

## Bemerkungen zur Festlegung und Verwendung von Schadstoff-Grenzwerten für Böden und Grundwasser in alpinen Ökosystemen

Von HERBERT R. PIRKL\*)

Mit 4 Abbildungen und 4 Tabellen

*Alpine Ökosysteme  
Waldböden  
Bodendegradation  
Schwermetalle  
Aluminium  
Trinkwasserqualität  
Grenzwertregelungen  
Westliche Grauwackenzone  
Geoökologie*

Österreichische Karte 1 : 50.000  
Blätter 120, 121, 122, 123

### Inhalt

Zusammenfassung .....	111
Abstract .....	111
1. Problemansprache .....	111
2. Beispiele für Spannweiten natürlicher Elementangebote – Konstanz und Varianz .....	113
2.1. Varianz natürlicher Schwermetallgehalte in Böden .....	113
2.2. Varianz des Chemismus von Quellen und Gerinnen .....	114
3. Schlüsse aus der Tendenz der Entwicklung alpiner Ökosysteme .....	116
4. Problembehandlung aus ökosystemarer Sicht .....	118
Literatur .....	119

### Zusammenfassung

Schadstoffgrenzwerte für Böden und Wässer wurden bisher in der Hauptsache an Situationen intensiv landwirtschaftlich genutzter Gebiete (Alpenvorland, inneralpine Becken) ausgearbeitet und verordnet.

Die derzeit geltenden Regelungen für Klärschlammverwertung und Trinkwasserqualität sind für die alpine Täler in ihrer Anwendbarkeit stark in Frage zu stellen. An Hand von Datenmaterial aus Forschungsprojekten der Geologischen Bundesanstalt in der westlichen Grauwackenzone wird dieser Problembereich näher diskutiert.

Bei fortschreitender Wald- und Waldbodendegradation ist mit großflächigen quantitativen und qualitativen Wasserhaushaltsänderung zu rechnen, für die einerseits häufigere Hochwasserspitzen und andererseits Versauerung von Grund- und Oberflächenwässern mit gleichzeitig erhöhtem Austrag von Schwermetallen, Aluminium und Nitrat aus Waldgebieten Ausdruck sein werden.

Die Antwort darauf können nicht neue Grenzwertdiskussionen sein, sondern intensivierete Ökosystemforschung und daraus abgeleitete, integrierte und rasch gesetzte Maßnahmen.

### Abstract

Research projects of the Geological Survey of Austria deal with the problems of sludge utilization and drinking water quality in the Western Grauwackenzone.

The progressive degradation of forests and forest soil causes widespread quantitative and qualitative changes in the water balance; the consequences are frequent high water peaks, ground and surface waters becoming acid, increased contents of heavy metals, aluminium and nitrate from forest areas.

The appropriate answer to this is an intensified research on ecosystems and following measures taken rapidly.

### 1. Problemansprache

Immer öfter ist nicht nur in journalistischen, sondern auch in wissenschaftlichen Publikationen im Zusammenhang mit Schwermetallverteilungen in Böden oder Schadstoffen im Trinkwasser die Verwendung bestimmter Begriffe zu beobachten wie

- „hoch ... niedrig belastet“
- „zu erwartende Werte“
- „Normalbereich“
- „herausfallende Werte/Ausreißer“

Meist werden diese Begriffe nicht definierten Bezugsebenen zugeordnet, sondern entweder nach subjektivem Gefühl (je nach Ziel der Aussage) verwendet oder aus dem Wissensstand des eigenen Arbeitsbereiches abgeleitet. Ersteres ist abzulehnen, zweiteres – auch im wissenschaftlichen Bereich sehr weit verbreitet.

\*) Anschrift des Verfassers: Dr. HERBERT R. PIRKL, Geologische Bundesanstalt, Rasumofskygasse 23, A-1030 Wien.

tet – kann häufig zu irrtümlichen Schlüssen führen. Wenn Bezugsebenen verwendet werden, werden bei Grenzwertdiskussionen derzeit noch immer nur jeweils einzelne Stoffe oder Elemente betrachtet, kaum Stoffgruppen und deren Wechselwirkungen. Darüberhinaus wird von reduziert wissenschaftlichen Erwartungshaltungen mit Zonenbildungen ausgegangen, die sich beim Untergrundangebot z. B. in der einfachen Zuordnung Kristallin/Kalkalpin oder dem Begriff „Reinluftzonen“ in Bezug auf die Immissionssituation äußert. Diese reduktionistischen, linear-kausalen Denkmodelle müssen zwangsläufig zu falschen Interpretationen führen, sowohl hinsichtlich der Beurteilung des Ist-Zustandes, wie der Auswirkungen von anthropogenen Eingriffen und Maßnahmen.

Insbesondere trifft dies zu für die äußerst komplexen, kleinräumig verschiedenartigen Ökosysteme in unseren Alpentälern, worauf sich dieser Aufsatz in der Hauptsache bezieht.

Grenzwertdiskussionen und -regelungen wurden bisher in der Hauptsache für Böden aus den landwirtschaftlichen Intensivgebieten des Alpenvorlandes oder der breiten Alpentäler mit tertiär-quartärem Untergrund und für Grundwässer aus den großflächigen Porengrundwasservorkommen der pleistozänen und rezenten Schotterfluren entlang der großen Flüsse abgeleitet. Die geologischen Vorgänge der starken sedimentologischen Aufbereitung und der weiten Transporte führten jedoch für die tonig-schluffig-sandigen Sedimente des Tertiär und die ausgedehnten pleistozänen Schotterkörper zu einer großflächigen Vereinheitlichung der mineralogischen und geochemischen Zusammensetzung, insbesondere zu niedrigen Gehalten mobilerer Schwermetalle. „Schadstoffe“ wurden und werden in diesen Gebieten (Alpenvorland, inneralpine Becken) daher praktisch zur Gänze extern durch menschliche Eingriffe eingebracht (Immissionen, Agrochemikalien, Abwässer), aus dem primären System können keine „Schadstoffe“ in die Kreisläufe freigegeben werden.

Gänzlich davon verschieden verhält sich die Situation in den Alpentälern. Einem kleinräumig bunten geologischen Aufbau überlagert sich eine intensive, ebenso kleinräumige landschaftskulturelle Nutzungsentwicklung mit lang- und kurzfristigen dynamischen Prozessen (z. B. großflächige Rodungen, mittelalterliche und neuzeitliche Almwirtschaft, Abwanderungstendenzen, Brachfallen großer Flächen, Nutzwaldwirtschaft, Fremdenverkehrsboom) sowie mit Immissionsvorgängen (Fern- und Nah-), deren Auswirkungen durch die jeweiligen Kleinklimate unterschiedlich gesteuert werden.

Ohne menschliche Eingriffe lassen sich darüberhinaus sehr unterschiedliche Angebotssituationen von Makro- und Mikronährstoffen sowie toxischen Elementen in den primären Bodenkreisläufen postulieren. Dies gilt auch für die Verteilungen der natürlichen (und in den letzten Jahren technologischen) Radioaktivität im Boden-Vegetationskomplex.

Aus dieser natürlichen und auch menschlich bewirkten Vielfalt resultiert eine komplexe Problemvielfalt. Daraus soll nur ein Ausschnitt herausgegriffen werden.

Funktionsfähigkeit und Stabilität von Waldboden und Wald bedingen einander. Der Boden-Vegetationskom-

plex in Wald- und Almbereich steuert wiederum den Wasserhaushalt einerseits in seiner Quantität → Quellschüttung, Hochwasserabfluß, andererseits in seiner Qualität → Trinkwasserqualität, „Schadstoffbelastung“ (Schutz- und Wohlfahrtsfunktion des Waldes)

Die verschiedenen anthropogenen Eingriffe wie z. B.

- Emission-Immission
- Waldbauliche Fehler
- Bodenverdichtung und Geländeingriffe (Skipisten)
- Dichtes Güterwegenetz
- Waldweide
- Überhöhter Wildbestand
- Hangdestabilisierungen durch technische Eingriffe
- Fehlende Landschaftspflege

stellen die Stabilität des Boden-Vegetationskomplexes in Frage und bedingen in der nahen Zukunft zu erwartende radikale Änderungen im qualitativen und quantitativen Wasserhaushalt. Besonders herausgestrichen wird dieser Problemkomplex auf Grund folgender Tatsachen:

- Steigender Gefährdungsgrad durch Muren und Hochwässer für die Siedlungen infolge weiterer Bebauungsverdichtung in der „roten Zone“ (Gefahrenzonenplan).
- Steigendes Ausbringen von Gülle und Klärschlamm infolge Intensivierung der Alpbewirtschaftung.
- Steigende Schwermetallbelastung infolge Ausbringens von Müllkompost zur Pistenbegrünung.
- Steigender Trinkwasserbedarf in Fremdenverkehrs-orten durch Steigerung der Qualitätsausstattung der Beherbergungsbetriebe.
- Steigender Nutzwasserbedarf durch Einsatz von „Schneekanonen“ (einschließlich dem Problem der chemischen Schneepräparierung).
- Bestehender Widerstand gegen Wald-/Weide-Trennungsmaßnahmen.
- Bestehender Widerstand gegen entsprechende Schälwildzahlreduzierung.
- Geplante großflächige Düngungsmaßnahmen in Wäldern, basierend auf zu einfachen Modellvorstellungen ohne Berücksichtigung der kleinräumigen Vielfalt.

Der flächenhafte qualitative Aspekt des Wasserhaushaltes in den Alpentälern wurde bisher praktisch ignoriert (abgesehen von Aufbereitungshinweisen bei höheren Fe- und CO<sub>2</sub>-Gehalten). Prinzipiell wurden geschlossen bewaldete Gebiete als ausreichender und positiver Quellschutz betrachtet. Diese vorgegebene Meinung wird in Zukunft stark in Frage zu stellen sein! Eine besondere Gewichtung erhält dies aus der Tatsache, daß in den meisten alpinen Gemeinden stark diversifizierte (Einzel-, Gruppen-, Gemeinde-) Trinkwasserversorgungssysteme bestehen, die überwiegend auf Quellwassernutzung (aus Waldgebieten) beruhen.

An Hand von Daten aus dem Bereich Westliche Grauwackenzone (Boden-, Wasseranalysen), die im Rahmen verschiedener Projekte der Geologischen Bundesanstalt erhoben wurden, wird versucht, die oben angeführten Problemkreise an Beispielen näher zu diskutieren.

## 2. Beispiele für Spannweiten natürlicher Elementangebote – Konstanz und Varianz

### 2.1. Varianz natürlicher Schwermetallgehalte in Böden

Alle Aussagen in diesem Kapitel beziehen sich auf Gesamtgehalte von Schwermetallen im Unterboden. Die Daten stammen dabei von Bodenanalysen im Zuge von Rohstoffforschungsprojekten der Geologischen Bundesanstalt, wobei aus der Lage der Probepunkte, der Situierung der Probenentnahme (nahe dem Übergang zum C-Horizont) und der Korrelation mit dem jeweiligen Gesteinsuntergrund geschlossen werden kann, daß es sich überwiegend (oder praktisch ausschließlich) um die Abbildung des „natürlichen Angebotes“ handelt.

Darüberhinaus wurden zur Verdeutlichung der diskutierten Problematik aus mehreren tausend Probepunkten nur solche aus überwiegend bewaldeten Hangbereichen ausgewählt, unter Ausschluß der landwirtschaftlich beeinflussten Talgrundböden.

Hingewiesen muß freilich darauf werden, daß Extremwerte einzelner Elemente immer auch Mineralisationen zugeordnet werden können. Da jedoch Mineralisationen in den ostalpinen geologischen Serien als äußerst weit verbreitetes Phänomen anzusehen sind (im Gegensatz zu den mineralisationsarmen West- und Südalpen), sind diese häufig Teil des „natürlichen Background“-Systems.

Bei den Vergleichen wird auf die gebräuchlichen Grenzwerte bei der landwirtschaftlichen Nutzung von Klärschlämmen als Bezugsebene – in Ermangelung einer besseren – zurückgegriffen.

Schlaglichtartig beleuchten können die Problematik jeweilige Maximalwerte, die bisher bei obigen Randbedingungen gefunden wurden (s. Tab. 1).

Tabelle 1. Vergleich erhobener Maximalwerte von Schwermetallgehalten (Unterboden, Gesamtgehalte).

Element	Gebräuchliche Klärschlammgrenzwerte [ppm]	Bisher gefundene Maximalwerte [ppm]	Rechnerische Überschreitung
Co	50	182	3,6-fach
Cr	100	590	5,9-fach
Cu	100	1996	19,6-fach
Ni	50	230	4,6-fach
Pb	100	1710	17,1-fach
Zn	300	3700	12,3-fach

Allein diese Liste führt die bisherigen Grenzwertdiskussionen ad absurdum. Nicht in dem Sinne, daß der Schluß daraus gezogen werden kann, die Natur könne solche Extremwerte spielend verkraften, sondern, daß der Ansatz, Einzelwerte zu betrachten, zu eindimensional ist und zu falschen Aussagen verführt.

Andererseits besteht die Tatsache, daß sich die Vegetation im Laufe der jahrtausendjährigen Entwicklung der ostalpinen Waldökosysteme darauf eingestellt hat, mit einem solchen Angebot zu leben. Daraus abgeleitet stellt sich die Frage nach der Grenzziehung zwischen

Mikronährstoffwirkung und Toxizität für ein und dasselbe Element; dies auch unter dem Aspekt, daß das pflanzenverfügbare Mengenangebot im Laufe der Entwicklungsgeschichte seit der letzten Eiszeit durch Klimaschwankungen mehrmals variiert haben wird.

Die regionalen Bodenzustandsaufnahmen der letzten Jahre – Vorarlberg 1986 und Tirol 1988 – nehmen in Probenahme und Analytik bereits weitgehend auf ökologische Zusammenhänge Rücksicht. Infolge des weitmaschigen Rasters außerhalb der intensiv genutzten Talböden (4,4 × 4,4 km in Tirol, 4 × 4 km in Vorarlberg) muß jedoch auf Grund der Erfahrungen aus geologisch-geochemischen Aufnahmen gewarnt werden, mit diesen Rasterdaten großflächige oder zonal zugeordnete Interpolationen und damit vorgegebene Interpretationen von „typischen Erwartungswerten“ vorzunehmen.

Bei den begleitenden Bodenuntersuchungen zur „Forschungsinitiative Waldsterben“ wird ein anderer Weg beschritten, indem aus Boden- und Bodenvegetationskartierungen für typische Bodenformen detaillierte Profilanalysen ausgeführt werden, aus denen dann auf die zonalen Basiswerte geschlossen wird. Auch dabei ergaben sich bereits Fehlschlüsse, die aus den jeweiligen Berichten herausgelesen werden können (z. B. BLUM et al., 1986; HORAK & ZVACEK, 1987). Einzelne Bodenprofile im „kalkalpinen Untersuchungsgebiet“ Flatz bei Neunkirchen liegen wahrscheinlich in den permoskythischen Basisserien und damit auf eher silikatischem Untergrund; die auffallend hohen Ni-Werte im Untersuchungsgebiet Reichraminger Hintergebirge dürfen wiederum kleinräumig verbreiteten Gesteinstypen (? Gosauserien) zuzuordnen sein. Diese „Zufälle“ könnten durch eine besser koordinierte interdisziplinäre Probenpunktauswahl vermieden werden!

An Hand von zwei Beispielen kann auch auf die Problematik von Rasterpunktdaten näher eingegangen werden.

In den Hängen nördlich der Ortschaft Walchen im Oberpinzgau wurden 126 Proben im Unterboden in Rasteranordnung von 250-250 m entnommen und auf Gesamtgehalte von Schwermetallen analysiert. Der Probenahmebereich repräsentiert dabei eine Fläche von 6,4 km<sup>2</sup> (s. Tab. 2). Analysiert wurden sowohl die abgesiebten Korngrößen <0,18 mm als auch die >0,18 mm. Die Ergebnisse der Korngrößen <0,18 mm repräsentieren dabei die feinsandig-schluffig-tonigen Anteile und damit das bereits stark in den Verwitterungs- und chemisch-physikalischen Umsetzungskreislauf einbezogene ehemalige Gesteinsangebot. In der Fraktion >0,18 mm (Grobsand und größer) sind noch Mineral- und Gesteinsbruchstücke zu erwarten, die das eigentliche, noch nachlieferbare Elementangebot beinhalten.

Als wichtigste Ergebnisse sind daraus festzuhalten:

- Bei allen analysierten Elementen ist eine große Spannweite festzustellen.
- In der Fraktion <0,18 mm werden bei allen Elementen, ausgenommen Zink, die Klärschlammgrenzwerte überschritten; für Ni in 15,2 % der Probenanzahl.
- In der Fraktion >0,18 mm ist ein ähnliches Bild zu finden, bei Cu und Zn treten jedoch einzelne Extremwerte dazu, verursacht wahrscheinlich durch unverwitterte Gesteinsbruchstücke mit Sulfiden.

Als zusätzliche Parameter können die jeweils gemessenen pH-Werte (0,01 m CaCl<sub>2</sub>) herangezogen werden. Bei einer Spannweite von 3,6 bis 6,3 liegt der Mittelwert bei 4,2. Die breite Verteilung läßt sich zum Teil

Tabelle 2.

Vergleich von Schwermetallverteilungen (Unterboden, Gesamtgehalte) aus dem Bereich Walchen N (Oberpinzgau). Probenanzahl = 126.

Elemente	Gebräuchliche Klärschlammgrenzwerte [ppm]	Erhobene Spannweiten Korngröße <0,18 mm Unterboden [ppm]	Rechnerische Überschreitung [% der Probenanzahl]	Erhobene Spannweiten Korngröße >0,18 mm Unterboden [ppm]	Rechnerische Überschreitung [% der Probenanzahl]
Co	50	6 – 61	2,4	3 – 57	0,8
Cr	100	8 – 590	8	< 1 – 422	5,6
Cu	100	6 – 430	3,2	3 – 1996	2,4
Ni	50	8 – 150	15,2	8 – 142	12,8
Pb	100	8 – 105	1,6	11 – 128	0,8
Zn	300	19 – 115	—	26 – 1578	0,8

schon aus dem Untergrundaufbau ableiten – eine Wechsellagerung von leicht metamorphen Sandsteinen, Tonschiefern, Quarziten und Metavulkaniten. Somit wechseln auch kleinräumig (im Zehner-Meter-Bereich) primär saure Böden mit Böden höherer Basensättigung (aus der Verwitterung der basischen Meta-Vulkanite).

Bei gleicher Rasteranordnung (250-250 m) und 355 Probenpunkten, die etwa 28 km<sup>2</sup> Fläche repräsentieren, sowie vergleichbarer Geologie im Bereich Wildschönau – Alpbach wurden Elementverteilungen beobachtet, die in Tab. 3 dargestellt sind.

Tabelle 3.

Schwermetallverteilungen (Unterboden, Gesamtgehalte) aus dem Bereich Wildschönau – Alpbach. Probenanzahl = 355.

Element	Gebräuchliche Klärschlammgrenzwerte [ppm]	Erhobene Spannweiten, Fraktion <0,18 mm [ppm]	Rechnerische Überschreitung [% der Probenanzahl]
Cu	100	<2 – 114	0,8
Ni	50	<2 – 230	6,7
Pb	100	2 – 1710	14,6
Zn	300	2 – 600	3,1

Die höheren Bleigehalte aus dem natürlichen Angebot, die auch in der Bodenzustandsaufnahme Tirols für die Bezirke Wörgl und Kitzbühel postuliert wurden, finden damit eine breitere Bestätigung. Im Bereich östlich Oberau wurde auch der bisher höchste Wert für Pb mit 1710 ppm außerhalb von durch Bergbau direkt beeinflussten Gebieten gemessen.

Das zweite Beispiel beleuchtet die Situation für einen noch kleineren Raum. Auf einer Fläche von ca. 0,45 km<sup>2</sup> nördlich Piesendorf im Oberpinzgau wurden im Raster von 100 × 100 m 63 Punkte beprobt (s. Tab. 4).

Tabelle 4.

Vergleich von Schwermetallverteilungen (Unterboden, Gesamtgehalte) aus dem Bereich Piesendorf N (Oberpinzgau). Probenanzahl = 63.

Elemente	Gebräuchliche Klärschlammgrenzwerte [ppm]	Erhobene Spannweiten Korngröße <0,18 mm Unterboden [ppm]	Rechnerische Überschreitung [% der Probenanzahl]	Erhobene Spannweiten Korngröße >0,18 mm Unterboden [ppm]	Rechnerische Überschreitung [% der Probenanzahl]
Co	50	9 – 65	1,6	13 – 51	1,6
Cr	100	12 – 32	—	1 – 19	—
Cu	100	8 – 1970	27	10 – 1919	19
Ni	50	6 – 54	1,6	16 – 60	3,2
Pb	100	23 – 131	1,6	< 1 – 30	—
Zn	300	48 – 106	—	11 – 74	—

Daraus läßt sich ableiten:

- Auch auf der kleinen Fläche sind ähnlich große Spannweiten der Elementverteilungen abzulesen wie auf größeren Flächen mit weiteren Rastern.
- Cu überschreitet mit über ¼ der Probenanzahl den Klärschlammgrenzwert (Fraktion <0,18 mm).
- Die Cr-, Pb- und Zn-Verteilungen in der Fraktion >0,18 mm weisen darauf hin, daß das nachlieferbare Angebot zum Großteil aufgebraucht erscheint.
- Cu ist auch in der Grobfraktion (>0,18 mm) noch mit Extremwerten vertreten.

Wie im ersten Beispiel wurde auch auf der relativ kleinen Fläche N Piesendorf eine große Varianz bei den pH-Werten festgestellt. Diese liegen zwischen 3,4 und 6,5 mit einem Mittelwert bei 4,3. Auf dem geschlossenen bewaldeten Hang dürften dabei wahrscheinlich weniger die Standortunterschiede als wiederum die Wechsellagerung unterschiedlicher Gesteinstypen ausschlaggebend dafür sein.

Die jahrzehntelange Erfahrung der Forsttechniker über die Kleinräumigkeit der Artenzusammensetzung und die Reaktionsfähigkeit der Wald-Bodenvegetation als Ausdruck unterschiedlicher Bodenparameter (Feuchtigkeit, Dichte, Durchlüftung, Stickstoffhaushalt) wird mit den obigen Aussagen durch den Geowissenschaftler zum Teil damit nachvollzogen.

Dies führt wiederum zur Feststellung zurück, wie stark Geo- und Biokreisläufe verbunden sind und deshalb keine Schlüsse nur auf der Basis der oben angeführten Elementverteilungen allein zulässig sind.

## 2.2. Varianz des Chemismus von Quellen und Gerinnen

Aus geowissenschaftlicher Sicht erscheint die Grenzwertdiskussion beim Medium Wasser/Grundwasser ebenso problematisch wie bei den Böden. Insbesondere

re gilt diese Aussage wiederum für die zentralalpinen Bereiche mit überwiegend Quellwasserversorgung aus Kluftwasserkörpern. Erschwerend kommt dabei hinzu, daß bisher kaum flächenhaft hydrogeologisch-hydrochemische Studien an diesen meist kleinräumigen Grundwassereinzugsgebieten angesetzt wurden. Mit umso größerer Erwartungshaltung wird daher häufig mit zonalen Globalaussagen (wie „Kristallinwässer“) ohne echte Datenbasis über diese Wissenslücke hingewargumentiert.

Als Nebenprodukt einer laufenden Studie über den Zusammenhang Wasserhaushalt/Massenbewegungen (PIRKL, 1989) liegen von mehreren tausend Meßpunkten (1988/89) an Quellen und Kleingewässern im Glemmtal (Saalbach – Hinterglemm) hydrochemisch-hydrophysikalische Basiswerte vor. Trotz der relativen geologischen Eintönigkeit des etwa 180 km<sup>2</sup> großen Einzugsgebiets der oberen Saalach ist die Varianz der Meßwerte erstaunlich.

Während der beiden bisherigen Aufnahmekampagnen 1988 und 1989 wurden für pH Spannweiten von 4,7–8,8 und für Leitfähigkeit Spannweiten von 10–320 µS beobachtet. Dabei waren auch topographische Effekte (Höhenabhängigkeit) und der Einfluß von einzelnen Niederschlagsereignissen direkt abgrenzbar.

An den Meßwerten von etwa 170 Punkten, die innerhalb einer Woche im September 1989 bei gleichbleibender Wetterlage beprobt wurden, ist dies deutlicher darzustellen (s. Abb. 1, 2).

Ausgenommen kurze Zeit nach einem heftigen Gewitterregen wurden im September 1989 an Quellen und

Kleingerinnen keine sauren pH-Werte <6 gemessen. Obwohl subjektiv das Gefühl von häufigen Regenfällen bestand, ist nach Quellschüttungskontrollen der Herbst 1989 infolge der hohen Verdunstungsraten bei eher kurzem und wenig ausgiebigem Regen praktisch durch Trockenwetterabfluß charakterisiert. Dadurch spiegelt sich in den pH-Werten der Wasser (s. Abb. 1) die Gesteinsverteilung wieder – die Verteilungen im basischen Bereich aus den Gebieten mit Wechsellagerung Sandsteine/Tonschiefer/Metavulkanite, die Verteilungen im eher neutralen Bereich aus Gebieten mit eintönigen Sandstein-Tonschieferfolgen. Parallel dazu und im Großen gut korreliert sind damit auch die Verteilungen der Leitfähigkeit (s. Abb. 2). Die hohe Spannweite von Bereich 3 (Exenbach) dürfte zusätzlich durch anthropogene Störungen mitverursacht worden sein. Sonst sind – in diesem Fall erwartungsgemäß – höhere Leitfähigkeiten und damit höhere Mineralisierungsraten den Verbreitungsgebieten der Metavulkanite zuzuordnen. Durchaus dieser Varianz im Großen vergleichbar, sind sehr unterschiedliche Verteilungsmuster auch im Kleinen zu beobachten (s. Abb. 3).

Allein schon aus pH-Wert-Verteilungen lassen sich Unterschiede in der Hydrochemie von Ober- und Unterhangbereichen deutlich nachweisen. Dabei beruhen diese Unterschiede nicht nur auf Höheneffekten, sondern sind auch durch die jeweilige hydrogeologische Situation bedingt, die sich aus der Verteilung von tiefgreifenden Massenbewegungen und Auflockerungen und damit wechselndem tiefgründigem oder oberflächennahem Abfluß ableitet. Boxplot 1 und 5 (Abb. 3)

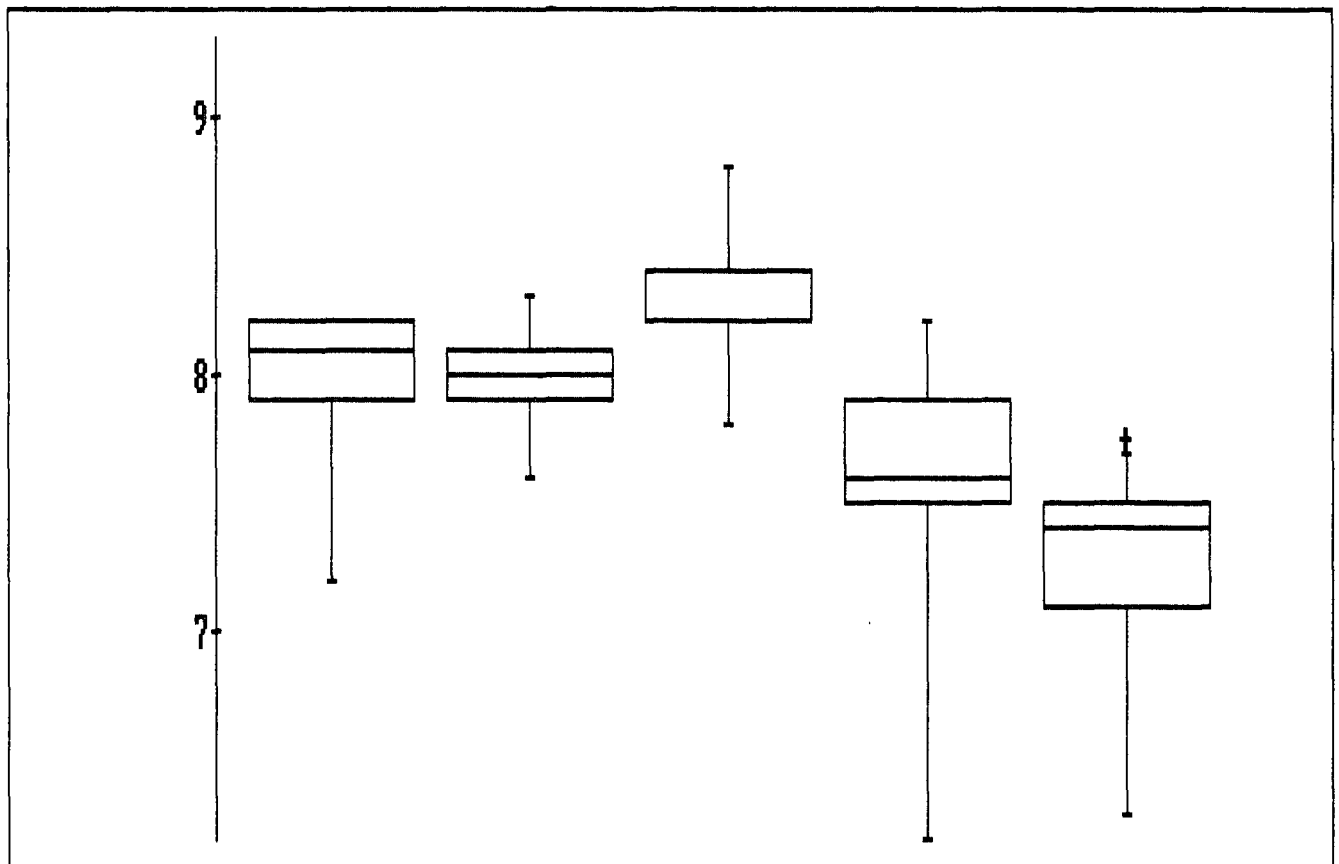


Abb. 1. pH-Wert-Verteilungen an Quellen und Kleingerinnen im Glemmtal (September 1989).  
 1 = Bereich östlich und südlich von Viehofen; 2 = Bereich Kreuzerlehengraben; 3 = Bereich Exenbachgraben; 4 = Bereich Schusterbauerngraben/Marxengraben (Hinter-Löhnersbach); 5 = Bereich Sportalm (N Hinterglemm).

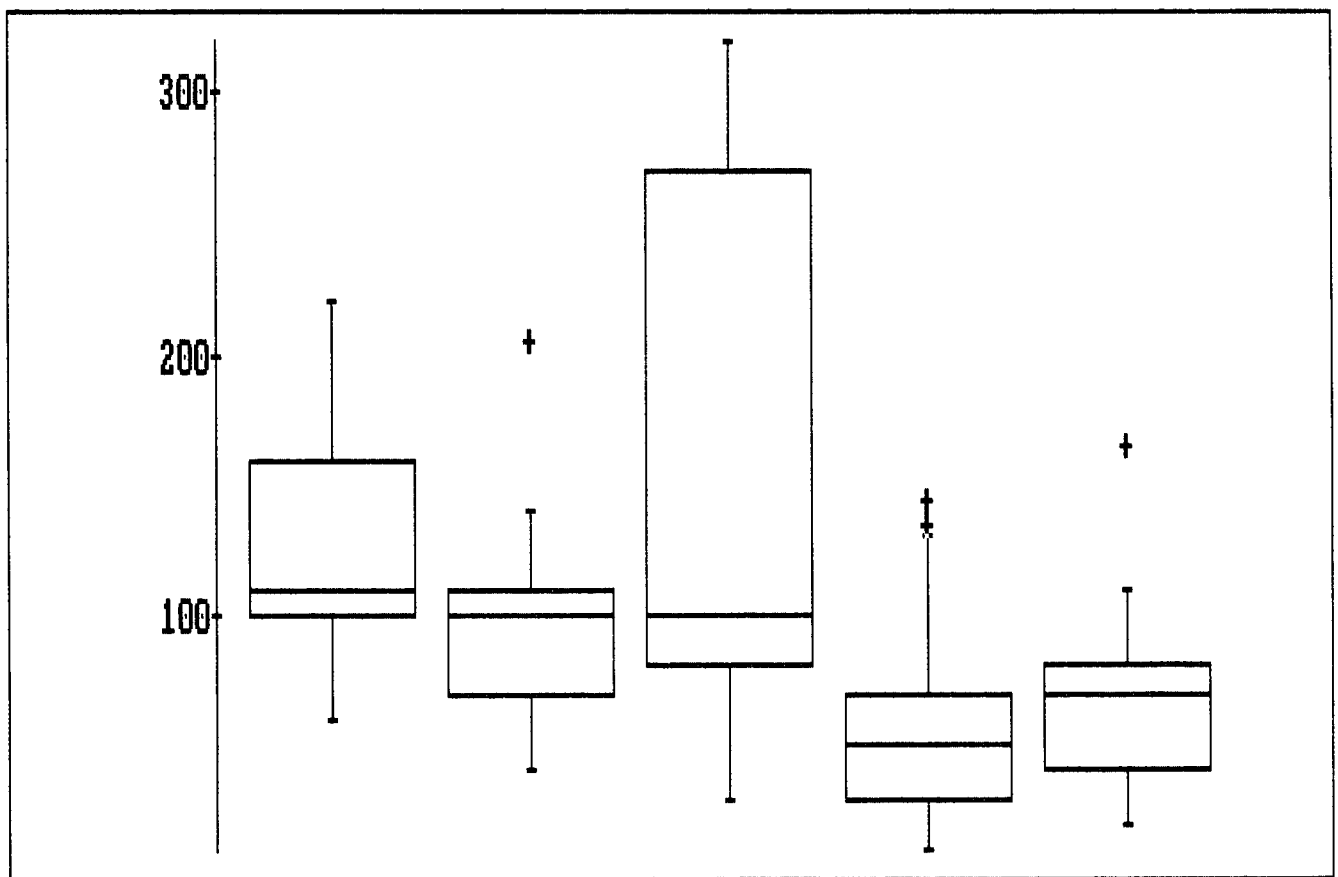


Abb. 2.

Leitfähigkeit an Quellen und Kleingerinnen im Glemmtal (September 1989).

1 = Bereich östlich und südlich von Viehofen; 2 = Bereich Kreuzerlehengraben; 3 = Bereich Exenbachgraben; 4 = Bereich Schusterbauerngraben/Marxengraben (Hinter-Löhnersbach); 5 = Bereich Sportalm (N Hinterglemm).

beziehen sich auf den selben Bereich, nämlich den Unterhang des Schusterbauerngrabens, repräsentieren jedoch unterschiedliche Meßzeiten (September 1989/September 1988). Die Varianz ergibt sich aus der Zuordnung zu unterschiedlichen hydrologischen Situationen – hoher Abfluß im September 1988, eher niedriger Abfluß im September 1989.

Im Datenfeld, das für den Boxplot 6 (Abb. 3) ausgewählt wurde, ist ein größerer Hangbereich nördlich Hinterglemm ohne Rücksicht auf den geologischen Untergrund zusammengefaßt. Die hohe Spannweite der pH-werte erklärt sich daraus, daß sich in dem betreffenden Bereich eintönige Sandstein-Tonschiefer-Folgen und mächtigere Metavulkanit-Serien abwechseln, die hier hydrochemisch zusammengefaßt wurden – wieder ein Hinweis, daß Einzelmeßwerte ohne entsprechende Verknüpfungen und Gruppierungen nur wenig, mißverständliche oder nicht interpretierbare Aussagekraft besitzen.

Die hydrochemisch-hydrophysikalischen Untersuchungen im Glemmtal sind nicht Selbstzweck, sondern dienen als Indikatoren mit diversen Hinweisfunktionen zur Feingliederung des Wasserhaushalts in durch Massenbewegungen beeinflussten Hängen. Dabei lassen auch einige Parameter und Parametergruppen Rückschlüsse zu auf den Zustand des Bodenvegetationskomplexes. So sind die Quantitäten des Nitrat- und Aluminiumaustrages aus den Böden ins Grundwasser Hinweise auf Versauerungsvorgänge im Boden als Folge der Immissionsbelastungen. Umfangreiche Studien in Deutschland (ELLENBERG et al., 1986; BENECKE, 1987;

BRECHTEL, 1989) diskutieren nicht mehr das Vorhandensein solcher Vorgänge, sondern wie weit diese Phänomene Auswirkungen bereits auf den tieferen Untergrund hervorgerufen haben.

Wasservollanalysen an Quellen im Glemmtal belegen laufende Änderungen im Kationenaustauschverhalten der Böden und/oder des tieferen Untergrundes, wobei mit den deutlichsten hydrochemischen Veränderungen Aluminiumaustrag ins Grundwasser direkt korreliert auftritt.

In der Gesamtverteilung von Al in Wässern von 46 Probenpunkten (Abb. 4, Boxplot 5) liegt der Schwerpunkt zwischen 1 und 50 ppb. Neben der großen Spannweite sind Werte bis 1500 ppb jedoch im Teilbereich Schusterbauern-/Marxengraben auffällig. Diese Werte sind in Beziehung zu setzen mit den einschlägigen Trinkwassernormen. In den deutschen und österreichischen Regelungen für Trinkwasser wurden 200 ppb Al als Höchstwerte angesetzt, die EG-Norm nennt 50 ppb als Richtzahl. Bei der Annahme des Grenzwertes von 200 liegen 7 Punkte von 46 darüber, bei 50 als Grenzwert sogar 14 Probenpunkte.

### 3. Schlüsse aus der Tendenz der Entwicklung alpiner Ökosysteme

Um die bisherigen Aussagen, die eigentlich nur Hinweischarakter aus der Fülle der bereits vorhandenen Beobachtungen und Daten besitzen, gewichten zu kön-

nen, müssen sie in den großen Rahmen der Entwicklung der Ökosysteme in den Alpentälern eingeordnet werden.

Dabei stellt sich sofort die Frage, ob die Tendenz (Richtung und Geschwindigkeit) der Entwicklung belegbar abschätzbar ist – dies wird ja immer noch bestritten.

Zur Klärung dieser Frage gibt es

a) Deutliche Hinweise und Zusammenhänge:

- Der hohe (und weiter steigende) Flächenverbrauch und Flächenzugriff durch Fremdenverkehrseinrichtungen und Aufschließungswege und die jeweiligen Auswirkungen im Nahbereich.
- Flächendeckende (und auch in den nächsten Jahren kaum zu vermindernde) Schadstoffimmissionen ausgehend von Nah- und Fernemittenten.
- Waldbauliche Fehler (Monostrukturen, vernachlässigte Schutzwaldpflege).
- Verhinderung der natürlichen Waldverjüngung durch großflächigen Schalwildüberbestand und Waldweide.
- Flächenhafte Bodenverdichtung im subalpinen Alpbereich (Skipisten, Überbestockung von Almen mit schweren Tieren).
- Komplexe, aber verbreitete Schadbilder an den alpinen Wäldern.

b) Weniger deutliche Hinweise:

- Verarbeitet stärkeres Auftreten von Erosionserscheinungen auch außerhalb von Bereichen mit Wintersporteinrichtungen.
- Probleme bei der Hochlagenaufforstung.
- Widersprüche bei der Nachrechnung von Hochwasserereignissen (Erfahrungswerte und Berechnungsparameter stimmen nicht mehr).
- Bereits seit langem beruhigte Hangbewegungen werden wieder instabil.

Bei aufmerksamer Beobachtung all dieser Erscheinungen und Faktoren im Gelände und bei ihrer Verknüpfung ist der Schluß klar: Die Tendenz ist eindeutig negativ bei sich beschleunigender Dynamik!

Die in ihrer inneren Anlage eigentlich trendfreien Ökosysteme sind zum Teil nicht mehr in der Lage infolge der massiven und andauernden – nicht systemkonformen – Eingriffe des Menschen, in ihren stabilen Zustand zurückzuschwingen; ihre Elastizität ist in vielen Fällen verbraucht. Durch diese verbrauchte Pufferfähigkeit stellen sich immer mehr positive Rückkoppelungen ein (Aufschaukelungsprozesse).

Besonders kritisch wird dies, wenn beim zentralen Punkt der alpinen Ökosysteme – dem Boden, der Schnittstelle zwischen Bio- und Geokreisläufen – großflächige Degradationserscheinungen auftreten.

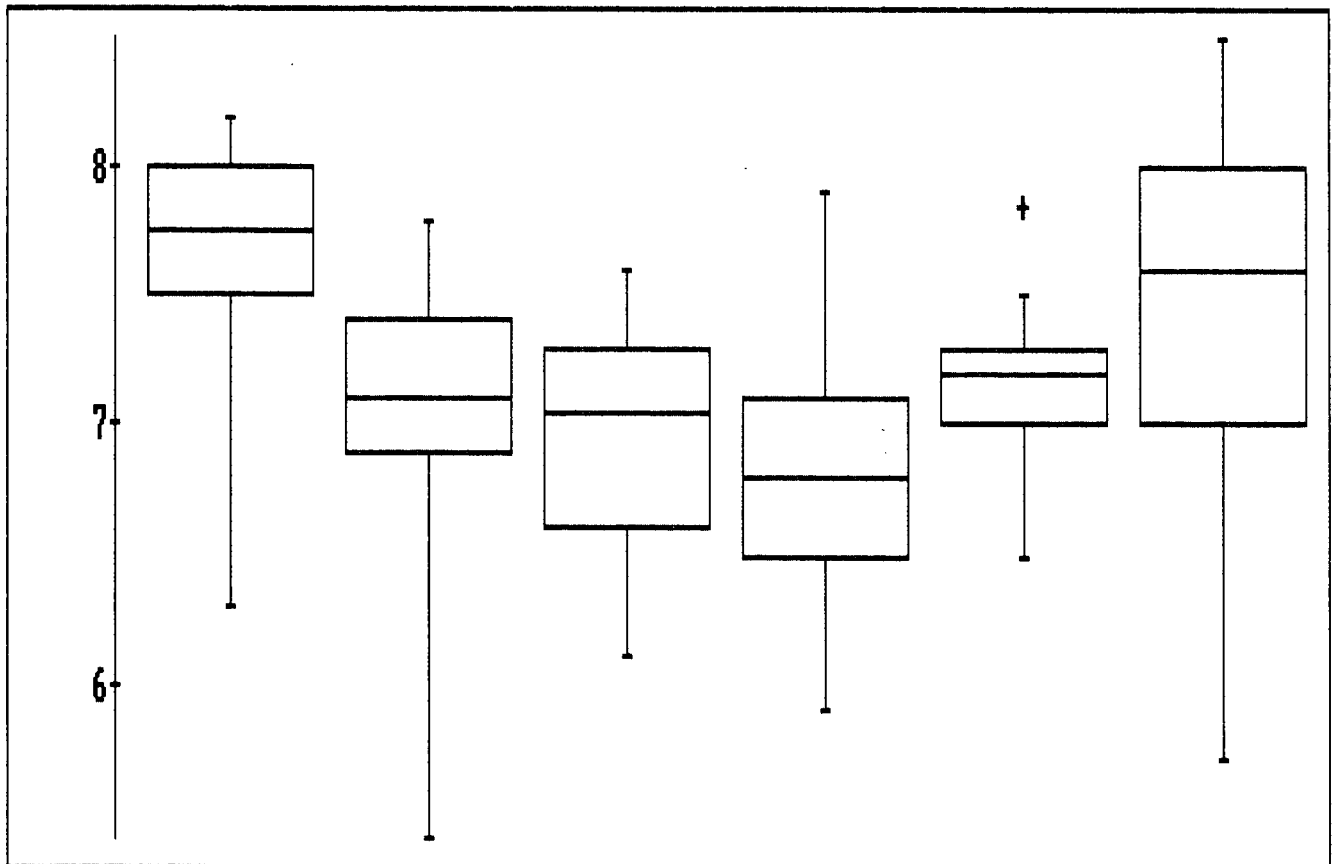


Abb. 3. pH-Wert-Verteilungen an Quellen und Kleingerinnen, Vergleich von kleinräumigen Hangbereichen.

- 1 = Schusterbauerngraben, unterer Hangbereich (September 1989); n = 20.
- 2 = Stemmergraben, oberer Hangbereich (September 1988); n = 25.
- 3 = Stemmergraben, unterer Hangbereich (September 1988); n = 22.
- 4 = Schusterbauerngraben, oberer Hangbereich (September 1988); n = 30.
- 5 = Schusterbauerngraben, unterer Hangbereich (September 1988); n = 17.
- 6 = Hangbereiche N Hinterglemm (September 1989); n = 72.

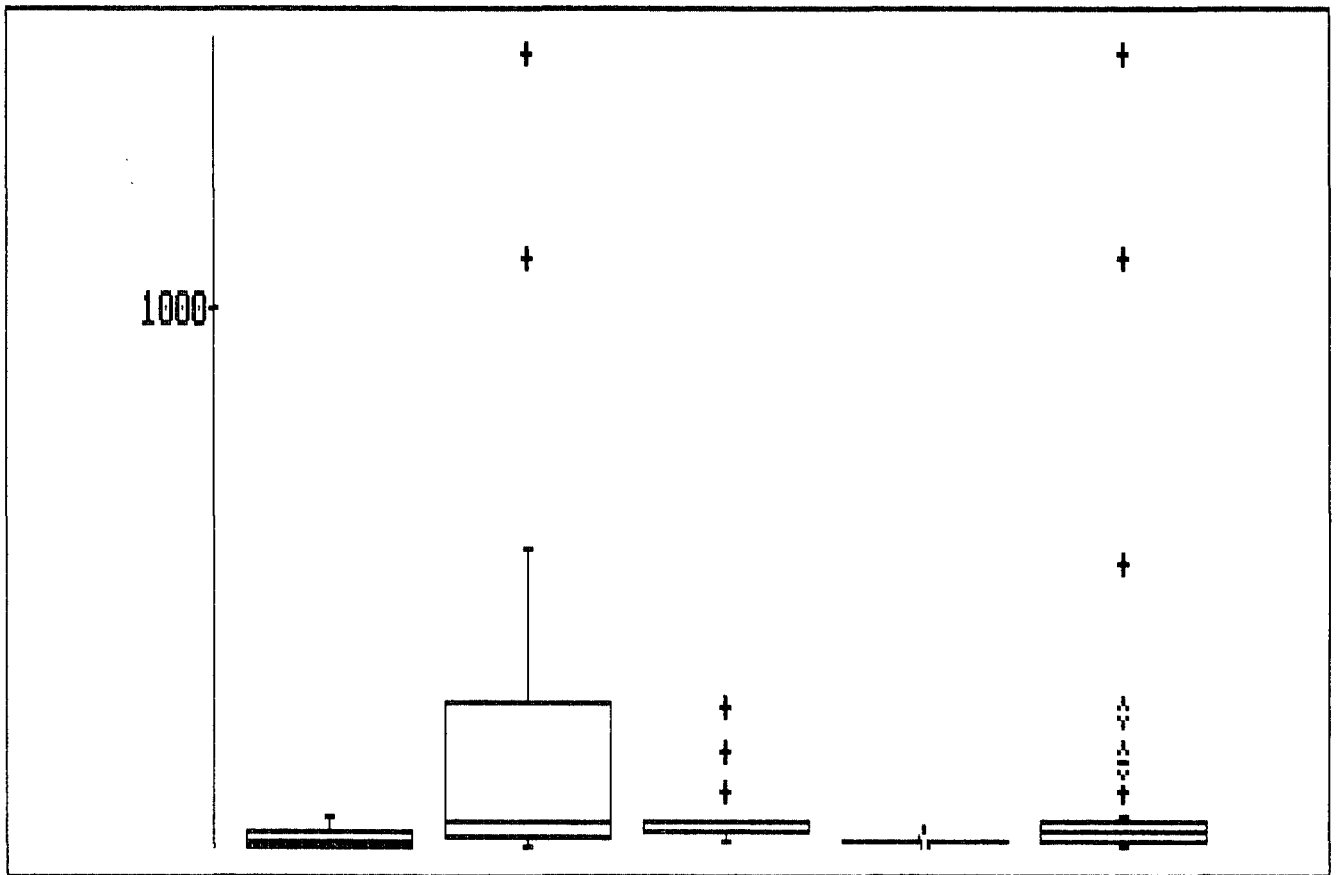


Abb. 4.

Aluminiumgehalte [in ppb] in Quellen und Kleingerinnen in Teilbereichen des Glemmtales (September 1989).

1 = Bereich Sonnalm - Reiteralm (N Hinterglemm); 2 = Bereich Schusterbauerngraben/Marxengraben; 3 = Bereiche Kreuzerlehen- und Exenbachgraben; 4 = Bereich östlich und südlich von Viehofen; 5 = Gesamtprobensatz September 1989.

Aus geowissenschaftlich-geotechnischer Sicht bedeutet dies eine eklatante Umstellung des Wasserkreislaufes in qualitativer und quantitativer Hinsicht, was folgende Wirkungen auslöst:

Quantitativ:

- Erhöhung der Normal-Oberflächenabflüsse und Hochwasserspitzen.
- Zunahme des Geschiebeabtrages und der Erosionsvorgänge.
- Erhöhung des Hangwasserdruckes in aufgelockerten Bereichen (Aktivierung von Massenbewegungen).

Qualitativ:

- Mobilisierung der derzeit noch (?) abgepufferten Schwermetallgehalte in den Böden.
- Gefährdung der Trinkwasserqualität der Quellen durch Schwermetalle, Aluminium, Nitrat (auch aus Waldbereichen!) und damit Infragestellung der Trinkwasserversorgung in den Alpentälern.
- Mineralumbildungen in Gesteinsklüften durch Ionenaustauschvorgänge und damit mögliche Destabilisierung labiler Hangbereiche.
- Toxische Wirkungen auf Flora und Fauna in den Fließgewässern.

#### 4. Problembehandlung aus ökosystemarerer Sicht

Die praktische Wirkungslosigkeit der Maßnahmen beim wahrscheinlich gravierendsten Problem menschli-

chen „Wirtschaftens“ – der Schadstoffemission in der Luft – erweist die Unbrauchbarkeit des Operierens mit Grenzwerten.

Auf komplexe Ablaufverknüpfungen kann nicht mit einer reduzierten, linearkausalen Modellvorstellung geantwortet werden. Schon die Fragestellung nach Ursache-Wirkungs-Zusammenhang muß bei der Verkettung der Kreislaufvorgänge ansetzen.

Die Antwort auf die zu erwartenden Al-Gehalte in den Quellen kann nicht sein:

- Auflage zur systematischen Al-Analytik an allen Quellen, die zur Trinkwasserversorgung gefaßt sind.
- Sperren von Quellen bei einem bestimmten Schwellenwert.
- Verbot der Einzelversorgungen und Anschlußzwang an regionale Wasserversorgungen aus (noch) unbelasteten Grundwässern.

sondern muß sich vielmehr beziehen auf:

- Die (selbstverständliche) Reduktion und Eindämmung der Schadstoffimmissionen.
- Wiederherstellung des zum Teil verlorengegangenen Kontakts zwischen Vegetation und Boden.
- Wiederherstellung der vollen Bodenfunktion.
- Unterstützung naturnaher und natürlicher Vegetation zur Erneuerung der selbstregulierenden Kreisläufe.

Es geht dabei gar nicht so sehr um Trinkwasserqualitäten, sondern die hohen Aluminium-Gehalte sind Indikator für ein zusammenbrechendes System! Nicht das



Symptom ist zu reglementieren, sondern die Erneuerung des Gesamtsystems ist zu unterstützen!

Zur Problembehandlung im fachlich-wissenschaftlichen Bereich (und gleichzeitig darüberhinaus) muß dabei auf drei Ebenen angesetzt werden

#### a) Denkschemata

Weg von nur linear-kausal,  
fachbereichsmäßig straff abgegrenzt,  
engbegrenztem Spezialwissen,  
nur exakten Meßdaten vertrauend.  
Hin zu fachübergreifend mitdenkend,  
direkt an Naturvorgängen lernend,  
auch kreativ überbrückend und auf Analogien aufbauend,  
miteinander verknüpfte Trends beachtend,  
die Scheu vor nicht exakt mathematisch belegbaren Zusammenhängen verlierend.

#### b) Forschungsziele

Die Art der Durchführung und die Inhalte der einschlägigen Forschung in Österreich sind als Schluß daraus raschest umzustellen. Gefordert sind in Analogie zur ökologischen Nomenklatur:

- Die „naturnahe“ Forschung, nicht die mit Meßsystemen verkabelte Landschaft.
- Die Rückkoppelung des Wissens.
- Die Vernetzung der wissenschaftlichen Kapazität.

In dem Augenblick, da die einschlägigen Forschungsinstitutionen ihre Programme ökosystemar ausrichten, werden Forschungsbrücken wie automatisch entstehen, die noch häufig betriebene Ein- und Ausgrenzung von Forschungsbereichen löst sich auf, und Problemlösungen werden infolge der Vervielfachung der Wissens- und Erfahrungskapazität durch Vernetzung rasch und effektiv möglich.

#### c) Vorschläge zu Maßnahmen

Gerade im ökologisch/ökonomisch sehr sensiblen Bereich wird häufig (auch von Wissenschaftlern) mit Forderungskatalogen zu Maßnahmen operiert, die eher auf rasch gezogenen Schuldzuweisungen als auf fundierten Untersuchungen basieren.

Da es in dem komplexen System nie nur einen Auslösefaktor zu bestimmten Ereignissen und Wirkungen gibt, sind solche Forderungskataloge leicht angreifbar und damit praktisch unwirksam.

Im Sinne eines durchgreifenden ökosystemaren Denkens und wissenschaftlichen Arbeitens ist es in der dritten Ebene – den Folgerungen und Maßnahmen – ebenso notwendig, diese der Komplexheit anzupassen, das heißt, daß künftig keine Global- und Patentrezepte angeboten werden können, sondern daß Maßnahmen kleinräumig sehr unterschiedlich, den jeweiligen natürlichen Gegebenheiten angepaßt und damit ökologisch sowohl entworfen wie ausgeführt werden sollen.

Damit werden auch viele Widerstände leichter überwunden oder verhindert werden, die dadurch entstehen, daß sich Gruppen – in der Abwehr, als alleinige Sündenböcke abgestempelt zu werden – massiv auch gegen allgemein anerkannte Maßnahmen stellen.

## Literatur

- ALBER, J.: Regionale Feststellung des Rohstoffpotentials: Bereich ÖK 122 Kitzbühel/Süd, ÖK 123 Zell am See/Süd. – Unveröff. Ber. Archiv Geol. B.-A., Wien 1985.
- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (Hrsg.): Bericht über den Zustand der Tiroler Böden. – Innsbruck 1989.
- BENECKE, P.: Die Versauerung bewaldeter Wassereinzugsgebiete. – Geowissenschaften in unserer Zeit, 5/1, 19–26, Weinheim 1987.
- BLUM, W. E. H., GRALL, H., SCHWARZ, S. & WENZEL, W.: Bodenkundliche Basisuntersuchungen. – Unveröff. Ber. im Rahmen FIW, Inst. f. Bodenforschung und Baugologie Univ. f. Bodenkultur, Wien 1986.
- BRECHTEL, H. M. (Hrsg.): Immissionsbelastung des Waldes und seiner Böden – Gefahr für die Gewässer. – Mitt. Deutsch. Verb. f. Wasserwirtschaft und Kulturbau, 17, Bonn 1989.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT UND UMWELTSCHUTZ: Regelung für Trinkwasser. – Erlaß BMGU vom 10. August 1984, Wien 1984.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.): Versauerung von Hochgebirgsseen in kristallinen Einzugsgebieten Tirols und Kärntens. – Forschungsbericht Inst. f. Zool., Univ. Innsbruck, Wasserwirtschaftskataster Wien 1988.
- DOLEZEL, P.: Wann ist ein Schadstoff ein Schadstoff? – Mitt. Österr. Geol. Ges., 79, 127–129, Wien 1986.
- ELLENBERG, H., MAYER, R. & SCHAUERMANN, J. (Hrsg.): Ökosystemforschung, Ergebnisse des Sollingprojekts 1966–1986. – Stuttgart (Ulmer) 1986.
- GLATZEL, G.: Waldbodenzustand und Waldbodensanierung. – FIW Symposium 1988, BMWuF, Wien 1988.
- HAUHS, M.: Der Einfluß des Waldsterbens auf den Zustand von Oberflächengewässern. – Z. dt. Geol. Ges., 136, 585–597, Hannover 1985.
- HORAK, O. & ZVACEK, L.: Mikronährstoffe, toxische Schwermetalle und Aluminium in Waldökosystemen. – Unveröff. Ber., Österr. Forschungszentrum Seibersdorf, Seibersdorf 1987.
- HUSZ, G.: Bodenzustandserhebung Vorarlberg 1986. – Lebensraum Vorarlberg, 2, Bregenz 1987.
- KAZDA, M., GLATZEL, G. & LINDEBNER, L.: Schwermetallanreicherung und -mobilität im Waldboden. – Mitt. Österr. Geol. Ges., 79, 131–142, Wien 1986.
- KLEIN, P. & PIRKL, H.: Schwermetalle in Böden. – Mitt. Österr. Geol. Ges., 79, 143–162, Wien 1986.
- MÜLLER, G.: Schadstoffe in Sedimenten – Sedimente als Schadstoffe. – Mitt. Österr. Geol. Ges., 79, 107–126, Wien 1986.
- NEUWINGER, I.: Zum Nährstoffhaushalt in Vegetationseinheiten der subalpinen Entwaldungszone. – Mitt. forstl. Bundesversuchsanstalt, 75, Wien 1967.
- NEUWINGER, I.: Böden und Vegetation im oberen Einzugsgebiet des Dürnbaches im Oberpinzgau, Salzburg, ihr Einfluß auf den Wasserrückhalt. – Mitt. FBVA, 161, 111–146, Wien 1988.
- PIRKL, H. R.: Regionale Feststellung des Rohstoffpotentials: Bereich Blatt Wörgl (ÖK 120) und Blatt Neukirchen a. Gr. (ÖK 121). – Unveröff. Ber. Archiv Geol. B.-A., Wien 1984.
- PIRKL, H. R.: Auswertung und Integration der im Rahmen der Rohstoffforschung 1978–1985 erarbeiteten Projektberichte (ÜLG 11/85). – Bericht Geol. B.-A., 1, Wien 1986.
- PIRKL, H. R.: Erarbeitung der Zusammenhänge zwischen Hanginstabilitäten und -labilitäten, Hangwasserhaushalt und Massenbewegungen in Teilen des Zentralalpenkristallins (Projektendbericht 1. Phase 1988/89). – Unveröff. Ber., Wien 1989.

- REHFUESS, K. E.: Waldböden. – Pareys Studentexte **29**, Hamburg – Berlin (P. Parey) 1981.
- REPUBLIK ÖSTERREICH: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 24. April 1984 über forstschädliche Luftverunreinigungen (zweite Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen). – Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, **1984/89**, Wien 1984.
- RUPPERT, H.: Natürliche Grundgehalte und anthropogene Anreicherungen von Schwermetallen in Böden Bayerns. – Geol. Landesamt Fachberichte, **2**, München 1987.
- SAGER, M.: Ökologie des Aluminiums. – Schweiz. Z. Hydrol., **48/1**, 71–103, Basel 1986.
- SCHÖLLER, F.: Tendenzen der Wasserbeurteilung. – Wiener Mitt. Wasser–Abwasser–Gewässer, **27**, 1978.
- THALMANN et al.: Geochemischer Atlas der Republik Österreich. – Geol. B.-A., Wien 1989.
- UMWELTBUNDESAMT: Naturwissenschaftlicher Problem- und Zielkatalog zur Erstellung eines österreichischen Bodenschutzkonzeptes. – Umweltbundesamt, Wien 1988.
- Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 16. Jänner 1990.