen Rothschönberger Stollen entwässert wird. Dieser Stollen trifft von Norden nach Süden zunächst das "Halsbrücker" Revier mit rein Fluorbarytischer Formation. Es folgt das Freiberger Kernrevier (überwiegend Kiesig-blendige Formation, aber auch alle anderen Formationen sind bekannt), und schliesslich im Süden das Brander Revier, in dem die Kb-Formation zurücktritt und dafür die Hauptabbaue der "Edlen Braunschpatformation" liegen. (Wegen der lagerstättenkundlichen Verhältnisse s. die Arbeiten von TISCHENDORF (1955) und BAUMANN (1958)). Zwischen Freiberg und Brand liegt ein unterirdischer Stau zur Erzeugung von Elektroenergie. Im Brander Revier werden, in erheblichem Umfang, Oberflächenwässer verfault, die seit langer Zeit in einem kunstvoll ausgebauten System von Gräben, sog. Röschen-Wasser vom Erzgebirgskamm viele Kilometer weit herbeibringen. Das bei Halsbrücke und am Mundloch des Rothschönberger Stollens auftretende Wasser stammt daher nur z.T. aus Grubenwässern.

Für die Grube Davidschacht—als eine besonders wichtige Grube des Freiberger Kernreviers—geben wir in der folgenden Tabelle eine Übersicht über die Änderungen des Chemismus in der Zeit von Anfang November 1955 bis Mai 1956.

Tabelle 3. Davidschacht (Abfluss in den Rothschönberger Stollen) Analysen beziehen sich auf filtriertes Wasser. Angaben in mg/L

	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni
SO ₄ ²⁻	nb	nb	1150	1000	1000	950	900	900
Cl ⁻	90	45	50	50	50	50	60	55
Mg	120	80	25	40	50	55	55	60
Ca	235	220	180	180	180	190	210	210
Fe	18	12	24	23	21	16	14	13
Mn	21	20	26	26	24	23	20	16
Zn	200	95	160	160	120	90	90	100
Na	30	65	27	nb	36	85	62	51
K	3·8	16	3	nb	6	6	6	6
SiO ₂	18	18	45	40	35	30	nb	nb
PH	4·2	6·0	4·0	4·0	3·9	4·5	4·2	4·2

In der Juniprobe wurden ausserdem bestimmt: Pb 2,0, Ni 0,2, Cu 2,0, Cd 0,5, As 1, Sr 1, Ag 0,02 mg/l. Für die anderen grossen Gruben auf der Kiesig-blendigen Formation des Reviers liegen die Metallgehalte analog. Stets fällt neben dem hohen Sulfatgehalt der erhebliche Gehalt an Zink auf. Blei tritt ganz zurück. Ausnahmsweise findet man 10 mg/l. meist um 2 mg/l. Im anstehenden Erz war das Blei/Zinkverhältnis etwa 1:5 bis 1:10. Auch der Anteil des Kupfers ist viel geringer. Die bekannte grössere Mobilität des Zinks ergibt sich aus obigen Analysen. Nickel (und Kobalt) sowie Cadmium stammen aus der schwarzen Zinkblende.

Die Gehalte an Chlor—und Natriumionen dürfen als direkter Nachweis dafü

gelten, dass auch heute noch erhebliche Teile des Grubenwassers aus Abwässern der über dem Grubengebiet liegenden Stadt Freiberg stammen. Bei der hydrogeochemischen Prospektion auf Lagerstätten der Kb—Formation wäre zu beachten, dass hier Zink das einzige charakteristische Element ist, neben Kupfer, das stets nachgewiesen werden kann. Blei und andere Schwermetallionen können oft fehlen. Bei hohem Zinkgehalt werden Ionen von Cadmium nachweisbar.

Der gesamte Abfluss des hier erwähnten Erzreviers—vermehrt durch die Grubenwässer der Schwerspat- und Bleireichen Zink-armen fluorbarytischen Formation von Halsbrücke, kann am Mundloch des Rothschönberger Stollens analysiert werden. Dass dieses Stollenwasser nicht unerhebliche Mengen Blei und Zink mit sich führt war schon im vorigen Jahrhundert bekannt. CLARKE und WASHINGTON zitierten Analysen schon in der ersten Auflage ihrer *Data of Geochemistry*.

Die folgende Tabelle gibt die Monatsmittel für vier Quartale 1955/56. Analysiert wurde das filtrierte Wasser des Rothschönberger Stollens (Angaben in mg/l.).

Tabelle 4.

	Fe	Mn	Ca	Mg	Na	K	SiO ₂	Cl	SO ²⁻ ₄	pH	Zn	Cu	Cd	Pb	Sr
September 55	1·6	0·8	28	17	14	2·0	12	30	82	5·5	3	3	0·02	0·6	0·8
Dezember 55	1·1	1·2	31	15	23	3·6	8	24	110	5·3	7	7	nb	1·2	0·2
März 56	1·8	0·6	31	12	17	4·4	10	18	89	6·0	8	8	0·07	2	1·0
Juli 56	1·7	0·8	33	12	13	3·4	10	14	90	5·4	12	5	0·05	3	1·0

Bei den Analysen dieses bedeutenden unterirdischen Abflusses kommen zufällige, durch betriebliche Vorkommnisse bedingte Änderungen erheblich weniger zur Auswirkung als die geologisch-lagerstättenkundlichen Charakteristika. Es fällt auf, dass das Maximum an Sulfationen zusammenfällt mit dem Maximum des Mangan gehaltes und dem Minimum an Eisen im Dezember, d.h. in der Zeit des Winterminimums der Wassermengen, das aber auch die Zeit der stärksten Oxydationswirkung der Wässer darstellt. Im Sommer überwiegen reduzierende Wirkungen, auch ist dann der Sauerstoffgehalt des Wassers erheblich geringer. Auch hier konnten wir feststellen, dass die Gehalte im unfiltrierten Wasser durchweg höher sind als im filtrierten—es ist insgesamt gesehen zwar das Verhältnis von an Schweb adsorbtiv gebundenen zu ionardispersen Metallen sehr wechselnd, aber die insgesamt weggeführten Metallmengen sind ungefähr konstant.

Da für den Rothschöneberger Stollen die abfliessenden Wassermengen bekannt waren, liess sich in diesem Fall auch die täglich—in 24 Stunden—weggeföhrte Menge berechnen. Für Mangan, Strontium, Magnesium und Kieselsäure ist sie im Jahreslauf ungefähr konstant, und liegt um 100 Kg/24 Stunden. Bei Kupfer beträgt sie im November/Dezember nur 10–20 Kg/d, im Sommer rund 80 Kg. Die Zinkgehalte steigen vom Herbst—250 Kg/d bis April (800 Kg/d) ständig an. Nach Analysen von 1950/54 liegt das Maximum für Zink bei 1000 Kg/d und für Blei bei 180 Kg/d im Juni/Juli. Die starke Abnahme der Zinkkonzentration in den Wässern beruht auf der erheblichen Verdünnung mit Oberflächenwasser, das aus dem südlicher gelegenen Brander Revier stammt. Die Bleigehalte am Mundloch des Rothschönberger Stollens dürften ganz überwiegend auf die Einmündung der Halsbrücker Grubenwässer aus der fba Formation sein.

Zusammenfassend lässt sich etwa feststellen, dass die einzelnen Erzformationen sich hydrogeochemisch dann recht gut unterscheiden lassen, wenn keine Mischwässer aus verschiedenen Paragenesen vorliegen und wenn man Proben aus etwa gleichen klimatischen Bedingungen—etwa gleichen Jahresabschnitten vergleicht.

Die Zinnvorkommen liefern Spurenmetallgehalte von Cu, As, Li—so gut wie nie Sn, W, Bi—deren Gehalte also unter der Nachweisgrenze von ca 0·1 mg/l. bleiben.

Die Bi, Co, Ni, U—Vorkommen sind durch die Anwesenheit von Co, Ni und As gekennzeichnet—abgesehen von ihrem U—Gehalt: Wismut bleibt stets unter der Nachweisgrenze.

Die katathermale Kiesig—Blendige Bleiformation (Kb) ist durch hohe Zinkgehalte neben Cu und manchmal mit Spuren Cd, Sn, As gekennzeichnet. Blei fehlt öfters.

Für die edle Quarzformation (eq) fehlen genügend Analysen. Nur hier wurde neben Pb und Ag auch Sb neben As gefunden. Ba, Sr, fehlt.

Die Fluorbarytische Formation ist durch ihre stets vorhandenen Pb—Ba Gehalte bei zurücktretenden Zn Gehalten charakterisiert. Praktisch gibt es also für keine Erzformation “Leitelemente”, deren analytische Diagnostierung allein schon einen bindenden Schluss gestattete. Stets ist es notwendig, eine grössere Zahl von Spurenelementen festzustellen und ihre relativen Verhältnisse zueinander zu untersuchen.

GEOCHEMISCHE UNTERSUCHUNG VON FLUSS- UND STOЛLENWÄSSERN IM FREIBERGER REVIER

Im vorstehenden haben wir die Abflüsse eines sehr tief und sehr gründlich aufgeschlossenen grossen Reviers mit mehreren 100 Km Strecken untersucht. Im folgenden sollen einige Ergebnisse einer—sozusagen als Modellfall durchgeföhrten, hydrogeochemischen Prospektion an natürlichen Wässern und Wässern aus kleineren Stollen gegeben werden. Wir haben dafür die Freiberger Mulde im Bereich des durchfliessens des gesamten Freiberger Blei—Zinkdistriktes gewählt. Es wurde mehrfach das Flusswasser analysiert und systematisch jeder Zufluss—auch dort, wo es sich erkennen liess, dass es sich um Industrie—oder Haushaltswässer handelte. (s. Abb. 2 und Tafel 2).

Die Mulde fliest die ganze Strecke in einem teilweise recht eng eingeschnittenen Tal im Freiberger Gneis. In 350 m Meereshöhe tritt sie (nach einem Lauf von 36 Km), noch ohne erkennbare Spurenmetallführung, in das Untersuchungsgebiet bei Muldenhütten ein, und verlässt es nach 32 Km an der Mündung der Bobritzsch—eines Nebenflüsschens das keine Erzgebiete durchfliest, in 237 m Meereshöhe. Die durchschnittliche Wasserführung pro Jahr beträgt bei Muldenhütten ca 140 t/d, vor der Bobritzschmündung bei Bieberstein sind es 198 t/d. Auf dieser Strecke hat sie nur einen etwas bedeutenderen Zufluss, den Freiberger Münzbach—freilich mit den Abwässern der Stadt Freiberg belastet. Analyse 11 zeigt dann auch die für Haushaltswässer typischen hohen Cl und Na Gehalte. Kurz oberhalb Punkt 11 durchfliest der Münzbach noch ein altes Grubengebäude, dem wohl die Gehalte an Pb, Zn und Ba zuzuschreiben sind.

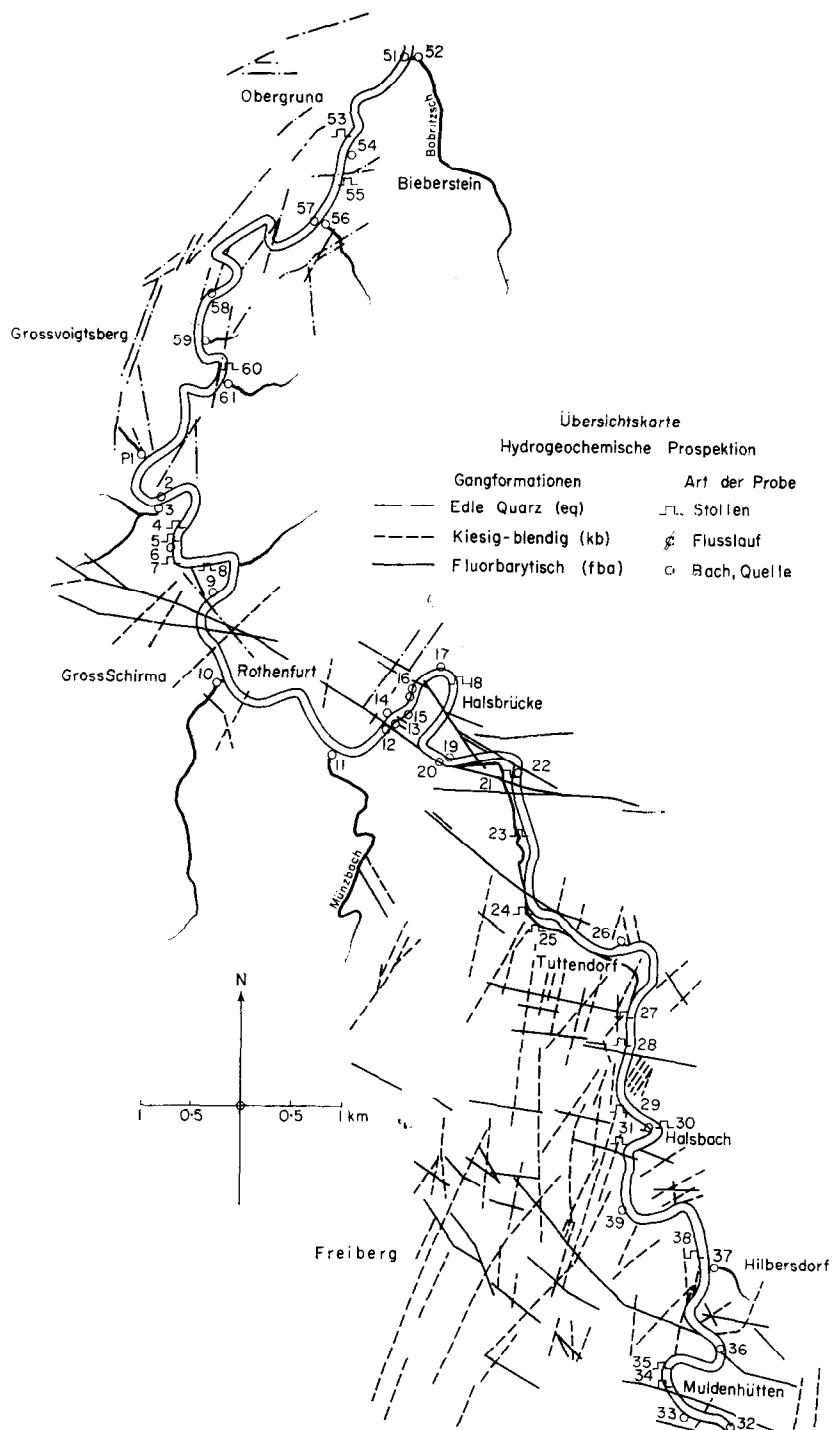


Abb. 2.

Tafel 2. Analysenergebnisse der hydrogeochemischen Untersuchung der Mulde innerhalb des Erzreviers Freiberg

Probenentnahmestelle P	Art	pH	Ca p.p.m.	Mg p.p.m.	Na p.p.m.	K p.p.m.	Sr p.p.m.	Ba p.p.m.	Zn p.p.m.	Pb p.p.m.	As p.p.m.	Cl p.p.m.	SO ₄ p.p.m.	somit	
32	Fluss	4.8	50.3	12.6	7.5	2.4	0.04	0.04	0.15	0.02	0	19.5	125.0		
33	Bach	4.9	25.2	6.1	8.5	1.7	0.13	0.01	0	0	0	22.0	62.5		
34	Stollen	4.8	39.6	10.2	15.0	3.6	0.08	0.02	1.70	0	0	33.8	76.8		
35	Ableitung	4.8	57.0	11.6	15.0	7.0	0.25	0.03	0	0.46	0.10	25.9	177.5		
36	Fluss	4.9	43.5	5.3	11.0	2.0	0.07	0.10	1.00	0.05	0.52	24.4	81.5		
37	Bach	4.8	43.7	13.0	24.0	7.5	0.07	0.40	0	0	0.46	30.5	129.5		
38	Stollen	4.7	28.4	8.9	12.0	2.0	0.10	0.01	0	0	0	21.3	86.5		
39	Bach	4.8	22.4	8.7	16.0	4.5	0.08	0.02	0	0	0	19.5	76.8		
31	Stollen	4.2	—	—	64.0	11.5	0	0	61.00	1.25	2.23	17.4	1200.0	Cd, Co	
30	Stollen	5.0	135.8	130.0	23.0	3.2	0.03	0	35.00	0.54	0.24	16.3	920.0	Cd, Co	
29	Stollen	4.5	142.2	82.3	20.0	4.2	0.04	0	66.00	0.24	0	15.6	730.0	Cd, Co	
28	Rinne	4.9	134.2	78.5	23.0	4.2	0	0	53.00	0.08	0	23.4	884.0		
27	Stollen	4.3	70.4	25.4	24.0	5.0	0.06	0.02	1.00	0.10	0	16.0	341.0	Cd	
26	Bach	5.0	58.7	14.2	100.0	14.0	0.06	0	0	0.14	0	29.4	173.0		
25	Stollen	4.8	51.3	13.2	8.0	6.7	0.03	0	0	0.42	0.10	0	18.1	163.0	
24	Stollen	5.0	45.6	9.1	—	—	0.06	0	0	0.29	0.10	0	22.4	139.0	
23	Rinne	4.8	102.0	49.7	23.0	5.0	0	0	53.00	0.14	0	24.5	505.0	Cd	
22	Fluss	5.0	45.9	9.2	9.0	3.2	0.05	0.04	3.73	0.06	1.35	22.7	125.0		
21	Rinne	5.1	51.6	12.6	8.0	3.2	0.03	0	1.20	0.08	0.65	24.5	144.0		
20	Abwasser	4.8	50.3	17.1	10.5	3.5	0.06	0	1.00	0.14	0.65	30.2	149.0	Cd	
19	Fluss	5.1	45.6	12.2	9.5	3.2	0.06	0.02	0.18	0.10	0.54	26.3	125.0		
18	Stollen	5.4	54.3	16.2	13.0	2.0	0.23	0	0.29	0.66	0	28.0	154.0		
17	Bach	5.0	36.2	12.4	7.5	1.7	0.17	0.02	0.21	0.08	0	21.6	125.0		
16	Abfuss	5.4	119.1	20.8	105.0	36.0	0.10	0.10	0.21	0.78	0	29.8	206.0		
15	Abfuss	6.0	95.2	19.7	75.0	9.0	0.17	0	0.57	0.73	0	39.4	202.0	Cd	
14	Abfuss	5.4	134.2	26.8	105.0	36.0	0.10	0.36	0.21	1.40	0	47.5	206.0	Co	
13	Abfuss	5.4	52.3	19.1	—	—	0.06	0	0.29	0.06	0	34.8	149.0		
12	Fluss	5.1	46.6	10.2	12.0	3.8	0.06	0	0.18	0.14	0.65	25.9	120.0	Cd	
11	Bach	5.2	48.6	16.7	37.0	14.5	0.06	0.01	0.32	0.08	0	45.4	163.0		
10	Bach	5.0	34.5	13.8	15.5	9.0	0.10	0.01	0.29	0.08	0	29.4	115.2		
9	Abwasser	5.0	32.5	13.2	13.0	7.0	0.06	0.05	0	0	0	23.4	115.2		
8	Stollen	4.8	30.5	9.2	9.5	2.7	0.10	0	0.29	0	0	23.4	163.1		
7	Stollen	5.3	47.6	16.3	7.5	2.2	0.10	0	0	0	0	24.8	120.0		
6	Bach	5.1	30.2	11.2	10.0	2.8	0.06	0	0	0	0	22.7	100.9		
5	Stollen	5.0	25.4	9.8	7.0	3.0	0.06	0	0	0	0	27.0	57.6		
4	Stollen	4.9	27.4	8.3	7.0	3.4	0.06	0	0	0	0	24.2	96.0		
2	Fluss	4.9	41.5	11.2	16.0	3.2	0.10	0	0	0.32	0.08	0.54	29.4	62.4	Cd
3	Bach	4.9	25.1	15.3	6.0	1.7	0.08	0	0	0	0	23.1	52.8		
1	Bach	4.9	34.2	12.6	15.0	7.0	0.10	0	0	0	0	30.9	96.0		
61	Bach	5.0	42.2	15.6	13.0	1.5	0.05	0.14	1.00	0	0	29.1	134.2		
60	Stollen	5.4	71.8	20.8	9.5	2.2	0.10	0.10	1.00	0	0	26.6	206.2		
59	Bach	5.0	38.1	9.8	13.0	2.3	0.10	0.14	0.07	0	0	27.0	115.1		
58	Fluss	5.1	42.8	11.2	17.0	3.6	0.10	0.02	7.00	0.21	0.70	28.0	120.0		
57	Fluss	5.0	44.5	8.1	14.5	4.0	0.10	0.02	5.20	0.10	0.50	27.7	129.5		
56	Bach	4.8	41.8	15.4	21.0	7.5	0.22	0.50	0.10	0.05	0	30.9	134.2		
55	Stollen	5.7	46.2	24.0	9.5	3.4	0	0.07	0	0	0	24.1	139.1		
54	Bach	5.0	39.2	14.2	12.0	5.7	0.10	0.53	0	0	0	34.4	124.8		
53	Stollen	5.1	50.5	19.7	16.5	3.1	0.16	0.55	55.00	0.60	0	25.2	192.0		
52	Bach	5.1	29.1	5.9	11.0	4.0	0.16	0.73	0	0	0	23.4	76.8		
51	Fluss	5.1	41.2	9.8	16.0	4.00	0.16	0.05	7.00	0.78	1.27	30.2	120.0	Cd	

Interessant ist die Analyse des bei P 37 mündenden Hilbersdörfer Baches. Zunächst ist dieser Bach mit den Abwässern des Dorfes belastet—daher hohe Na und Cl Werte—dann aber zeigt das Wasser keine für Erzvorkommen wichtigen Spuren-elemente, wohl aber einen nicht unbedeutlichen Arsengehalt (0.46 mg/l.). Die Erklärung ist folgende: die ganze nähere Umgebung der uralten Muldener Hütten trägt kaum Pflanzenwuchs. Der Boden ist in der näheren Umgebung—wozu auch der Unterlauf des Baches gehört—sehr stark mit Arsen und Blei angereichert—bedingt durch die Abgase des mittelalterlichen Hüttenwesens. Z. Zt. der Probenahme wurde Blei nicht ausgelaugt, wohl aber Arsen. Die Tatsache der Verseuchung des Bodens um metallurgische Anlagen aus früheren Jahrhunderten erschwert oft auch die geochemische Prospektion mittels Bodenproben, worauf wir a.a.O. hingewiesen haben (LEUTWEIN, 1958). Die Abwässer der beiden heutigen Hüttenwerke Muldenhütten und Halsbrücke wurden bei P. 36, P. 19, und P. 20 analysiert.

Aus der Vielzahl der untersuchten Wässer von Stollen heben sich alle, die irgendwie eine Gangführung erreicht haben, durch ihren erhöhten Pb, Zn, und oft auch Ba und As Gehalt ab. Am metallreichsten sind freilich die Wässer, die durch mehr oder

weniger ausgedehnte alte Halden sickern, so dass z.B. den Analysen von P 14 und P 16 keine Beweiskraft bei einer Prospektion zukäme, da es Wässer aus dem Absetzbecken der Halden der Gruben Beihilfe sind. Für weitere Einzelheiten sie auf die Skizze Abb. 2 und die Analysetafel 2 verwiesen.

Aus den vorgelegten Analysen lassen sich einige Verhältniszahlen über den verschiedenen Chemismus der einzelnen Wässer innerhalb des eigentlichen Erzreviers ableiten.

Setzen wir den durchschnittlichen Gehalt der Ionen im Flusswasser gleich 100, so ergibt sich für die verschiedenen Wässer und Ionen folgende Übersicht.

Tabelle 5.

	Fluss	Bach	Abwasser	Stollenwasser
SO ₄ ''	100	132·8	161·1	281·0
Cl'	100	92·5	90·0	60·0
HCO ₃ '	100	91·3	156·2	80·0
AsO ₄ ''	100	4·3	11·3	14·8
Na	100	165	403	131
K	100	173	497	106
Ca	100	82·2	173·0	131·2
Mg	100	117·0	183·0	269·0
Sr	100	125·0	137·5	100·0
Ba	100	556·0	267·0	167·0
Zn	100	5·44	12·0	504·0
Pb	100	11·78	294·0	135·0

Bei den Erdalkalien ist besonders die Verschiebung des relativen Verhältnisses der Metallgehalte zueinander beachtlich. Setzen wir Ca = 100, so sollte in den einzelnen Wässern das Verhältnis der Erdalkalien zueinander nicht erheblich schwanken. Das Gegenteil ist der Fall. (s. Tabelle 6).

Tabelle 6.

	Ca	Mg	Sr	Ba
Fluss	100	22·4	0·18	0·07
Bäche	100	32·0	0·28	0·46
Abwässer	100	23·7	0·14	0·10
Stollen	100	45·9	0·14	0·09

Das Magnesium stammt zu einem erheblichen Teil aus zersetzen Karbonaten der Erzgänge. Barium und Strontium wohl ebenso sehr auch aus dem Abbau der Silikate, besonders der Glimmer und Feldspäte des Freiberger Gneises. Die starke Sorptionsneigung des Bariums spielt in dem hier untersuchten Gebiet, mit seinem starken Gefälle und fehlendem Schlammgrund der Bäche, noch keine Rolle. Eher schon im Fluss selbst, der stellenweise durch Wehre gestaut ist.

Das Gefälle der Mulde ist im Untersuchungsgebiet verhältnismässig stark, doch gibt es einige Stellen langsameren Laufes, bei denen der Flussgrund schlammig ist. Neben der Sedimentation des im Fluss mitgeführten Schwebs ist hier auch eine

Adsorbtion der im Wasser gelösten Ionen zu erwarten. Wir untersuchten an einigen Stellen daher auch Schlammproben. An der Eisenbahnbrücke von Muldenhütten, kurz nach Eintritt in das Untersuchungsgebiet, führt der Schlamm noch hauptsächlich solche Stoffe, die sich aus den Abwässern der oberhalb gelegenen Papierfabrik Weissenborn erklären lassen. Die Gehalte an Fe betragen 4·37%, an Mn 0·12%, Zn 0·065%. Das Flusswasser enthält hier, noch vor Eintritt in das Erzrevier, nur 0·1 mg/l. In biologischer Hinsicht liegen polysaprobe bis mesosaprobe Verhältnisse vor. Ähnliche biologische Verhältnisse (bei anderen, aber der gleichen Zone zugehörigen Planktonarten) liegen bei P 36 unterhalb der Muldener Hüttenwerke und der Einmündung einiger alter Stollen vor—hier hat sich der Schwermetallgehalt der Schlammproben erheblich geändert. Fe und Mn sind noch etwa ungeändert (5·5% u. 0·14%). Zink 0·9, Pb 0·5%, As 0·75% sind ganz erheblich angereichert. Das Wasser enthält ionar gelöst 1·0 mg/l. Zn und 0·05 mg/l. Pb, sowie 0·52 mg/l. As. Bei den Planktonuntersuchungen folgten wir N. LIEBMANN (1951).

Auch an der Probenahmestelle 19, oberhalb Halsbrücke, sind noch erhebliche Mengen organischer Bestandteile zu erkennen. Die biologischen Verhältnisse sind ebenfalls poly–bis mesosaprobs. Der Schlamm enthält 1·57% Zn, 0·125% Pb. Im Wasser fanden wir 0·95 mg/l. Zn und 0·1 mg/l. Pb.

Eine Schlammprobe aus dem Münzbach, kurz vor seiner Einmündung in die Mulde, ergab vorwiegend β -mesosaprobe Verhältnisse—auffällig und wohl durch die Nähe einiger wenig Zink, aber viel Blei führenden verlassenen Stollen bedingt—war der hohe Gehalt von 0·83% Pb bei 0·41% Zn im Schlamm. Im Wasser wurden 0·32 mg/l. Zn und 0·08 mg/l. Pb gefunden.

Kurz vor Einmündung der Bobritzsch, bei P 51, überwiegt im Schlamm der Mulde anorganischer Detritus. Der biologische Befund spricht für oligo-saprobies Milieu. Der Schlamm der Bobritzsch selbst zeigt nur anorganischen Detritus (0·37% Zn, kein Pb), und gut oxydierte, oligosaprobe Verhältnisse. Diese Verbesserung der Sauberkeit des Flusses hält—unterstützt durch Zufluss der relativ sauberen Striegis und Zschopau bis zur Einmündung der Zwickauer Mulde bei Fluss-Km 130 an. Die Selbstreinigung des Flusses ist also schon im Erzgebirgsbereich selbst, bei stellenweise noch starkem Gefälle, wirksam.

DIE HYDROGEOCHEMISCHEN VERHÄLTNISSE IM UNTERLAUF DER MULDE

Es erschien lohnend, diese hydrogeochemischen Untersuchungen auch auf den Unterlauf der Mulde auszudehnen. Von Nossen ab durchfliest die Mulde zunächst kristalline Gebiete (Granitgebirge und Waldheimer Quarzporphyre). Oberhalb Golzern mündet (bei 130 Fluss-Km), ihr wichtigster Nebenfluss, die Zwickauer Mulde, deren Wasser stark mit Industrieabwässern belastet ist. Die Mulde selbst führt, im Jahresmittel, an dieser Stelle rund 1600 t/d Wasser. Die Zwickauer Mulde bringt 1180 t/d dazu. Die Mündung liegt auf 130 m Meereshöhe. Von hier ab werden diluviale und alluviale Ablagerungen im Einzugsgebiet vorherrschend. Nach weiteren 115 Km—bei Fluss-Km 245—mündet die Mulde in 56 m Meereshöhe bei Dessau in die Elbe. Das gesamte Einzugsgebiet des Flusses ist hier 620 Km² gross, die mittlere Wassermenge beträgt 3700 t/d.

Das mittlere Niveau des gesamten Einzugsgebietes beträgt rund 300 m über N.N.

Die Abflusshöhe beträgt 54·8 cm/a, für das Jahresmittel der Niederschläge sind rund 60 cm zu rechnen. Die Quelle der Mulde liegt in rund 600 m über N.N. Zur Klärung der hydrogeochemischen Verhältnisse haben wir während fast eines Jahres (1955/56), von der Quelle bis zum Austritt aus dem Erzrevier, 16 Probenahmenstellen monatlich untersucht. Die gleiche Anzahl wurde dann noch einmal von Nossen bis zur Mündung bei Dessau kontrolliert. Wir wurden bei diesen Arbeiten in dankenswerter Weise von der VEB Wasserwirtschaft Mulde, und dem hydrologisch-meteorologischen Dienst in Radebeul unterstützt. Im Folgenden fassen wir unsere Ergebnisse zu Durchschnittsanalysen zusammen, aufgeteilt auf vier besonders charakteristische Teilabschnitte des Flusslaufes. Die hier volgelegten hydrogeochemischen Ergebnisse beziehen sich vor allem auf im Wasser gelösten Substanzen, nicht auf die gesamte, durch Lösung und Schwebstoffe transportierte Menge. Es ist bekannt, dass viele Stoffe besonders stark an Schwebstoffe gebunden werden. Um ein Bild von dem Ausmass der Bindung an den Schweb zu geben, wurden Analysen von filtriertem Wasser (Fritte G 4) ausgeführt, und auch der abfiltrierte Schweb analysiert.

Setzen wir dabei den Gehalt des im Wasser gelösten Metalls gleich 1, so ergab sich für die an den Schweb gebundenen Anteile folgende Verhältniszahlen:

Tabelle 7

Ab-schnitt	Entnahmestelle	Fluss km ab Quelle	Ba	Al	Zn	Cu	Pb
1.	Quelle-Berthelsdorf	33·9	0·43	0·68	0·24	0·67	0·25
2.	Berthelsdorf-Nossen	77·5	0·73	0·32	0·20	1·43	0·38
3.	Nossen-Golzern	130	1·69	0·49	0·30	0·37	0·34
4.	Golzern-Mündung	245	4·08	1·04	0·25	0·46	0·25

Die Sorption des Kupfers und des Bleis ist vor allem im Bereich des eigentlichen Erzgebirges hoch und fällt dann wieder ab. Besonders auffällig ist die enorme Zunahme des durch Sorption an den Schweb gebundenen Anteils von Barium; es wird wohl viermal mehr Barium durch Kolloide transportiert als durch iondisperse Lösung. Im Bereich Berthelsdorf-Nossen ist das Verhältnis Zink: Blei im Schweb mit 2·4 gleich dem Verhältnis, dass wir für diese Metalle in den Schlammproben dieses Flussabschnittes gefunden haben.

Für einige Elemente soll die Verteilung im gelösten Zustand auf die einzelnen Flussabschnitte untersucht werden. Das Verhältnis Natrium zu Kalium ändert sich infolge der verstärkten Zufuhr von Na durch Abwässer und die Zunahme der Sorption des K im Unterlauf des Flusses erheblich.

Für die Erdalkalien wobei Ca = 100 gesetzt wurde, ergaben sich die Werte der folgenden Tabelle. In der Gruppe der Kolloïdbildner wurde Fe = 100 gesetzt.

Die hier gefundenen Verhältniszahlen stimmen etwa mit den der Literatur entnommenen Werten überein. Eine Ausnahme macht das $\text{SO}_4^{2-}/\text{HCO}_3^-$ Verhältnis, da in

Tabelle 8

Abschnitt	Mg	Ca	Sr	Ba	Na	K	SiO ₂	Al	Fe	Mn
1.	33	100	0·3	0·38	100	40	2400	56	100	75
2.	23	100	0·12	0·11	100	35	980	94	100	149
3.	30	100	0·17	0·10	100	33	1300	50	100	93
4.	26	100	0·18	0·07	100	15	1460	29	100	104
Quelle-Mündung	28	100	0·19	0·16	100	30·6	350	60	100	114
Flüsse der Erde	18	100	0·34	0·34	100	36·9	(Angaben nach Rankama-Sahama-1952)			

Für die Metalle der Erzlagerstätten fanden wir folgendes Schema, wobei wir Zn = 100 setzten:

Tabelle 9

Abschnitt	Zn	Pb	Cu	As
1.	100	71·4	85·7	0
2.	100	8·5	14·7	52·3
3.	100	15·7	36·6	24·7
4.	100	24·2	99·4	3·2

Für die Anionen setzten wir SO₄'' = 100:

Tabelle 10

	SO ₄ ''	Cl'	HCO ₃	SO ₄ ''Cl'
1.	100	28	38	3·60
2.	100	35	42	2·93
3.	100	28	50	2·61
4.	100	41	43	2·41
Quelle-Mündung	100	35	43	2·73
Flüsse der Erde	100	47	289	2·14

unserem Falle die Sulfat- und Chloridgehalte etwa zehnfach höher sind als der Erd-durchschnitt. Aus den Tabellen ergibt sich gut der in chemischer Hinsicht völlig abweichende Charakter der ersten Kilometer des Flusslaufes—in dem das Wasser sehr sauerstoff- und Kohlensäurereich ist und kaum Schwebstoffe führt; die wenigen, hier gefundenen Schwermetallionen stammen, auch im Falle des Pb und Zn, wohl mehr aus zersetzen kristallinen Gesteinen—besonders aus deren Biotiten und Feldspäten. Die absoluten Konzentrationen sind sehr gering.

GEOCHEMISCHE BILANZEN FÜR EINIGE ELEMENTE

Nach dem Vorbild von GOLDSCHMIDT (1933) haben wir für einige Elemente aus den Durchschnittsanalysen die abgetragene Menge in mg, bezogen auf 1 cm² Erdoberfläche, berechnet. Für die beiden wichtigsten Nebenflüsse der Mulde, die Zschopau (mündet bei Fluss-Km 115), und die Zwickauer Mulde (bei Fluss-Km 130), geben wir nur die abtransportierten Mengen in Tonnen pro Jahr an.

Tabelle 11. Abtragung in mg/cm² des Einzugsgebiets/Jahr
(Stoffe in Lösung)

Probenahmestelle	Nossen	Mündung bei Dessau
Fluss-Km	76 Km	245 Km
Höhe über N.N.	216 m	56 m
H ₂ O	54.400	51.600
SiO ₂	0.31	0.48
Al	0.0234	0.0083
Fe	0.0364	0.0407
Mn	0.0310	0.0289
Na	0.816	3.515
K	0.278	0.341
Sr	0.0022	0.0062
Pb	0.0109	0.0010
Zn	0.0315	0.0052
Mg	0.887	0.826
Ca	2.745	3.579
Ba	0.0022	0.0010

Umgerechnet in Tonnen Abtransport pro Jahr (auf gelöste Substanz bezogen und ohne Berücksichtigung der Fläche des Einzugsgebietes, finden wir für die Mulde am Ausgang des Erzgebirges und bei ihrer Mündung sowie für die Zschopau und die Zwickauer Mulde, folgende Werte:

Tabelle 12. Transportleistung der Flüsse in t/a (Gelöste Substanz)

	MULDE			Zwickauer Mulde	
	b. Nossen	b. Dessau	Zschopau		
Einzugsgebiet	567.4 km ²	7160 km ²	1845 km ²	2353 km ²	
SiO ₂	1785	34400	4620	7100	
Al	132.5	592.0	48.2	167.0	
Fe	207	2920	192	604	
Mn	176	2080	183	685	
Na	2898	251500	1184	6910	
K	1572	24420	3660	6980	
Mg	3150	59200	10320	16000	
Ca	15580	256200	21400	56400	
Ba	12.32	74.00	38.60	35.50	
Sr	12.37	444.0	57.80	106.70	
Pb	61.7	74.0	241.0	118.2	
Cu	46.30	925.0	106.00	94.5	
Zn	179.0	370.0	396.0	331.0	

Die durchschnittliche Zusammensetzung des Muldenwassers bei der Mündung in die Elbe gibt die folgende Tabelle (in mg/l). Der Gehalt an mineralischen Schwebstoffen bedeutet einen jährlichen Abtransport von 92,500 t.

Tabelle 13. Durchschnittliche Gehalte des Muldenwassers bei Dessau

SiO_2	9·3	Na	68·1
Al	0·16	K	6·6
Fe	0·79	Ba	0·02
Mn	0·56	Sr	0·12
Ca	69·3	Pb	0·02
Mg	16·0	Cu	0·25
		Zn	0·10

Mineral-Schwebstoffe 25 mg/l.

Die Tabellen berücksichtigen bewusst nur die Kationen. Für die Anionen ist eine Zuordnung zur Abtragung der anstehenden Gesteine und Erze nur sehr bedingt möglich. Aber auch beim Natrium spielt der anthropogene Faktor eine erhebliche Rolle. Alle Siedlungsabwässer bringen vor allem Natriumionen in den Fluss. Dazu kommt der Einfluss der Technik. Bei der Berechnung der Abtragung in mg/a für eine Entnahmestelle unterhalb der Flotationsanlage Halsbrücke ergab sich eine scheinbare Abtragung von 8·5 mg Na/a. Unterhalb des Hüttenreviers Muldenhütten waren es sogar 9·6 mg/cm² Na. Calcium ergab hier 64 mg/cm² und Kupfer 1·13 mg/cm².

Das Flussgebiet der Freiberger Mulde stellt ein für mitteleuropäische Verhältnisse in klimatischer, geographischer und geologischer Hinsicht recht typisches Beispiel dar— abgesehen freilich von den überdurchschnittlich reichen Erzgebieten im Oberlauf. Insofern können die hier abgeleiteten Ergebnisse allgemeine Gültigkeit beanspruchen. Neben einer Übersicht über die im Laufe eines Jahres erfolgten Leistungs- und Transportverhältnisse, lassen sie klar die grosse Bedeutung der Sorption und Ausflockung bestimmter Kationen erkennen. Von den im Oberlauf gelösten Blei- und Bariummengen erreicht z.B. so gut wie nichts die Mündung der Elbe in die Nordsee— es sei denn im Laufe wahrhaft geologischer Zeiträume.

Eine weitere Erfahrung aus der Untersuchung der Stollen und Grubenwässer besagt, dass systematische, hydrogeochemische Prospektion in Gebieten mitteleuropäischen Klimas zweckmäßig nicht auf eine Probenahme allein beschränkt bleiben sollte. Ein und dieselbe Wasserstelle kann im Laufe eines Jahres sehr verschiedene Metallgehalte führen. Durchaus nicht immer bleiben dabei die Verhältnisse der einzelnen Metalle zueinander konstant. Abgesehen von einer gewissen Unsicherheit bei Zinn- Wolframlagerstätten, lassen sich unter den vorliegenden klimatischen und hydrologischen Bedingungen die Wässer zuverlässig den einzelnen grossen Erzformationen zuordnen.

LITERATURVERZEICHNIS

- BAUMANN L. (1958) Tektonik und Genesis der Erzlagerstätten von Freiberg. *Freiberger Forschungshefte, C 46*.
- BOYLE R. W., ILLSLEY C. I., GREEN R. N. (1955) Geochemical investigation of the heavy metal content of stream and spring waters in the Keno-Hill-Galena-Hill Area. Yukon Territory. *Bull. Geol. Surv. Canad. Bull. 32*.

- CORRENS C. W. (1948) Die geochemische Bilanz. *Naturwiss.* **35**, 4-8.
- GOLDSCHMIDT V. M. (1933) Grundlagen der quantitativen Geochemie. *Festschr. Min. Petr.*, **17**,
- HAUSE L. W. (1954) *Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser- Abwasser und Schlammuntersuchung*. Weinheim.
- HEIDE F. (1952) Die Geochemie der Süßwässer, Chemie der Erde, **16**, 3-21.
- HOLTHAUER, P. (1911) *Das Talgebiet der Freiberger Mulde*. Leipzig.
- KLEINKOPF M. D. (1955) Trace-element exploration of Maine Lake water. *Bull. Soc. Geol. Amer.*, **66**, 1585.
- LEUTWEIN F. (1960) Geochemische Prospektion. *Metall und Erz*.
- LIEBMANN H. (1951) *Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie*. München.
- MÜLLER H. (1901) Die Erzgänge des Freiberger Erzreviers, Leipzig.
- OELSNER O. W. (1958) Die Erzgebirgischen Granite, ihre Vererzung und die Stellung der Bi, Co, Ni-Formation innerhalb dieser Vererzung. *Geol.* **7**, 682-701.
- PETRASCHEK W. F. Die Anwendung der geochemischen Erzsuche in Österreich. *Berg- und hüttenmänn. Mh.*, **48**, 194-197.
- STROCHOW N. M., BRODSKAJA N. G. (1954) Bildung der Sedimente in modernen Wasserbehältern. *Nachr. Akad. d. Wiss. UdSSR*, (russ.).
- TAGEJEW A. V. Über einige geochemische Typen von Untertagewässern. *Iswest. Akad. d. Wiss. UdSSR, Geol. Reihe*, 1954, **1**, 69-76.
- TISCHENDORF G. (1955) Paragenetische und tektonische Untersuchungen auf Gängen der fluorbarytischen Bleiformation Freibergs. *Freiberger Forschungshefte C* **18**.
- WEDEPOHL V. H. (1956) Untersuchungen zur Geochemie des Bleis. *Geochim. et Cosmochim. Acta* **10**, 1 u. 2.
- FERNER GEOLOGISCHE KARTEN 1:25.000 von Sachsen und ihre Erläuterungen sowie Erläuterungen zur geolog. Karte von Preussen Bl. Bitterfeld Ost und West.