

Aus den Sektionen

Geographie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Wissenschaftsbereich Physische Geographie

(Leiter des Wissenschaftsbereiches: Prof. Dr. H. Richter)

und Chemie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Wissenschaftsbereich Analytische Chemie

(Leiter des Wissenschaftsbereiches: Prof. Dr. H. Matschiner)

Der Alkali-, Erdalkali- und Schwermetallgehalt in Gewässern der Umgebung von Halle (Saale)

Von Konrad Billwitz, Margit Hänschen und Christa Udelnow

Mit 1 Abbildung und 9 Tabellen

(Eingegangen am 23. Dezember 1980)

1. Einleitung

Die gesellschaftliche Nutzung des Territoriums wird zunehmend intensiver. Dadurch verändern sich auch Ablauf und Intensität von natürlichen Prozessen. Durch anthropogen bedingte Energie- und Stoffeinträge in Naturprozesse wird zugleich die Landschaftsdynamik zunehmend verändert, was sich letztlich auch in einer veränderten Landschaftsstruktur dokumentiert. Die Erkundung, Vorhersage und Steuerung dieses „Anthropogenisierungs-Prozesses der Landschaft“ wird als eine wesentliche Aufgabe physisch-geographischer Prozeßforschung angesehen (Billwitz 1979).

Unter den eingangs zitierten Bedingungen spielen vor allem die durch Fremdstoffe verursachten Veränderungen in den Stoffkonzentrationen und Stoffbewegungen eine Hauptrolle. Fremdstoffe gelangen durch vielfältige Formen der gesellschaftlichen Tätigkeit in den natürlichen Stoffkreislauf und rufen die unterschiedlichsten Folgeprozesse sowohl in terrestrischen als auch in aquatischen Geo- und Ökosystemen hervor.

Vorliegender Beitrag widmet sich insbesondere analytischen Fragen der Untersuchung von stehenden und fließenden Gewässern der Umgebung von Halle hinsichtlich ausgewählter, sich in Lösung befindlicher Metalle. Da Gewässer Bestandteil der Landschaftssphäre sind und in gewisser Weise den natürlichen und anthropogen überprägten Stoffbestand und Stoffhaushalt in ihrem Einzugsgebiet widerspiegeln, sind die Untersuchungsergebnisse ein Spiegelbild der komplizierten und vielfältigen natur- und wirtschaftsräumlichen Struktur der Umgebung von Halle. Die Beschränkung der Untersuchung auf die Belastung der Gewässer mit gelösten Metallen ergab sich einmal aus der Tatsache, daß die ins Auge gefaßten Elemente nur in ihrer löslichen Form ökologisch relevant sind und daß zum anderen in der ersten Arbeitsphase die Probleme der Probenaufbereitung fester Substanzen umgangen werden sollten. Dabei mußte von vornherein davon ausgegangen werden, daß gelöste Metalle nur in geringer Konzentration vorliegen werden, da diese vorwiegend an Schwebstoffe und Sedimente, z. T. auch an biologische Substanz gebunden sind.

Da die Untersuchung von vornherein methodisch orientiert war, können selbstverständlich mit nur wenigen Probenahmen keine weiterreichenden Schlußfolgerungen zur generellen Umweltsituation und ökologischen Wirksamkeit der Metalle angeschlossen

werden, da u. a. Wasserführung und Abwasserlast, eventuell diskontinuierliche Abwassereinleitung, gestörte Gleichgewichte zwischen gelöster und fester Phase der Wasserinhaltsstoffe u. v. a. nur Aussagen für den gegebenen Moment gestatten.

Natürliche Wässer bestehen auch ohne anthropogene Verunreinigungen niemals nur aus Molekülen bzw. Molekülaggregaten von H_2O , sondern enthalten immer diverse Begleitstoffe, von denen Alkali- und Erdalkalisalze und einige Schwermetalle die wichtigsten sind.

Die im Wasser gelösten Metalle resultieren u. a. aus folgenden natürlichen und anthropogenen Prozessen (vgl. Lienig 1979).

1. Auswaschungsprozesse: Durch Verwitterung und Bodenbildung werden aus dem Gestein chemische Verbindungen freigesetzt, umgewandelt und neugebildet und als feste Partikel bzw. in Wasser gelöst vertikal oder lateral verfrachtet. Ein großer Teil der Verbindungen verbleibt trotz aller Translokationsprozesse im Bodenbereich und bildet letztlich durch seine charakteristische Farbe wesentliche Anprachemerkmale von Böden. Ein anderer Teil der Verbindungen gelangt in Abhängigkeit von der saisonal und witterungsmäßig sich verändernden Durchfeuchtungs- und damit auch chemischen Reaktionsbedingungen (Oxydation, Reduktion, Mineralisierung, Ionenaustausch, Redoxpotential usw.) bis in den Vorfluter, wobei sie häufig an die Oberflächen von Feststoffen gebunden und als Schlämme abgelagert werden. Es ist selbstverständlich, daß auch die durch Düngung und Immission auf und in den Boden gelangten Elemente und Verbindungen diesen Auswaschungsprozessen unterliegen.
2. Abwassereinleitung: Bei häuslicher, gewerblicher, landwirtschaftlicher und industrieller Nutzung von Wasser und bei der Ableitung von Niederschlagswasser aus Siedlungen wird die Wasserbeschaffenheit z. T. nachhaltig beeinflußt und dabei die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Wassers stark verändert (Schwarze 1972).

Insbesondere die chemischen Inhaltsstoffe der Abwässer verändern den Chemismus der Gewässer z. T. tiefgreifend. Das ist für die Gewässernutzung bedeutungsvoll, weil viele dieser chemischen Substanzen nicht oder nur sehr schwer abbaubar sind oder auch toxisch wirken. Während die organischen Stoffe in Gewässern in Abhängigkeit vom Gewässertyp und von der bestehenden Belastung über die biologische Selbstreinigung weitgehend abbaubar sind, verbleiben die hier betrachteten anorganischen Stoffe im Gewässer, sofern sie nicht an Feststoffe gebunden und als Schlamm abgesetzt oder bei der Uferfiltration zurückgehalten werden.

2. Analysenmethodik

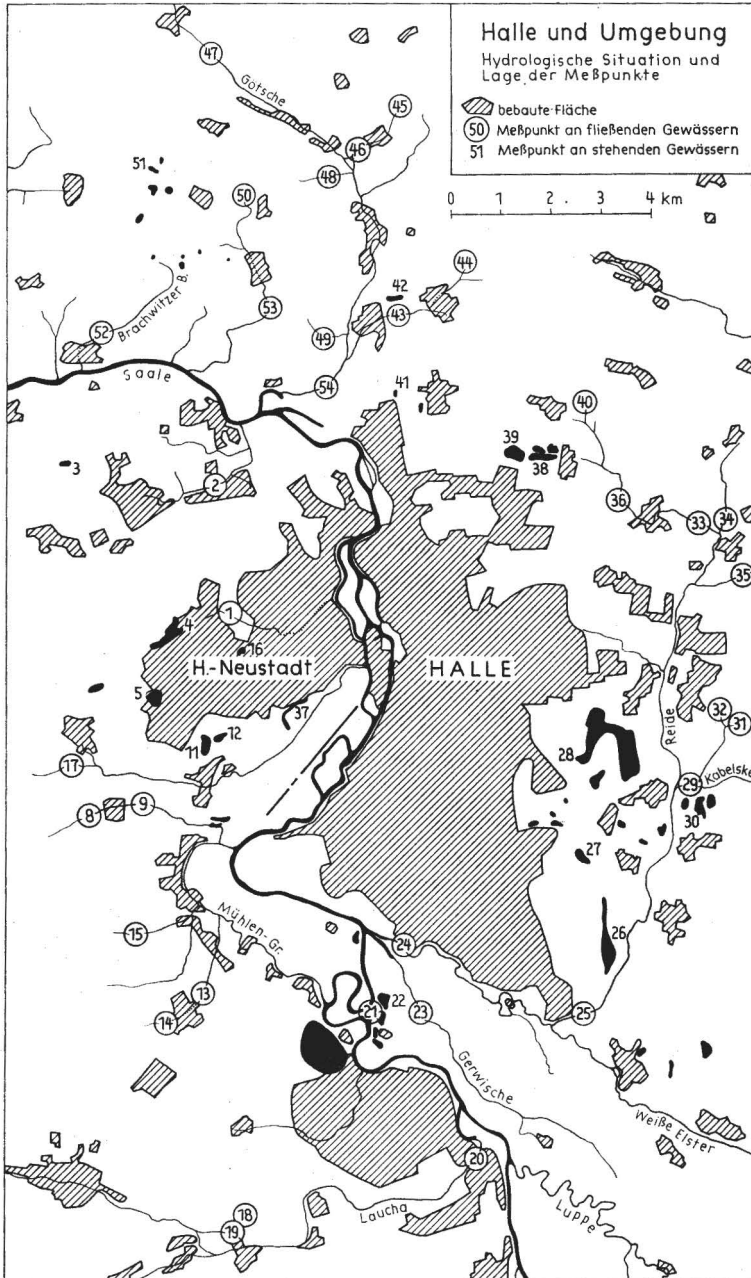
Für die Wasseranalytik hat sich in den letzten Jahren wegen ihrer Einfachheit und Schnelligkeit immer mehr die Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) durchgesetzt (Welz 1972; Moenke/Nötzold 1977). Die Methode erlaubt es, einige Elemente im Wasser direkt, d. h. ohne Probenvorbereitung, zu bestimmen. Das hat neben der Schnelligkeit den Vorteil, daß eine Kontamination durch zugesetzte Reagenzien ausgeschlossen bzw. ein erhöhter Matrixeffekt durch Einengen vermieden werden kann.

Die Analysenmethode der AAS wurde von Walsh (1955) entwickelt. Sie beruht auf der Tatsache, daß Atome im Grundzustand Licht bestimmter Energie absorbieren können. Diese Absorption ist elementspezifisch und erfolgt bei genau definierten Wellenlängen.

Für die AAS gilt über weite Bereiche das Lambert-Beersche Gesetz, so daß über die Extinktion ein linearer Zusammenhang mit der Konzentration besteht.

Als Anregungsquelle dient bei der AAS meist eine Hohlkatodenlampe (HKL), deren Katodenmaterial aus dem jeweils zu bestimmenden Element besteht bzw. es ent-

hält (Sullivan/Walsh 1966). Beim Anlegen einer Spannung an die HKL entsteht eine Glimmentladung, bei der das charakteristische Spektrum des Katodenelementes emittiert wird. Dieses Licht leitet man durch den Atomdampf der zu analysierenden Probe und mißt die Absorption der Resonanzenergie.



Die Erzeugung des Atomdampfes der Probe kann über verschiedene Wege erfolgen. Am häufigsten wird dazu die Flamme verwendet. Die Vorteile der Flamme sind eine hohe Bedienungseinfachheit, große Störfreiheit und gute Empfindlichkeit. Für Spurenelementbestimmung im ppb-Bereich liegen die Nachweisgrenzen jedoch meist zu hoch. Um aufwendige Anreicherungsverfahren zu vermeiden, wird in diesen Fällen in letzter Zeit die elektrothermische Atomisierung bevorzugt. Massmann (1968) entwickelte hierfür eine spezielle Graphitrohrküvette, in der mit geringem Probenvolumen sehr gute Nachweisgrenzen erreicht werden.

Die hier betrachteten Alkalimetalle (Natrium und Kalium) und Erdalkalimetalle (Kalzium und Magnesium) liegen in natürlichen Wässern meist in Konzentrationen über 1 mg/l vor. Da diese Elemente schon bei niedrigen Temperaturen leicht angeregt werden, eignet sich für ihre Bestimmung auch die allgemein bekannte Flammenphotometrie.

3. Charakterisierung der untersuchten Gewässer sowie der entnommenen Proben

Eine erste Entnahme von Wasserproben erfolgte im Juli 1978. Ausgewählte Gewässer wurden ein zweites und drittes Mal beprobt (April/Mai 1980). Es handelt sich sowohl um stehendes als auch um fließendes Wasser.¹ Im ersten Falle waren das wassererfüllte Restlöcher des Abbaus von oligozänen Formsanden (51), von Kaolintonen (41, 42), von Kalksteinen (5, 16), von Tonen und Tonsteinen des Unteren (3) und des Oberen Buntsandsteins (11, 12), von Auelehmen (22) und von pleistozänen Saaleschottern (30). Restlöcher des Braunkohlenabbaus liegen an den Entnahmepunkten 4, 26 und 28 vor. Das „Blaue Auge“ westlich Bruckdorf (27) ist eine Wasseransammlung auf einer Braunkohlenkippe. Die Wasserflächen am Posthorn sind unter den Grundwasserspiegel abgesenkte Braunkohlen-Tiefbaufelder (38, 39). Der Kirchteich Passendorf (37) stellt ein stark verändertes Altwasser im Saaletal dar.

Die fließenden Gewässer sind mit Ausnahme der Saale und der Weißen Elster kleinere Bäche und Gräben, die direkt den beiden Hauptvorflutern oder ihren Nebenflüssen Reide, Götsche und Laucha zufließen.

Der Brachwitzer Bach (mit Meßstelle 52) durchfließt ein welliges Braunerde-Hügelland mit teilweise aufgelöstem Lößschleier über silikatischem Festgestein, grusigem Gesteinsschutt, teilweise auch mit Geschiebemergel und -lehm. Die geringmächtige Lößdecke ist von Schwarzerden überprägt bzw. durch erosive Vorgänge freigelegt, so daß kalkhaltige Löß-Rendzinen vorkommen. Der Einfluß der sporadisch vorkommenden sauren Tertiärsande ist gering.

Der Morler Bach (mit Meßstellen 50 und 53) entspringt an den Unterhängen des Möderauer Plateaus, das aus Geschiebemergeln und kalkhaltigen Lößen mit Schwarzerden besteht. Im Untergrund dieses Plateaus stehen oligozäne Tone und Sande sowie permosilesische Porphyre an. Viele Hangdellen ziehen sich auf die höherliegenden Pleistozänplatten hinauf. Der Unterlauf des Morler Baches befindet sich gleichfalls in einem sehr differenziert aufgebauten Braunerde-Hügelland mit teilweise aufgelöstem Lößschleier. Die Orte Möderau, Beidersee und Morl leiten ihre häuslichen und z. T. auch die landwirtschaftlichen Abwässer in den Morler Bach.

Die Götsche (mit Meßstellen 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49 und 54) entspringt in einer flachen Einmündung des Möderauer Plateaus. Viele Nebenbäche und Hangdellen gliedern rechtsseitig den Talrand. Kleinere, oftmals trockenfallende Nebentäler ziehen sich

¹ Die Probeentnahmestellen werden im folgenden in Klammern gesetzt aufgeführt. Sie werden in den Tab. 3 und 4 sowie in der Abbildung erläutert und lagemäßig dargestellt.

linksseitig bis auf das Küttener Plateau. Diese Täler durchschneiden sowohl kalkhaltige Moränenplatten als auch Bereiche mit glazifluvialen Sanden und Kiesen und oligozänen Tonen. Im Unterlauf durchschneidet die Götsche einen sandlößbedeckten Terrassenkörper der Saale. Insgesamt dominieren im Einzugsgebiet Naturraumtypen mit mächtigen Lößdecken auf Geschiebelehm und -mergel mit der Ausbildung von kalkhaltigen Löß-Rendzinen und -Schwarzerden. Die Talböden sind mit grundwasserbeeinflussten kalkhaltigen Kolluvialmassen aufgefüllt. Im Götschetal und seinen Hangbereichen liegt eine Kette von Siedlungen mit etwa 7 400 Einwohnern.

An der Reide und ihren Nebenarmen liegen insgesamt acht Meßstellen (40, 36, 33, 34, 32, 21, 29, 25). Die Reide entwässert das Schwarzerde-/Griserde-Flachland östlich von Halle, wobei mehr oder weniger mächtige Löße und Sandlöße auf Geschiebemergel, auf z. T. kalkhaltigen glazialen Kiesen und auf Schottern dominieren. Vor allem im Einzugsgebiet der Kabelske und im Südosten treten periodisch vernäßte Griserden auf. Der Talboden wird oft aus kalkhaltigen Kolluvialmassen und moorigen Bildungen aufgebaut. Neben häuslichen und landwirtschaftlichen Abwässern aus den Reidedörfern bzw. aus den östlichen Stadtteilen von Halle nimmt die Reide bereits zunehmend industrielle Abwässer (u. a. Rohpappenfabrik Zwintschöna) bzw. Abwässer aus landwirtschaftlichen Verarbeitungsbetrieben (Dölbau) auf.

Der Dölauer Hechtgraben (2) stellt ebenso einen Abwassergraben für häusliche Abwässer dar wie der Nietlebener Bach (1). Von der Zscherben-Delitzer Buntsandsteintafel mit Geschiebemergel und schwarzerdeüberprägten Lößdecken kommen mehrere, z. T. sommerlich trockenfallende Tälchen herunter, die durch die Meßstellen 17, 8 und 9, 15, 13 und 14 erfaßt wurden. Einige dieser Gräben waren verrohrt bzw. führten zum Zeitpunkt der Probenahme kein Wasser.

Die Laucha (18, 19, 20) entspringt auf der lößbedeckten Schafstädter Schwarzerdeplatte und wurde kurz vor dem Eintritt in den Bereich der Buna-Rückstandshalde und in Schkopau beprobt.

Weitere Meßpunkte lagen an der Saale (Schleuse bei Hohenweiden, 21), an der Weißen Elster bei Beesen (34) und an der Gerwische zwischen Planena und Ammendorf. Letztere entwässert die breite Elster-Saale-Aue mit ihren sehr mächtigen Auelehmen bzw. -tonen (vgl. Steffen 1971).

Bereits bei der Entnahme der Proben wurde deutlich, daß es gravierende Unterschiede in der Verschmutzung von stehenden und fließenden Gewässern gibt. Stehende Gewässer waren i. d. R. klar bis mäßig klar, nahezu farblos und wiesen kaum bestimmte Geruchsbesonderheiten auf. Dagegen hatten fast alle fließenden Gewässer fremdartige Gerüche (faulig, muffig, phenolig u. a.). Ihre Farbe und Durchsichtigkeit waren sehr unterschiedlich. Eine starke organische Belastung war offensichtlich. Ausnahmen stellten lediglich kleinere, noch unbeeinflusste Bachabschnitte in den Oberläufen und Zuflüssen dar. Hier liegen noch Wässer vor, die lediglich durch suspendierte oder kolloidal gelöste anorganische und organische Stoffe getrübt sind. Eine gewisse natürliche Verchlammung war fast überall gegeben.

4. Experimenteller Teil

4.1. Probenahme

Das Wasser wurde in 1-l-Flaschen aus Polyäthylen entnommen, mit HNO_3 auf etwa pH 1 gebracht und im Labor gefiltert. Die Entnahme war insofern schwierig, als mit Ausnahme der Saale und der Weißen Elster die übrigen fließenden Gewässer nur kleine Bäche und Gräben darstellen, bei denen die Wasserführung sehr gering und demzufolge die Probenahme erschwert war. Da es sich um eine einmalige Entnahme handelte, wurden keine besonderen Anforderungen an die Auswahl der Probenahme-

stellen gestellt: Bei Saale und Weißer Elster wurde Wasser von Brücken aus dem Stromstrich aus den obersten 10 cm entnommen. Stehende Gewässer wurden von gut zugänglichen Uferbereichen ebenfalls aus den obersten 10 cm beprobt. Bei Bächen und Gräben mußte aus der Mitte direkt in die Polyäthylen-Flaschen geschöpft werden.

4.2. Versuchsbedingungen

Alle Versuche wurden mit dem Gerät AAS 1 vom VEB Carl Zeiss Jena im Rahmen einer Diplomarbeit (Hänschen 1980) durchgeführt. Die Elemente Eisen, Zink und Mangan wurden im Absorptionsbetrieb (Acetylen/Preflüft-Flamme) und die Elemente Magnesium, Kalium, Natrium und Kalzium im Emissionsbetrieb vermessen.

Tabelle 1. Versuchsbedingungen im Flammenbetrieb

Element	Absorption				Emission		
	Fe	Zn	Mn	Mg	K	Na	Ca
Acetylen/lh ⁻¹	110	110	110	100	100	100	100
Preflüft/lh ⁻¹	468	468	468	468	468	468	468
Wellenlänge/nm	248,3	213,86	279,5	385,2	766,5	589	554
HKL-Stromstärke/A	10	8	6	—	—	—	—
SEV-Stufe	3	4	3	5	5	2	4
Verstärkerstufe	4	3	3	7	3	2	5
Zeitkonstante/s	2	4	0,5	0,5	2	0,5	2
Spaltbreite/mm	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05

Für die Bestimmung der Elemente Blei und Kupfer stand eine Zusatzeinrichtung zur flammenlosen Atomisierung zur Verfügung. In Proben mit weniger als 0,05 mg/l Zink wurde auch dieses Element mit Hilfe der flammenlosen Atomabsorption bestimmt.

Tabelle 2. Versuchsbedingungen im flammenlosen Betrieb

Element	Kupfer	Blei	Zink
Argon in l/h	400	400	400
Wellenlänge in nm	324,4	217,0	213,9
HKL-Lampenstrom in mA	10,0	7,5	7,5
Spaltbreite in mm	0,03	0,03	0,03
SEV-Stufe	2	4	4
Verstärkerstufe	2	2	4
Zeitkonstante in s	0,5	0,5	0,5
Trocken-			
Zeit in s	15	15	15
Temp. (etwa) in K	500	475	475
Veraschungsphase 1			
Zeit in s	12	12	12
Temp. (etwa) in K	500	500	500
Veraschungsphase 2			
Zeit in s	12	12	12
Temp. (etwa) in K	1 200	1 200	950
Atomisierung			
Zeit in s	4,5	4,5	4,5
Temp. (etwa) in K	3 300	3 300	3 300

Die Eichung wurde im Absorptionsbetrieb nach einem modifizierten Additionsverfahren durchgeführt, im Emissionsbetrieb wurden mit deionisiertem Wasser hergestellte Verdünnungsreihen vermessen (vgl. Höll 1960, Leithe 1975).

4.3. Untersuchungsergebnisse

Die Tab. 3, 4 und 5 zeigen die erzielten Analysenergebnisse für die Elemente Natrium, Kalium, Magnesium, Eisen, Zink, Blei und Kupfer, Tabelle 6 gibt die erreichten Nachweisgrenzen für die Schwermetalle im Vergleich zu ihren Normalwerten in natürlichen Gewässern an.

Aus Tabelle 6 geht hervor, daß die Atomabsorption für die Direktbestimmung der Elemente Eisen, Mangan und Zink in natürlichen Gewässern uneingeschränkt anwendbar ist. Die Direktbestimmung von Blei und Kupfer ist nur dann möglich, wenn das untersuchte Gewässer übernormal belastet ist. Die Methode gestattet also auch für diese Elemente, eine für den Umweltanalytiker durchaus wichtige Aussage zu treffen. So konnte in den hier beschriebenen Proben in keinem Falle Kupfer und nur in einem Falle Blei nachgewiesen werden. Die Methode wurde auch an besonders mit Schwermetallen belasteten Gewässern getestet. Bei diesen Proben war die Ermittlung der genauen Blei- und Kupfergehalte durch Direktbestimmung möglich.

Tabelle 7 zeigt die Standardabweichung für die Zinkbestimmung. Für die anderen Elemente lag die Standardabweichung für die jeweiligen Atomisierungsarten in gleicher Größenordnung oder sogar niedriger.

5. Interpretation der Ergebnisse

Bei der Interpretation der Untersuchungsergebnisse wurde von folgenden Fragestellungen ausgegangen:

- In welchem Maße spiegeln sich in der Metallionenführung von Gewässern Naturraumunterschiede wider?
- Welchen Einfluß haben Siedlungen unterschiedlicher Größe auf die Metallbelastung der Vorfluter?
- Können bestimmte Verunreinigungsquellen nachgewiesen werden?

Der eindeutige Nachweis, daß die fließenden Gewässer insgesamt bedeutend größere Wertespannen zwischen geringer und hoher Spurenelementführung aufweisen als die stehenden Gewässer, macht deutlich, daß die fließende Welle als bevorzugtes Transportmittel für Abprodukte angesehen wird. Eine Abschätzung der transportierten Mengen ist allerdings kaum möglich, da keine Durchflußmessungen vorliegen und mit nur wenigen Probenahmen auch Zufälligkeiten eine große Rolle spielen können (vgl. Tab. 5).

Die wenigen Mehrfachbeprobungen (Tab. 5) gestatten den Schluß, daß es in der Metallführung sowohl der stehenden als auch der fließenden Gewässer starke Schwankungen gibt. Einmalige Probenahmen liefern also sicherlich keine repräsentativen Daten für Schlußfolgerungen hinsichtlich natürlicher saisonaler Rhythmik und des Ganges technologischer Prozesse.

Für den Entnahmeterrain 19. 7. 1978 liegen seitens der Wasserwirtschaft Durchflußmessungen an der Saale bei Planena/Hohenweiden vor, so daß die Lösungsfracht der Saale an den von uns bestimmten Metallen für diesen Termin errechnet werden konnte (Tab. 8).

Betrachtet man die in Tab. 9 herausgestellten Ergebnisse, erkennt man, daß die Gewässer, die weder durch häusliche noch durch industrielle Abwässer verunreinigt werden, relativ gering mit Natrium, Magnesium, Zink und Blei belastet sind. Es wird aber auch deutlich, daß einige dieser Gewässer überdurchschnittlich hohe Mg- und Ca-Mengen abführen. Da die Stärke dieses (natürlichen!) Mg- und Ca-Auswaschungsprozesses von den zur Verfügung stehenden Sickerwassermengen und der Düngungsintensität, aber vor allem vom natürlichen Mg- und Ca-Gehalt der Substrate und Böden

Tabelle 3. Analysenergebnisse stehender Gewässer (in mg/l) für die erste Beprobung (Juli 1978)

Nr.	Bezeichnung des Gewässers	Entstehung/Geologie	Äußere Ansprache	Na	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Zn	Pb
3	Döläuer Tonloch	Tongruben-Restloch, unterer Buntsandstein	klar	128,8	<u>131,8</u>	<u>841,4</u>	435	0,45	0,45	0,04	—
4	Heidensee Nietleben	Braunkohlentagebau-Restloch, Obereozän	klar	15,85	75,9	218,8	505	2,0	1,2	<u>0,88</u>	—
5	Kalksteinbruch Nietleben	Kalksteinbruch-Restloch, unterer Muschelkalk	klar	16,6	37,3	272,3	357	2,2	0,6	0,24	—
11	Angersdorfer Badeteich	Ziegeleigruben-Restloch, Röt	klar	<u>229,1</u>	125,9	749,9	<u>585</u>	0,2	0,6	0,0032*	—
12	Angersdorfer Angelteich	Ziegeleigruben-Restloch, Röt	klar	66,1	102,3	431,5	393	0,9	0,55	<u>0,001*</u>	—
16	Graebsee Ha-Neu	Kalksteinbruch-Restloch	klar	15,1	37,2	112,2	260	0,45	0,6	<u>0,11</u>	—
22	Planenaer Teiche	Ziegeleigruben-Restloch, Auenmangel-Holozän	klar	34,7	70,8	84,1	172	<u>14,5</u>	0,2	0,19	—
26	Osendorfer Kanutensee	Braunkohlentagebau-Restloch, Obereozän bis Mitteloligozän	klar	138,0	69,2	206,5	300	1,6	0,6	0,04	—
27	Bruckdorfer „Blaues Auge“	See auf Braunkohlentagebau- kippe, tertiär-pleistozänes Mischsubstrat	mäßig klar	33,1	47,9	112,2	322	0,9	0,6	0,17	—
28	Kanenaer Hufeisensee	Braunkohlentagebau-Restloch, Obereozän bis Mitteloligozän	klar	66,1	47,9	158,5	322	0,7	0,85	0,03	—
30	Zwintschönaer Badeteich	Kiesgruben-Restloch, Pleistozän	klar	28,2	33,9	75,9	172	0,9	0,55	0,0153*	—
37	Kirchteich Passendorf	ehem. Saale-Altwasser, Holozän (Abwasserzuleitung)	trüb	69,2	58,9	96,6	215	2,0	0,6	0,08	—
38	Posthorner Ostteich	Braunkohlentiefbau- Senkungsgebiet	mäßig klar	38,9	38,9	158,5	266	8,8	0,35	0,05	—
39	Posthorner Westteich	Braunkohlentiefbau- Senkungsgebiet	mäßig klar	138,0	58,9	188,4	209	2,0	0,1	0,03	—
41	Trotha-Seebener Loch	Kaolintongruben-Restl., kaolini- sierte Sandsteine u. Tuffe	klar	61,7	70,8	218,8	512	0,7	0,2	0,0045*	—
42	Gutenberger Wasserloch	Kaolintongruben-Restl., kaolini- sierter oberer Porphyry	mäßig klar	56,2	81,3	147,9	380	1,25	0,35	0,025	—
51	Beidersee-Teich	Formsandgruben-Restl., Oligozän	klar	<u>8,3</u>	<u>8,3</u>	<u>66,8</u>	<u>107</u>	<u>0,2</u>	<u>2,8</u>	<u>0,05</u>	—
				67,3	64,5	243,6	324	2,3	0,7	0,115	—

— = Maximalwert = Minimalwert

* = Alle in Tab. 3 und 4 mit diesem Symbol gekennzeichneten Werte wurden im flammenlosen Betrieb ermittelt.

Tabelle 4. Analysenergebnisse fließender Gewässer (in mg/l) für die erste Beprobung (Juli 1978)

Nr.	Bezeichnung des Gewässers	Entnahmestelle	Äußere Ansprache	Na	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Zn	Pb
1	Nietlebener Bach	Kleingartensparte Habichtsfang	trüb	36,3	69,2	237,1	357	1,05	0,8	0,13	—
2	Dölauer Hechtgraben	Kuhbergweg	trüb	12,5	58,9	42,2	85	0,9	1,35	—	—
8	Angersdorfer „Saure Breite“	oberhalb des Kaliwerkes	verschlammt	8,3	15,0	206,5	400	6,35	3,4	0,14	—
9	Angersdorfer „Saure Breite“	unterhalb des Kaliwerkes	gelblich	707,9	446,7	2431,0	393	7,2	0,8	0,09	1,59
13	Delitzter Bach	unterhalb Delitz a. Bge.	stinkend	20,9	83,2	133,3	250	2,0	0,45	0,07	—
14	Delitzter Bach	oberhalb Delitz a. Bge.	klar	15,85	21,9	173,8	272	2,95	1,45	0,06	—
15	Hollebener Bach	Teutschentaler Straße	verschlammt	11,75	8,3	112,2	285	0,5	0,1	0,002*	—
17	Zscherbener Bach	Wüste Mark Burau	verschlammt	9,3	24,5	123,0	535	1,25	0,6	0,03	—
18	Vorfluter Bündorfer Holz	Straße Bündorf-Delitz	klar	24,0	24,5	484,2	492	2,0	0,6	0,03	—
19	Laucha	Straße Bündorf-Delitz	mäßig klar	24,0	69,2	84,1	172	1,8	2,8	0,05	—
20	Laucha	Schkopauer Schloßpark	mäßig klar	30,2	69,2	102,3	230	3,3	2,25	0,035	—
21	Saale	Schleuse Hohenweiden	trüb	52,5	117,5	102,3	215	0,9	1,35	0,06	—
23	Gerwische	Weg Planena-Ammendorf	dunkel	40,7	102,3	93,3	172	2,0	0,7	0,06	—
24	Weißer Elster	Brücke bei Beesen	stinkend	45,7	49,0	66,8	130	2,0	2,4	0,16	—
25	Reide	Straßenbrücke Osendorf-Döllnitz	stinkend	169,8	83,9	133,3	250	1,45	3,2	1,34	—
29	Kabelske	Straßenbrücke Zwintschönau-Reideburg	stinkend	19,5	104,7	66,8	245	2,5	1,45	0,05	—
31	Dölbauer Graben	von der Platte nördl. Dölbau	mäßig klar	20,4	15,0	147,9	477	0,2	0,35	0,04	—
32	Dölbauer Bach	aus Richtung Reideburg-Ost	trüb	18,6	61,7	112,2	315	5,95	1,7	0,24	—
33	Peißener Reide	aus Zöberitz	trüb	17,8	87,1	84,1	158	1,6	1,45	0,08	—
34	Peißener Reide	aus Braschwitz	mäßig klar	20,4	100,0	206,5	245	5,1	0,9	0,05	—
35	Peißener Reide	aus Zwebendorf	mäßig klar	26,9	52,5	84,1	209	0,7	2,0	0,10	—

Fortsetzung Tabelle 4

Nr.	Bezeichnung des Gewässers	Entnahmestelle	Äußere Ansprache	Na	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Zn	Pb
36	Zöberitzer Bach	Straße Mötzlich-Zöberitz	trüb	14,2	70,8	188,4	308	1,85	0,9	0,16	—
40	Tornauer Vorfluter	Graben östl. Tornau	klar	10,0	26,3	53,1	107	0,7	0,1	0,01*	—
43	Gutenberger Bach	unterhalb Gutenberg	trüb	7,4	49,0	36,7	122	1,05	1,15	0,02	—
44	Gutenberger Bach	Quellfassung oberh. Guten- berg am Weg n. Oppin	klar	3,2	6,9	42,2	165	0,2	1,35	0,0028*	—
45	Nehlitzer Bach	oberhalb Nehlitz, an der Straße nach Kütten	klar	7,4	10,0	53,1	265	0,2	1,0	0,03	—
46	Nehlitzer Bach	unterhalb Nehlitz, an der Straße nach Köthen	mäßig klar	11,7	41,7	60,2	230	0,2	0,5	0,05	—
47	Götsche	nordöstlich Trebnitz	trüb	14,5	104,7	102,3	230	0,2	1,6	0,05	—
48	Dachritzer Graben	westlich der Eisenbahn- unterführung	verschlammt	12,3	17,4	102,3	315	15,8	9,5	0,08	—
49	Ferdinand Graben	Straße Sennowitz-F 6	verockert	10,5	21,9	96,6	280	10,7	65,0	0,06	—
50	Möderauer Bach	Grund nordwestl. Möderau	mäßig klar	8,3	20,4	84,1	315	5,75	3,6	0,15	—
52	Brachwitzer Bach	oberh. Brachwitz, Trinkwasserschutzgebiet	klar	29,5	15,0	75,9	215	0,2	1,0	0,02	—
53	Morler Bach	südl. Morl, Unterörterung der F 6	stinkend	47,9	562,3	84,1	172	1,45	3,2	0,19	—
54	Götsche	südl. Morl, Unterörterung der F 6	mäßig klar	20,9	83,2	84,1	222	2,2	2,7	0,04	—
				45,03	79,23	185,0	246,41	2,71	3,33	0,11	0,05

— = Maximalwert = Minimalwert

Tabelle 5. Vergleich der Analysenergebnisse zu unterschiedlichen Entnahmezeiten ¹ (in mg/l)

Nr.	Na			K			Mg			Ca		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
4	15,8	87,0		75,9	31,0		218,8	155		505	447	
8	8,3	48,0		15,0	2,0		206,5	115		400	331	
9	707,9	5781,0		446,7	1960,0		9120,1	18 836		393	324	
25	169,8	155,0	631,0	83,9	19,0	36,3	133,3	124	141,2	250	339	245,5
48	12,3	32,0	33,1	17,4	2,4	3,3	102,3	98	95,5	315	309	346,7
49	10,5	49,0		21,9	7,0		96,6	98		280	331	
51	8,3	21,0		8,3	2,6		66,8	55		107	112	
Nr.	Mn			Fe			Zn			Pb		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
4	2,0	2,1		1,2	0,64		0,88	0,04				
8	6,4	0,4		3,4	0,27		0,14	0,0017				
9	7,2	1,8		0,8	1,60		0,09	0,22		1,59	1,92	
25	1,4	1,0	2,5	3,2	0,55	1,12	1,34	0,05	1,0			
48	15,8	1,0	1,9	9,5	0,18	0,83	0,08	0,04	0,04			
49	10,7	6,1		65,0	22,9		0,06	0,06				
51	0,2	0,2		2,8	0,18		0,05	0,0005				

¹ Entnahmezeiten:

1.: Juli 1978

2.: April 1980 (Hochwasser)

3.: Mai 1980

Tabelle 6. Nachweisgrenzen für die untersuchten Schwermetalle

Element	Normalwert in nat. Gewässern in mg/l	Nachweisgrenze in mg/l	Atomisierungsart
Fe	0,5 —2,0	0,3	Flamme
Mn	0,5 —2,0	0,5	Flamme
Zn	0,05—0,5	0,0005	flammenlos
Pb	< 0,02	0,01	flammenlos
Cu	< 0,02	0,015	flammenlos

Tabelle 7. Standardabweichung für die Zinkbestimmung

Atomisierung	Standardabweichung s in mg/l	n	Durchschnittskonzentration der n Proben in mg/l
Flamme	0,0095	51	0,114
flammenlos	0,00149	12	0,005

Tabelle 8. Lösungsfracht der Saale an Metallen am 19. 7. 1978 bei einem Durchfluß von 41 m³/s am Pegel Planena/Hohenweiden

Element	Analysenwert in mg/l	Lösungsfracht in kg/s	in t/d
Na	52,5	2,1525	186,0
K	117,5	4,818	416,2
Mg	102,3	4,194	362,4
Ca	215,0	8,815	761,6
Mn	0,9	0,037	3,2
Fe	1,35	0,055	4,8
Zn	0,06	0,002	0,2
Summe		20,0735	1734,4

abhängt, wird die starke Dekarbonatisierung der kalkreichen, lößbestimmten Moränenplateaus mit Schwarzerden und den löß- und kolluviallößbestimmten Talhängen mit Schwarzerden und Rendzinen (im Bereich der Meßpunkte 8, 14, 15, 17, 48, 50) im Vergleich zu den kaum kalkhaltigen sandlößbestimmten Porphy- und Moränenplatten und Ausräumungszonen mit ihren unterschiedlichen Substraten (im Bereich der Meßpunkte 40, 44, 45) besonders deutlich. Die Mg- und Ca-Wegführung über die Gewässer korrespondiert etwa mit den experimentell nachgewiesenen Mg- und Ca-Verlusten der Böden durch Auswaschung.

Das aus der Bodendynamik bekannte gemeinsame Auftreten von Fe und Mn bei Verwitterungs- und Mineralneubildungsvorgängen wird auch bei wasseranalytischen Untersuchungen bestätigt. Da eine Lösung von Fe und Mn in starkem Maße von der H-Ionenkonzentration und von der Durchlüftung der Böden abhängt, ist es erklärlich, daß unter den konkreten hydrologischen Verhältnissen an den Meßpunkten 8, 48 und 50 besonders große Mengen dieser Elemente gelöst und dabei 1,5- bis 2mal mehr Mn verfrachtet wird als Fe.

Tabelle 9. Vergleich anthropogen unbeeinflusster oberer Bachabschnitte

Meßpunkte	Durchschnittsgehalte (in mg/l) an								
	Na	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Zn	Cu	Pb
8, 14, 15, 17 (Zscherben-Delitzer-Platte)	11	17	154	373	2,3	1,4	0,06	—	—
44, 45 (Nehlitz-Gutenberger Platte)	5	8	48	215	0,2	1,2	0,03	—	—
40 (Mötzlich-Tornauer Platte)	10	26	53	107	0,7	0,1	0,02	—	—
48, 50 (Neutz-Möderauer Platte)	10	19	93	315	10,8	6,7	0,12	—	—
alle anthropogen unbeeinflussten Bachabschnitte (8, 14, 15, 17, 40, 44, 45, 48, 50)	9	17	87	252	3,6	3,0	0,05	—	—
alle untersuchten Fließgewässer (Tab. 4)	45	79	185	246	2,7	3,3	0,11	—	0,05

Auch die stehenden Gewässer in Restlöchern spiegeln einen verschiedenartigen Stoffbestand ihrer gelösten Substanzen wider. Besonders auffällig sind die hohen Na-Konzentrationen in den Restlöchern des Oberen und Unteren Buntsandsteins (11, 12, 3), z. B. im Angersdorfer Freibad (11), was auf einen besonders hohen NaCl-Gehalt dieser Gesteine zurückzuführen ist. Die Wässer der Buntsandstein-Restlöcher zeichnen sich außerdem durch überdurchschnittlich hohe K-, Mg- und Ca-Gehalte aus. Demgegenüber tritt ihr Mn- und Zn-Gehalt auffällig zurück.

Die Wässer der Muschelkalkrestlöcher (5, 16) haben dagegen auffällig niedrige Na-, K-, Mn- und Mg-Gehalte. Eine Interpretation dieser Tatsache fällt z. T. allerdings schwer.

Die ehemaligen Braunkohlentagebaue mit ihren Restseen (4, 26, 28) weisen fast durchgehend durchschnittliche Elementkonzentrationen auf. Der Zn-Gehalt im Wasser des „Heidesees Nietleben“ (4) kann z. Z. noch nicht erklärt werden.

Die Werte der Kaolintongruben-Restseen (41, 42) und der Braunkohlensenkungsfelder (38, 39) sind mit Ausnahme der extrem hohen Mn-Gehalte am Meßpunkt 38 als normal zu bezeichnen.

Besonders augenfällig ist auch der hohe Mn-Gehalt der Ziegeleiteiche bei Planena (22). Chemische und biologische Reduktion erhöht hier offensichtlich die Wasserlöslichkeit in starkem Maße.

Die Wässer der Gruben zur Gewinnung oligozänen Formsandes (51) weisen einerseits bei Na, K, Mg, Ca und Mn die mit Abstand geringsten Gehalte auf, bei Fe zeigen sie dagegen von allen stehenden Gewässern das Maximum. Das ist offensichtlich eine Eigenschaft aller Wässer aus tertiären Sedimenten (vgl. auch 49!).

Hinsichtlich bestimmter Verunreinigungsquellen fallen einmal die Salz- und Kaliindustrie entstammenden Verunreinigungen am Meßpunkt 9 mit Extremwerten bei Na, K und insbesondere Mg auf. Extreme Mengen gelösten Eisens führt der Ferdinand Graben (49) mit seinen schwefelsauren Wässern aus einem alten Braunkohlenfeld ab.

Ein Teil der Proben wurde an Bachläufen ober- und unterhalb von Siedlungen entnommen, um deren Einfluß auf die Spurenelementführung etwas genauer abschätzen

zu können. Beim Vergleich der Meßpunkte 14 : 13, 44 : 43, 45 : 46 und 50 : 53 fällt auf, daß der Gehalt an Na und K in jedem Falle unterhalb der Siedlung, zu-, der Gehalt an Ca und Fe jedoch abnimmt. Die Größe der Zu- und Abnahme ist offensichtlich der Menge eingeleiteter Abwässer adäquat:

	kleinere Dörfer (13, 43, 46; ca. 600 Einwohner)	größere Dörfer (53; ca. 1050 Einwohner)
Na	+ 4 bis 6 ppm	+ 40 ppm
K	+ 30 bis 60 ppm	+ 540 ppm
Zn	+ 0,01 bis 0,02 ppm	+ 0,04 ppm
Ca	— 20 bis 40 ppm	— 143 ppm
Fe		— 0,2 bis 1,0 ppm

Die Zunahme ist evtl. erklärbar durch Zuführung salzhaltiger Abwässer, durch Müllauslaugungen und durch Waschmittel. Die Abnahmen sind offensichtlich auf Ausfällungen durch Enthärter und durch Phosphate der Waschmittel zurückzuführen. Indifferent verhalten sich Mg und Mn.

6. Schlußfolgerungen

Die Kombination von Flammenphotometrie und Atomabsorption mit Flammen- und flammenloser Atomisierung hat sich für die Analytik von Alkali-, Erdalkali- und ausgewählten Schwermetallen bewährt. Die Alkalielemente Natrium und Kalium, die Erdalkalielelemente Kalzium und Magnesium und die Schwermetalle Eisen, Mangan und Zink sind in allen natürlichen Gewässern ohne Voranreicherung direkt bestimmbar. Die für Blei und Kupfer erreichten Nachweisgrenzen reichen aus, um den für den Umweltanalytiker interessierenden Bereich oberhalb 0,02 mg/l ebenfalls ohne Voranreicherung quantitativ zu erfassen. Um den genauen Schwermetallgehalt an Kupfer und Blei in mit diesen Elementen gering belasteten Gewässern zu ermitteln, sind allerdings aufwendige Anreicherungsverfahren nicht zu umgehen.

Es wurde deutlich, daß die unterschiedlichen geochemischen Bedingungen der einzelnen Naturräume in starkem Maße die Elementführung sowohl der stehenden als auch der fließenden Gewässer beeinflussen. Von besonderer Bedeutung ist dabei die starke natürliche Auswaschung karbonathaltiger Sedimente an Ca und Mg und die teilweise Wiederausfällung von Ca in Kalkschlämmen. Die natürlich bedingte Fe- und Mn-Verfrachtung scheint die anthropogen bedingte weit zu übertreffen.

Der anthropogene Einfluß äußert sich besonders stark durch erhöhten Na- und K-Gehalt, speziell bei der Reide auch durch die Schwermetallzuführung (Zn!).

Die Weiterführung der experimentellen Arbeiten werden sich künftig auf die Sedimente als die natürlichen Puffersysteme für Spurenelemente konzentrieren. Die Wasseruntersuchungen werden dabei als kontinuierlich zu vermessende Zeitreihen an ausgewählten Vorflutern fortgeführt, um die mutmaßliche saisonale und Jahresdynamik in der Elementverfrachtung verfolgen zu können. Dabei müssen auch hydrometrische Untersuchungen zur Erfassung von Verfrachtungsmengen angeschlossen werden.

Insgesamt wird das weitere Verfolgen derartiger geochemischer Untersuchungen für außerordentlich zweckmäßig gehalten, da nur so Licht in den sich vor unseren Augen vollziehenden allgemein geochemischen Umbau der Landschaft gebracht werden kann.

S c h r i f t t u m

- Billwitz, K.: Methodische Probleme der Erkundung der technisch überprägten Landschaftsstruktur. *Wiss. Z. Univ. Halle* **28** (1979) M, 5, 113–123.
- Hänschen, M.: Direkte Metallbestimmung in natürlichen Wässern mit Hilfe der Atomabsorption und der Flammenemission. Diplomarbeit, Sektion Chemie der MLU Halle-Wittenberg. 1980.
- Höll, K.: Untersuchung, Beurteilung, Aufbereitung von Wasser. Verlag Walter de Gruyter u. Co., Berlin 1960.
- Leithe, W.: Umweltschutz aus der Sicht der Chemie. *Wiss. Verlagsges. mbH, Stuttgart* 1975.
- Lienig, D.: Wasserinhaltsstoffe. Akademie-Verlag, Berlin 1979.
- Massmann, H.: Vergleich von Atomabsorption und Atomfluoreszenz in der Graphitküvette. *Spectrochim. Acta, Pergamon Press, London–New York* **23** (1968) 215–226.
- Moenke, H., und C. J. Nötzold: Analytik für den Umweltschutz. *Akad. Verlagsges. Geest u. Portig KG, Leipzig* 1977.
- Schwarze, Ch.: Abwasserschäden im Gebiet Halle–Merseburg. Diplomarbeit, Sektion Geographie der MLU Halle-Wittenberg 1972.
- Steffen, J.: Studien zur Naturraumgliederung der Umgebung von Halle. Diplomarbeit, Sektion Geographie der MLU Halle-Wittenberg 1971.
- Sullivan, J. V., and A. Walsh: The application of resonance lamps as monochromatoss in atomic absorption spectroscopy. *Spectrochim. Acta, Pergamon Press, London–New York* **22** (1966) 1843–1852.
- Walsh, A.: The application of atomic absorption spectra to chemical analysis. *Spectrochim. Acta, Pergamon Press, London – New York* **7** (1955) 108–117.
- Wasserschadstoffkatalog. Hrsg. Inst. f. Wasserwirtschaft, Berlin 1975.
- Welz, B.: Atom-Absorptions-Spektroskopie. Verlag Chemie GmbH, Weinheim/Bergstraße 1972.

Dr. sc. K. Billwitz
Sektion Geographie
der Martin-Luther-Universität
DDR - 4020 H a l l e (Saale)
Domstraße 5

Dr. rer. nat. Chr. Udelnow
Dipl.-Chem. M. Hänschen
Sektion Chemie
der Martin-Luther-Universität
DDR - 4020 H a l l e (Saale)
Weinbergweg 16