

GEOSCHULE PAYERBACH

# BARBARA - GESPRÄCHE

## Payerbach 1995

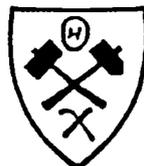
GEOGEN-ANTHROPOGEN

Wertstoffe - Schadstoffe

Entstehung und Wirkung auf die Umwelt

HAUSMÜLL-VERSUCHSANLAGE  
BREITENAU

8 Jahre Untersuchungsergebnisse



Payerbach, 24. u. 25.(26.) November 1995

veranstaltet von: Geoschule Payerbach, Geol.Dienst des Landes NÖ, Geotechn.Institut des BFPZ Arsenal, Geolog.Bundesanstalt

## FACHBEIRAT DER GEOSCHULE PAYERBACH

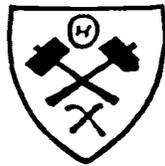
- Dr. Wolfgang DEMMER* ○ *Konsulent f. Baugologie, Bisamberg*
- Prof. Dr. Wolfgang FRANK* ○ *Universität Wien, Geozentrum*
- Prof. Dr. Heinz-Detlef GREGOR* ○ *Umweltbundesamt Berlin*
- Dr. Michael JAUMANN* ○ *Klinik am Eichert, Göppingen*
- Prof. Dr. Heinrich KALLENBACH* ○ *Technische Universität Berlin*
- Prof. Dr. German MÜLLER* ○ *Universität Heidelberg*
- Prof. Dipl.Ing. Walter MÜLLER* ○ *HTL, Krems*
- Dr. Julian PISTOTNIK* ○ *Geologische Bundesanstalt, Wien*
- Prof. Dr. Eduardo SEMENZA* ○ *Università degli studi di Ferrara*
- Dir. Prof. Dr. Erich SCHROLL* ○ *Universität Wien, BVFA Arsenal*
- Dir. Prof. Dr. Peter SCHÖNLAUB* ○ *Geologische Bundesanstalt, Wien*
- Prof. Dr. Werner TUFAR* ○ *Philipps-Universität Marburg/Lahn*
- Dipl.Ing. Dr. Georg M. VAVROVSKY* ○ *Eisenbahn-Hochleistungsstrecken AG Wien*
- Prof. Dr. Walter VORTISCH* ○ *Montanuniversität Leoben*
- Dr. Godfried WESSELY* ○ *ÖMV, Wien*

---

*Alle Rechte vorbehalten*  
*Für den Inhalt sind die Verfasser verantwortlich*  
*Herausgeber, Eigentümer und Verleger:*  
*Geoschule Payerbach*

*Redaktion:*  
*Dr. G. RIEHL-HERWIRSCH*

*Bearbeitung:*  
*P. CARNIEL, M. HACKENBERG*



ΘΕΟῤ̃ς  
Χρῶνῶῤ̃ς

*Den unterirdischen Mächten geweiht*

*Diese Weiheformel in griechischer Schrift aus keltisch römischer Zeit  
stammt von einer Inschrift, die im Zuge der Ausgrabungen am  
Magdalensberg in Kärnten entdeckt wurde.*

*Auf dieser Basis steht die heilige Barbara als christliches Symbol,  
als Schutzheilige für Bergleute  
und Vertreter der Erdwissenschaftler.*

## VORWORT

Mit dieser Veröffentlichung werden die Vorträge der **Barbara-Gespräche 1995** als zweiter Band der gleichnamigen Reihe übergeben. Die **Barbara-Gespräche 1994** konnten wegen des krankheitsbedingten Ausfalles eines wesentlichen Vortragenden (Prof.Dr. W. TUFAR) nur in gekürzter Form und in kleinem Rahmen stattfinden. Die Veranstaltung „rettete“ Prof. Dr. German MÜLLER, der mit einem brillanten Vortrag, auf die Bitte der Veranstalter aus dem Stegreif erweitert, dieses Manko mehr als wettgemacht hat. Beide Beiträge sind nun in diesem Band enthalten.

Die **Barbara-Gespräche** wurden erstmals 1993 abgehalten. Sie hatten als Motto „GRENZEN DER GEOTECHNIK“ mit den Themen **Staumauern** (u.a. Prof.Dr.E. SEMENZA „Vajont/Longarone, 30 Jahre nach der Katastrophe“) und **Abfallagerung**.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Fachtagungen, bei denen zahlreiche Referenten in Kurzbeiträgen ihr Thema abhandeln, wählten wir für die **Barbara-Gespräche** einen anderen Veranstaltungsstil. Eine eher begrenzte Zahl von Vortragenden nimmt zu einem vorgegebenen Thema Stellung und nach dem Referat wird im Kreise der Teilnehmer umfassend und offen diskutiert. Dieser Weg wurde bisher sehr gut aufgenommen.

Sowohl die einzelnen Vorträge als auch die Diskussionsbeiträge der Teilnehmer (Tonträgeraufzeichnung) - zur Unterscheidung auf grünem Papier gedruckt - stehen nun wieder mit dieser Veröffentlichung zur Verfügung.

Mit dem Schwerpunkt der **Barbara-Gespräche 1995** „GEOGEN - ANTHROPOGEN“ sollte der Versuch unternommen werden, Dimensionen und Wirkungsweise von geogenen Kreisläufen und ihren Transportmechanismen darzustellen und bewußt zu machen. Den naturgegebenen „Schadstoffquellen“ stehen die von Menschen gemachten „Verunreinigungen“ gegenüber.

Der zweite Tag war der „HAUSMÜLLVERSUCHSANLAGE BREITENAU - 8 Jahre Untersuchungsergebnisse“ gewidmet und damit einem Beispiel von objektiven Untersuchungen zur Erfassung von menschlichen Einflüssen auf die Umwelt. An dieser zweiten Themengruppe soll vorgeführt werden, wie interdisziplinäre Zusammenarbeit bei einem Großversuch echte Einblicke in die komplexen Vorgänge eines Deponiekörpers ermöglicht und aus diesem Erkenntnisgewinn für die praktische Anwendung Konsequenzen gezogen werden könnten.

Die nachstehenden Arbeiten sollen dazu beitragen, diese Themenschwerpunkte einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich zu machen und diese Vorgänge aus erdwissenschaftlich betonter Sicht besser zu erkennen.

Wien, im Juni 1997

Dr.P. Gottschling

Dr.G. Riehl-Herwirsch

**INHALT**

- G. RIEHL-HERWIRSCH, P. GOTTSCHLING 4  
Vorwort der Herausgeber

**GEOGEN-ANTHROPOGEN**

*Wertstoffe - Schadstoffe  
Entstehung und Wirkung auf die Umwelt*

- W. TUFAR 7  
Rezente hydrothermale Aktivität und Lagerstättenbildung  
(Komplexmassivsulfiderze - "Schwarze Raucher")  
an aktiven Spreizungsrücken am Ozeanboden
- K. AUGUSTIN-GYURITS 91  
Geochemische Untersuchungen an Fluß- und Bachablagerungen  
in Niederösterreich - Vergleich mit Bodendaten
- R. GÖD 95  
Die Arsenanomalie Feistritz / Wechsel
- G. MÜLLER 107  
Schwermetallgehalte in Fluß- und Seeablagerungen als Spiegelbild  
der historischen Entwicklung - weltweite Beispiele - Entsorgungsfragen
- O. SCHERMANN 139  
Die Geochemie als Methode zur Lagerstättensuche  
und ihre Anwendung in der Umwelterkundung
- G. WESSELY 153  
Die Bohrung Payerbach-Thermal TH1  
Geologische Grundlagen - Ergebnisse

**HAUSMÜLL-VERSUCHSANLAGE BREITENAU**

*8 Jahre Untersuchungsergebnisse*

- A. LAGERKVIST, H. ECKE 171  
Deponieversuchsanlagen aus internationaler Sicht
- G. RIEHL-HERWIRSCH, P. CARNIEL, M. HACKENBERG 191  
Die Versuchsanlage Breitenau - Aufbau und Wasserwegsamkeiten  
Ergebnisse und Fragen
- E. BINNER, Th. LAHNER 227  
Wasserhaushalt und Emissionssituation am Beispiel der  
Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau
- D. RANK 257  
Isotopenuntersuchungen an Sickerwässern der Versuchsanlage Breitenau
- P. LECHNER 275  
Die Emissionen von Deponien - derzeit und in Zukunft

# BARBARA-GESPRÄCHE PAYERBACH 1995

Rezente hydrothermale Aktivität und Lagerstättenbildung  
(Komplexmassivsulfiderze - "Schwarze Raucher")  
an aktiven Spreizungsrücken am Ozeanboden

W. TUFAR



**INHALT**

Zusammenfassung	9
Summary	10
1. Einführung	10
2. Ostpazifischer Rücken	12
3. Galápagos-Rift	15
4. Rotes Meer	15
6. Tyrrhenisches Meer	20
7. Schlußfolgerungen und Ausblick	20
Literatur	23
Tabellen	28
Abbildungen	43

*Anschrift des Verfassers:*

*Univ.-Prof. Dr. Werner TUFAR  
Fachbereich Geowissenschaften  
der Philipps-Universität Marburg  
Hans-Meerwein-Straße  
D - 35032 Marburg/Lahn  
Bundesrepublik Deutschland*

Barbara-Gespräche Payerbach 1995	Band 2	"Geogen - Anthropogen" "Hausmüllversuchsanlage Breitenau"	Seite 7 - 89 Abb. 1 - 109	Wien 1997
-------------------------------------	--------	--	------------------------------	-----------

# Rezente hydrothermale Aktivität und Lagerstättenbildung (Komplexmassivsulfiderze - "Schwarze Raucher") an aktiven Spreizungsrücken am Ozeanboden

WERNER TUFAR

## Zusammenfassung

*Aktive Spreizungsrücken nehmen eine weite Erstreckung, vornehmlich am Ozeanboden, ein. Sie stellen Zonen des Magmenaufstieges aus dem Erdmantel dar und sind stellenweise durch eine intensive rezente hydrothermale Aktivität und Bildung von Komplexmassivsulfiderz-Lagerstätten („Schwarze Raucher“) gekennzeichnet. Dabei werden in erheblicher Menge Schwer- bzw. Buntmetalle aus den Hydrothermen am Ozeanboden gefördert. Die rezenten Komplexmassivsulfiderze können erhebliche Anreicherungen an Zink und/oder Kupfer aufweisen, stellenweise auch etwas Blei. Neben häufig hohen Spurengehalten an Silber sind manchmal erhebliche Spurenkonzentrationen an Gold anzutreffen. Zumeist liegt eine komplex zusammengesetzte Erz- bzw. Sulfidparagenese vor, und die Erze lassen einen auffallend porösen, lagigen bis krustig-schaligen sowie zonaren Aufbau erkennen. Charakteristisch sind außerdem massenhaft auftretende Kolloidalgefüge bzw. Geltexturen. Typisch ist ein häufiges Auftreten von Hochtemperatur-Sulfiden (Chalkopyrrhotin, Hochtemperatur-Kupferkies) mit Sulfiden, die Kolloidalgefüge bzw. Geltexturen aufweisen. Die Mineralparagenese belegt meist deutlich, daß sich kein chemisches Gleichgewicht eingestellt hat.*

*Gebunden an die "Schwarzen Raucher" bzw. an die Austrittsstellen der Hydrothermen am Tiefsee-Ozeanboden des Zentralgrabens ist das Auftreten zahlreicher Organismen und die Bildung charakteristischer Tiefsee-Lebensgemeinschaften (z. B. Meeresborstenwürmer, Muscheln, Schnecken, Krebse, Seepocken, Seegurken, Seeanemonen, Fische), die weltweit bisher unbekannt Arten enthalten. In den Komplexmassivsulfiderzen kommt es sogar rezent zur Fossilisation. Den Beginn der Nahrungskette für die verblüffend reiche Fauna am Tiefseeboden im Bereich der hydrothermalen Quellaustritte und den Komplexmassivsulfiderzen stellen chemoautotrophe, extrem thermophile Archaeobakterien dar.*

*Die Vorkommen der "Schwarzen Raucher" stellen ein eindrucksvolles Zeugnis rezenter geogener Förderung und Anhäufung von Wertstoffen oder Schadstoffen, je nach Sicht, dar und bilden nicht nur die Lebensgrundlage für heutige hydrothermale Tiefsee-Lebensgemeinschaften, sondern ermöglichen sogar deren rezente Fossilisation. Bergwirtschaftlich kommt den rezenten hydrothermalen Komplexmassivsulfiderzen Bedeutung als wichtige Rohstoffquelle für die Zukunft zu. Überblickt man allgemein vergleichend auf den Kontinenten bekannte syngenetische "fossile" Buntmetall-Lagerstätten, die in einem marinen Milieu zur Bildung gelangten, so ergibt sich, daß diese teilweise durch paragenetische Verhältnisse und Gefüge gekennzeichnet sind, wie sie in den rezenten Komplexmassivsulfiderzen ("Schwarze Raucher") anzutreffen sind. Von dieser Seite aus können vorsichtige Vergleiche zwischen fossilen Erzmineralisationen und den rezenten Komplexmassivsulfiderzen versucht werden.*

## Summary

*The total length of actively spreading ridges, most of which are on the ocean floor, is in fact enormous. They are well-known as centers of ascending magma bodies derived from the mantle and furthermore reveal areas of intense modern hydrothermal activity and complex massive sulfide formation („black smokers“). Moreover, in these regions of the ocean floor the hydrotherms produce considerable amounts of heavy metals and also non-ferrous metals. These complex massive sulfide formations can exhibit extremely high concentrations of zinc and/or copper, in places along with some lead. Furthermore, these mineralizations are characterized frequently by high traces of silver and, in places, by substantial traces of gold. In most cases a complex massive sulfide paragenesis occurs, revealing strikingly porous, layered to crusty-layered, and zonal arrangements. Colloidal and/or gel textures are very typical and widespread. In places, a further characteristic feature of the paragenesis is the close association of high-temperature sulfides (e. g., chalcopyrrhotite, high-temperature chalcopyrite) with sulfides exhibiting colloidal and/or gel textures. In total, the paragenesis of the complex massive sulfide formations usually clearly documents non-equilibrium conditions of mineralization.*

*A further very impressive characteristic of these modern hydrothermal formations on the deep-sea ocean floor is an abundant and diverse hydrothermal fauna associated with the hydrotherms and related modern metallogenesis. These vent communities consist of polychaetes, mussels, gastropods, barnacles, crustaceans, holothurians, actinians, fish, etc., including new species previously unknown throughout the world. Species of these vent communities can even be found living and fossilized, still within the same active black smoker chimneys, and thus impressively document unique examples of modern fossilization. The nutritional basis for these fantastically abundant vent communities associated with the hydrotherms and black smokers consists of chemoautotrophic and heterotrophic, extremely thermophilic archaeobacteria.*

*Modern complex massive sulfide formations constitute an impressive document of modern geogenic production and concentration of either economically valuable constituents or hazardous materials, depending on the point of view, representing not only the basis of life for modern vent communities but also an efficient preservation mechanism for their modern fossilization as well. Furthermore, modern complex massive sulfide deposits potentially provide an economically important ore resource for the future. The ore qualities of the modern complex massive sulfide formations are comparable with those of ancient ("fossil") base metal deposits and high grade ores, now found on the continents, but originally formed in a marine environment during preceding geological periods. On this basis, cautious attempts to compare these ancient ("fossil") base metal deposits with modern complex massive sulfide deposits are altogether justified*

## 1. Einführung

In der Erdkruste stellen aktive Spreizungszonen (z. B. divergierende Plattengrenzen, mittelozeanische Rücken, Back-Arc-Spreizungsrücken) Bereiche des Magmenaufstieges aus dem Erdmantel dar und sind stellenweise durch eine intensive hydrothermale Aktivität und Lagerstättenbildung ausgezeichnet. Die gesamte Länge aktiver Spreizungsrücken (vgl. Abb. 1) erstreckt sich auf etwa 65 000 km. Von wenigen Ausnahmen (z. B. St. Andreas-

Graben/Westküste Nordamerikas, Ostafrikanisches Grabensystem, Rotes Meer) abgesehen, finden sich diese fast ausschließlich auf dem Ozeanboden der Tiefsee (z. B. Ostpazifischer Rücken, Galápagos-Rift, Mittelatlantischer Rücken, Manus-Spreizungsrücken) und waren dementsprechend bis vor kurzem einer Untersuchung nicht zugänglich.

Durch die Entdeckung der rezenten hydrothermalen Komplexmassivsulfiderz-Bildung am Ostpazifischen Rücken (vgl. FRAN-

CHETEAU & KOLLEGEN 1978, 1979) begann weltweit eine sehr eingehende lagerstättenkundliche Untersuchung dieses rezenten Erzmineralisations-Typs (vgl. z. B. BARRETT & JAMBOR 1988, BISCHOFF & KOLLEGEN 1983, CORLISS & KOLLEGEN 1979, EDMOND & KOLLEGEN 1982, GOLDFARB & KOLLEGEN 1983, GUNDLACH & KOLLEGEN 1983, HAYMON & KASTNER 1981, HEKINIAN & KOLLEGEN 1978, 1980, MALAHOFF & KOLLEGEN 1983, ORTIZ & TUFAR 1992, RENARD & KOLLEGEN 1985, RONA 1983, 1988, RONA & KOLLEGEN 1983, ROSENBAUER & BISCHOFF 1983, SPIESS & KOLLEGEN 1980, TUFAR 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992 a, 1992 b, 1992 c, 1993, 1994, 1995 a, 1995 b, TUFAR, GUNDLACH & MARCHIG 1984, 1985, TUFAR & JULLMANN 1991, TUFAR & NÄSER 1992, 1993, TUFAR & ORTIZ 1993, TUFAR, TUFAR & LANGE 1986, ZIERENBERG & KOLLEGEN 1984).

Innerhalb der aktuellen geowissenschaftlichen Forschung nimmt die Untersuchung der rezenten hydrothermalen Aktivität und Lagerstättenbildung, nämlich der rezenten Mineralisation von Komplexmassivsulfiderz ("Schwarze Raucher") an divergierenden Plattenrändern (z. B. Ostpazifischer Rücken, Galápagos-Rift, Rotes Meer, Mittelatlantischer Rücken) sowie an Spreizungsrücken in Back-Arc-Becken (z. B. Manus-Becken/Bismarck-See), eine herausragende Stellung ein. Auf dem Ozeanboden der Tiefsee ist die Bildung von Komplexmassivsulfiderz-Lagerstätten (Kupfer, Zink, Silber, Gold etc.) direkt zu beobachten, deren Gehalte auch bergwirtschaftlich von Interesse sein können. Die Platznahme der Sulfide erfolgt sedimentär, die Herkunft der Sulfide bzw. der mineralisierenden Lösungen ist hydrothermalen Ursprungs und hängt mit in der Kruste ablaufenden vulkanischen Prozessen zusammen.

Entlang Störungen, Klüften, Rissen etc. dringt Meerwasser in die neugebildete ozeanische Kruste, gelangt in tiefere Bereiche und wird von Magmenkammern in der Teufe aufgeheizt. Dabei kommt es auch zur Bildung von Konvektionszellen und Konvektionsströmungen. Mit der Aufheizung des bekanntlich leicht al-

kalischen Meerwassers (pH etwa 8) erfolgt dessen chemische Veränderung zur sauren hydrothermalen Lösung (pH um 3). Diese laugt nun im basaltischen Nebengestein bzw. in der ozeanischen Kruste und reichert sich mit  $\text{SiO}_2$ , Kalium, Calcium, Schwefelwasserstoff, Eisen, Mangan, Kupfer, Zink, Barium usw. an, aber auch z. B. mit Silber. Bei den Buntmetallen beträgt der Anreicherungsfaktor gegenüber dem normalen Meerwasser bis etwa  $10^8$ .

An "Leckstellen" (Störungen, Risse, Klüfte etc.) im Ozeanboden des jeweiligen Zentralgrabens treten die unter hohem Druck stehenden, häufig heißhydrothermalen Lösungen mit Austrittstemperaturen bis über  $400^\circ\text{C}$  aus, z. B. am Ostpazifischen Rücken bis  $380^\circ\text{C} \pm 30^\circ\text{C}$ , am Galápagos-Rift mit  $7 - 17^\circ\text{C}$ , am Manus-Spreizungsrücken bis maximal  $275^\circ\text{C}$ .

Am Kontakt mit dem (alkalischen!) Meerwasser verfärbt sich die farblose, klare (saure!) hydrothermale Lösung durch Fällung von feinstverteilten Sulfiden (z. B. Magnetkies, Wurtzit, Kupferkies, Pyrit, Chalkopyrrhotin) dunkel bis schwarz, wovon der treffende Name "Black Smoker" bzw. "Schwarzer Raucher" herrührt. An den Austrittsstellen am Kontakt mit dem Meerwasser werden die schwerlöslichen Sulfide (Fe, Cu, Zn) ausgefällt. Dabei kommt es häufig zur Bildung rasch wachsender, vulkan- bis schlotförmiger Erzkörper ("Schornsteine") sowie auch mehr flächiger Erzkörper und Erzkrusten. Eine Tonne Metall (z. B. Zn, Cu) kann in etwa drei bis sechs Wochen als Sulfid ausgefällt bzw. angereichert werden.

Die Hydrothermen bilden neben den Komplexmassivsulfiderzen außerdem hydrothermales Sediment, das stellenweise den Ozeanboden im jeweiligen Zentralgraben in unterschiedlicher Mächtigkeit bedecken kann.

Wesentliche Voraussetzung für eine Untersuchung des Ozeanbodens der Tiefsee ist ein geeignetes Forschungsschiff. Für die eigenen Forschungsfahrten stand das deutsche Forschungsschiff *Sonne* zur Verfügung. Die *Sonne* (vgl. Abb. 2), ein modernes, leistungsfähiges Forschungsschiff, verfügt über eine ausgezeichnete nautische und wissenschaftliche Aus-

rüstung zur Lösung der lagerstättenkundlichen Problemstellungen. Wesentlich war die Möglichkeit zur direkten Beobachtung ("on line") und Untersuchung des Ozeanbodens der Tiefsee an Bord am Fernseh-Monitor. Dadurch konnte eine detaillierte lagerstättenkundliche Kartierung und Aufnahme sowie eine repräsentative, statistische Beprobung des jeweiligen Untersuchungsgebietes durchgeführt werden. Die Lösung der lagerstättenkundlichen Aufgabenstellung erforderte größte Präzision und Erfahrung auch bei der Navigation, da fast alle der verwendeten, speziell für den Einsatz in der Tiefsee entwickelten Geräte vom Forschungsschiff *Sonne* über ein mehrere Kilometer langes Kabel direkt über den Ozeanboden der Tiefsee geschleppt und manövriert wurden. Dieses Kabel diente gleichzeitig der Bild- bzw. Datenübertragung. Neben einem Tiefseekartierungs-Fächerlotsystem (SeaBeam) wurden vor allem Fernseh-Schlitten (OFOS bzw. Kompakt-OFOS - *Ocean Floor Observation System*, vgl. Abb. 3) sowie Fernseh-Greifer (GTVA, GTVD, vgl. Abb. 4) eingesetzt, daneben ein Kranzwasserschöpfer mit Multisonde (vgl. Abb. 5) sowie Kettensack-Dredschen (vgl. Abb. 6). Die exakte Positionierung der tiefgeschleppten Geräte (Fernseh-Schlitten, Fernseh-Greifer, Kettensack-Dredschen), ebenso die des Kranzwasserschöpfers mit Multisonde, ermöglichten Positionierungssender (Transponder, vgl. Abb. 7). Diese wurden für den Zeitraum der Arbeiten im Untersuchungsgebiet ausgesetzt, am Tiefseeboden verankert und nach Beendigung wieder eingeholt.

## 2. Ostpazifischer Rücken

Durch seine Vorkommen von rezenten Komplexmassivsulfiderzen (z. B. 21° 30' S, 13° N, 21° N) stellt der Ostpazifische Rücken (vgl. Abb. 1, 8) ein sehr eindrucksvolles Beispiel der rezenten hydrothermalen Lagerstättenbildung an aktiven Spreizungsrücken bzw. an aktiv divergierenden Plattenrändern dar.

Der Ostpazifische Rücken markiert in der ozeanischen Kruste einen Bereich aktiv divergierender Plattenränder. Die Spreizungsrate (Divergenzrate) kann von 6 cm pro Jahr im N

bis zu 18 cm pro Jahr im S betragen. Die extrem hohe Spreizungsrate von circa 18 cm pro Jahr kennzeichnet das Untersuchungsgebiet bei 21° 30' S.

Mit der Forschungsfahrt OLGA I (Ozeanische Lagerstätten: Geologisch-Mineralogische Analyse) am Ostpazifischen Rücken bei 21° 30' S, zwischen Pazifischer Platte im W und Nazca-Platte im E (vgl. Abb. 1, 8), gelang es erstmals, eine detaillierte lagerstättenkundliche Aufnahme eines zusammenhängenden Vorkommens rezenter hydrothermaler Komplexmassivsulfiderze (Schwarze Raucher) an divergierenden Plattenrändern durchzuführen und repräsentativ zu beproben (vgl. z. B. TUFAR 1992 a, 1995 a, TUFAR & NÄSER 1993). Eine Lagerstätte konnte im Zentralgraben des Ostpazifischen Rückens in einer Wassertiefe von knapp 3000 m zwischen 21° 23,7' S, 114° 16,0' W und 21° 29,2' S, 114° 17,5' W auf mindestens 11 km streichender Länge nachgewiesen werden (vgl. Abb. 9 - 10). Die Lagerstätte setzt sich nach Norden und Süden fort.

Das Nebengestein der Komplexmassivsulfiderz-Lagerstätte im Zentralgraben des Ostpazifischen Rückens bei 21° 30' S besteht aus Basaltlava. Es tritt praktisch nur schwach fraktionierter Tiefsee-Basalt (MORB: *Mittel-ozeanischer Rücken-Basalt*) mit tholeiitischer Zusammensetzung (Tiefsee-Tholeiit) auf. (vgl. Tabelle 1) Äußerst selten kann Eisen-Titan-Basalt angetroffen werden. Der morphologischen Ausbildung nach liegen sowohl Schichtlava bzw. Fladenlava i. w. S. (z. B. Stricklava, Pahoehoe, plattige Lava, lappige Lava, vgl. Abb. 11 - 15, 34), als auch reichlich Kissenlava (Pillowlava, vgl. Abb. 15 - 16) verschiedenen Typs vor. Letztere tritt mehr seitlich auf, in den östlichen und westlichen Zonen gegen die Randwälle, nicht jedoch im Bereich der Komplexmassivsulfid-Erzmineralisationen. In Bereichen mit Schichtlava sind häufig Einbruchsstrukturen mit typischen Lavatunnels (vgl. Abb. 11) zu beobachten, wie sie auf dem Festland (z. B. Hawaii, Island) bekannt sind.

Die Höhe der schornsteinförmigen Erzkörper ist unterschiedlich und kann bis 20 - 30 m be-

tragen, außerdem treten häufig flächenbedeckende bis hügelartige Erzkrusten und Erzkörper auf (vgl. Abb. 17 - 21, 41 - 42). Die räumliche Anordnung der Komplexmassivsulfiderze wird tektonisch kontrolliert, vor allem durch grabenparallele Blockversätze, daneben durch (sub-) senkrecht dazu verlaufende Störungen ("Transform-Störungen"). Im untersuchten Bereich der Lagerstätte zeigt sich eine ausgeprägte Inhomogenität ("Anisotropie") sowohl hinsichtlich der Erzvorräte, als auch der Erzgehalte.

Eine deutliche Zonierung liegt sowohl in einzelnen Erzkörpern (vgl. Abb. 21) als auch in der gesamten Lagerstätte vor. Der zonare Aufbau der Erzkörper bedingt eine starke Variation in der chemischen und in der mineralogischen Zusammensetzung.

Die Hauptgemengteile zeigen, auch als Folge einer zonaren Anordnung, erhebliche Unterschiede in den jeweiligen Mengenverhältnissen und daraus resultierend, starke Schwankungen der Hauptbestandteile Eisen, Kupfer, Zink und Silicium, mit stellenweise sehr hohen Konzentrationen an Zink (max. 32,67 %) und/oder Kupfer (max. 20,30 %) (vgl. Tabelle 2).

Auffallend ist eine fast vollständige Abwesenheit von Blei bzw. von Bleimineralien. Diese erklärt sich aus dem geringen Blei-Angebot der ozeanischen Kruste in diesem Bereich des Ostpazifischen Rückens für die laugenden hydrothermalen Lösungen.

Die rezenten Massivsulfiderze weisen eine komplex zusammengesetzte Erz- bzw. Sulfidparagenese auf, Gangart liegt teilweise nur in geringeren Gehalten vor. Die Paragenese setzt sich vor allem aus Pyrit (vgl. Abb. 22 - 27, 30), Melnikovitpyrit (vgl. Abb. 23, 25), Zwischenprodukt (vgl. Abb. 23), Markasit (vgl. Abb. 23, 25 - 27, 30), Zinkblende (vgl. Abb. 25 - 28), Wurtzit (vgl. Abb. 27, 29), Schalenblende (vgl. Abb. 22 - 26), Kupferkies (vgl. Abb. 24, 26, 28 - 30) und Gangart (vorherrschend Opal - vgl. Abb. 19, 22 - 30, stellenweise Anhydrit) zusammen. Gelegentlich tritt etwas Hämatit auf, Magnetit oder Bleiglanz sind nur örtlich und in Spuren anzutreffen.

Häufig weisen die Zinksulfide Wurtzit, Zinkblende und Schalenblende einen deutlichen bis extremen Zonarbau (vgl. Abb. 22, 25, 28 - 29) auf, hervorgerufen durch einen Einbau von Eisen, wobei die Substitution von Zn durch Fe in den Zinksulfiden bis ca. 20 Gew.-% betragen kann. Dementsprechend liegt neben normaler Zinkblende stellenweise sogar Marmatit bzw. Christophit vor.

Stellenweise liegen Sulfide (z. B. Wurtzit, Kupferkies, Pyrit) in prächtiger idiomorpher Ausbildung und einer für diese Paragenese extremen Größe von mehreren Millimetern vor.

Kennzeichnend für die Paragenese sind außerdem die Hochtemperatur-Sulfide Chalkopyrrhotin („Isocubanit“, vgl. Abb. 22, 24 - 26, 28) und Hochtemperatur-Kupferkies (vgl. Abb. 30). Die Bildungstemperatur von Chalkopyrrhotin beträgt etwa 350 °C, während Hochtemperatur-Kupferkies für seine Bildung Temperaturen von mindestens circa 550 °C voraussetzt.

Chalkopyrrhotin tritt in eigenen Kristallaggregaten auf oder liegt häufig als Entmischung in Kupferkies vor, weist jetzt das Verhältnis  $\text{CuFeS}_2 : \text{FeS} = 1 : 1$  auf und entspricht somit der Formel  $\text{CuFeS}_3$ . Röntgenographisch konnte für Chalkopyrrhotin die Gitterkonstante  $a_0 = 5,2876 \pm 25 \text{ \AA}$  ermittelt werden. Demgegenüber war, wie sich aus der beträchtlichen Variation im Verhältnis der Entmischungen von Chalkopyrrhotin in Kupferkies bis Kupferkies in Chalkopyrrhotin ersehen läßt, der ursprünglich gebildete Chalkopyrrhotin kupferreicher.

Die Komplexmassivsulfiderze lassen einen auffallend porösen, lagigen bis krustig-schaligen Aufbau erkennen. Ein weiteres paragenetisches Merkmal sind massenhaft auftretende rhythmische Fällungen mit häufig komplex zusammengesetzten Abfolgen bzw. kolloidale Massen (vgl. Abb. 22 - 23, 25 - 27), mit denen sich sogar das Hochtemperatur-Sulfid Chalkopyrrhotin findet (vgl. Abb. 22, 24 - 26).

Hochtemperierte Bildungen liegen in den kupferreichen wie in den zinkreichen Komplex-

massivsulfiderzen vor. Typisch ist das Auftreten von Hochtemperatur-Sulfiden (Chalkopyrrhotin, Hochtemperatur-Kupferkies) mit Sulfiden, die Kolloidalgefüge bzw. Geltexturen aufweisen, wie sie für niedrig temperierte Bildungen charakteristisch sind. Die Mineralparagenese belegt, daß sich kein chemisches Gleichgewicht eingestellt hat.

Neben hohen Spurengehalten an Silber (stellenweise mehrere Hundert g/t) findet sich außerdem etwas Gold (0,3 - 7,9 g/t) (vgl. Tabelle 3). Hauptsilberträger sind die Zinksulfide (max. 412 g/t Ag), darüber hinaus enthalten auch Kupferkies sowie Chalkopyrrhotin etwas Silber.

Im Zentralgraben, somit im jüngsten Teil des Pazifiks, ist auf Grund der geringen Sedimentationsrate nicht damit zu rechnen, Bedeckung mit normalem Sediment vorzufinden. Nur gelegentlich ist ein wenig Sediment anzutreffen (vgl. Abb. 14 - 16). Im Bereich der Komplexmassivsulfiderze zeigt sich jedoch, öfters plötzlich einsetzend, vermehrt Sediment (vgl. Tabelle 4, Abb. 17 - 18, 31 - 32, 34, 37, 39 - 42). Dieses ist jedoch hydrothermalen Ursprungs, zeigt dementsprechend hydrothermale Fällungen und ist fast durchwegs röntgenamorph. Es enthält wechselnde Gehalte an Eisenhydroxid, röntgenamorpher Kieselsäure (Opal-Gangart) und ein wenig Manganhydroxid, wobei Eisenhydroxid mit steigender Entfernung von den Sulfidvererzungen zuzunehmen scheint. Neben Opal-Gangart und Limonit können sich geringe Mengen an Erz bzw. Bruchstücke von Komplexmassivsulfiderz im hydrothermalen Sediment finden bzw. in diesem eingebettet liegen. Hydrothermale Mineralbildungen mit zweiwertigem Eisen (Grünfärbung!) zeigen außerdem stellenweise vorliegende reduzierende Bedingungen an. Nontronit ließ sich im zumeist röntgenamorphen Probenmaterial häufig ebenfalls nur schwer nachweisen, obwohl er in Hydrothermalfeldern gelegentlich größere Flächen bedecken kann (vgl. Abb. 31). Gelegentlich finden sich hydrothermale Fällungen von Manganhydroxid als Überzüge auf hydrothermale Sediment (vgl. Abb. 32) sowie auf Basalt (vgl. Abb. 12).

Gebunden an die Komplexmassivsulfiderze (Schwarzen Raucher) bzw. an die hydrothermalen Quellaustritte am Tiefsee-Ozeanboden sind das Auftreten zahlreicher Organismen und die Bildung charakteristischer Tiefsee-Lebensgemeinschaften. Diese hydrothermale Fauna (vgl. Tabelle 5 a, Abb. 11, 13, 15 - 21, 32 - 46) besteht aus Seeanemonen (Anthozoen, vgl. Abb. 11, 13, 15, 18, 31, 35, 37 - 39, 41; Aktinien, vgl. Abb. 17 a, 42), Schirmquallen (Scyphozoen, vgl. Abb. 34), Seegurken (Holothurien, vgl. Abb. 18, 31), Meeresborstenwürmern (Polychaeten, z. B. *Alvinella pompejana* DESBRUYÈRES & LAUBIER 1980, *Alvinella caudata* DESBRUYÈRES & LAUBIER 1986, *Nereis sandersi* BLAKE, 1985, *Thermiphione tufari* HARTMANN-SCHRÖDER 1992, n. gen. et n. spec.; vgl. Abb. 17 - 21, 41 - 44), Eichelwürmer (Enteropneusta, vgl. Abb. 33), diversen Crustaceen wie blinden Krabben (Bythograeidae, vgl. Abb. 35, 46), anomuren Krebsen (Galatheidae, vgl. Abb. 35, 38 - 39, 41), Entenmuscheln (Cirripedier: Lepadomorpha), Seelilien (Crinoiden, vgl. Abb. 13, 17, 37, 42) und Garnelen (vgl. Abb. 14), Tiefsee-Miesmuscheln (Mytilidae, vgl. Abb. 38 - 40, 45), Schnecken (Archaeogastropoden, vgl. Abb. 44; Neogastropoden, vgl. Abb. 45), Fischen (vgl. Abb. 13, 16, 18, 32, 35) usw. Einen Überblick über die Polychaetenfauna gibt HARTMANN-SCHRÖDER (1992).

Röhren von Polychaeten sind in den Komplexmassivsulfiderzen, sowohl in Cu-reichen, als auch Zn-reichen Sulfid-Schornsteinen, fast stets eingebettet anzutreffen und werden darin sogar rezent fossilisiert (vgl. Abb. 17 - 21, 41 - 43).

Am Beginn der Nahrungskette für die verblüffend reiche Fauna im Bereich der hydrothermalen Quellaustritte am Tiefseeboden stehen chemoautotrophe, z. T. extrem thermophile Archaeobakterien. Sie konnten aus Komplexmassivsulfiderz-Proben isoliert und kultiviert werden (vgl. Tabelle 5 b). Ein Organismus zeigt Verwandtschaft mit *Thermococcus celer*, ein weiterer mit *Pyrodictium occultum*. Letzterer weist als Obergrenze der Wachstumstemperatur 110 °C auf.

In der Wassersäule wird eine Schichtung auch durch wechselnde Gehalte an  $^{18}\text{O}$  belegt. Spuren an  $^2\text{H}$  sind anzutreffen, außerdem sind im obersten Bereich geringe Konzentrationen an  $^3\text{H}$  nachzuweisen. Die Gehalte an Seltenerd-Elementen (SEE) liegen in den Wasserproben im Bereich von 0,5 - 10  $\mu\text{Mol kg}^{-1}$ . Die leichten SEE weisen eine Sorption an Schwebstoffe auf.

### 3. Galápagos-Rift

Die Komplexmassivsulfiderze im östlichen Teil des Galápagos-Riftes bei  $0^\circ 45' \text{ N } 85^\circ 51' \text{ W}$  und  $0^\circ 46' \text{ N } 85^\circ 55' \text{ W}$  sind ebenfalls durch einen porösen, lagig bis krustig-schaligen Aufbau gekennzeichnet und weisen gleichfalls charakteristische Kolloidalgefüge bzw. Geltexturen auf (vgl. z. B. TUFAR 1988, 1989, 1991, 1995 a, TUFAR, TUFAR & LANGE 1986). Stellenweise liegen Organismenreste (z. B. Polychaeten-Röhren), eingebettet in Erz, vor. Die Zusammensetzung der jeweiligen massiven Sulfiderze schwankt erheblich und reicht von praktisch nur aus Eisensulfid (Pyrit, Melnikovitpyrit, Markasit) bestehenden Bildungen bis zu solchen, die reich an Kupfersulfid (Kupferkies) und/oder Zinksulfid (Zinkblende, Wurtzit, Schalenblende) sind. Die Durchschnittsgehalte verschiedener Erzkörper betragen zwischen 0,34 % - 11,40 % Cu und 0,26 % - 26,90 % Zn (vgl. Tabelle 6). Das Hochtemperatur-Sulfid Chalkopyrrhotin tritt, im Gegensatz zu den Komplexmassivsulfiderzen vom Ostpazifischen Rücken, nur sehr untergeordnet auf. Sofern Bleiglanz überhaupt anzutreffen ist, liegt er wieder nur in Spuren vor. Gangart wird vorherrschend von röntgenamorpher Kieselsäure (Opal) gebildet, daneben kann etwas Anhydrit oder Baryt auftreten.

Die Komplexmassivsulfiderze weisen nur geringe Spurengehalte an Gold auf, jedoch teilweise höhere Spurenkonzentrationen an Silber (vgl. Tabelle 6). Als Silberträger treten wieder vor allem die Zinksulfide auf.

Neben den Komplexmassivsulfiderzen konnten als weitere und neue Typen hydrothermaler

Bildungen Mineralisationen nachgewiesen werden, die vorherrschend entweder aus Manganhydroxid, aus Limonit oder aus eisenreichem Montmorillonit (Fe-reicher "Proto-smektit") mit Limonit und röntgenamorphem  $\text{SiO}_2$  (Opal) bestehen.

Hydrothermal umgebildeter Basalt (Tholeiit) kann stellenweise durch eine reichliche Sulfidführung (vor allem Pyrit) ausgezeichnet sein, wobei gelegentlich auch Eisenglanz beibringt.

Das vorherrschend hydrothermale Sediment aus der Nachbarschaft der Schwarzen Raucher enthält öfters zahlreiche Bruchstücke des Komplexmassivsulfiderzes. Diese Sulfiderz-Bruchstücke zeigen häufig mit zunehmender Entfernung von den Schwarzen Rauchern starke bis völlige Verdrängung und Pseudomorphosierung durch Limonit. Die in diesem Lockersediment vorliegenden rezente Mikroorganismen zeigen ebenfalls häufig Verdrängung und Pseudomorphosierung durch Limonit. Im Lockersediment treten stellenweise außerdem Ausscheidungen von Manganhydroxid hydrothermalen Herkunft auf.

### 4. Rotes Meer

Im Roten Meer (vgl. z. B. DEGENS & ROSS 1969) finden sich eine Reihe von Hydrothermalen Becken (z. B. Shaban-Tief, Kebrit-Tief, Nereus-Tief, Valdivia-Tief, Atlantis II-Tief, Suakin-Tief), die sich durch sehr feinkörnige, geschichtete bis lamellierte, unterschiedliche Erzschlämme, z. B. oxidischer, sulfidischer, sulfatischer, karbonatischer und silikatischer Zusammensetzung, auszeichnen können. Am bekanntesten ist das Atlantis II-Tief, in dem gemischt oxidisch-sulfidische Erzschlämme bei einer Mächtigkeit bis etwa 25 m, im Durchschnitt von 10 - 11 m, eine circa  $60 \text{ km}^2$  große Lagerstätte bedecken.

Neben den Erzschlämmen tritt im Roten Meer auch Massivsulfiderz auf (vgl. z. B. PUCHELT 1984, TUFAR 1991, 1995 a). Deutlich verschieden von den Komplexmassivsulfiderzen vom Ostpazifischen Rücken und vom Galápagos-Rift ist das massive Sulfiderz vom Kebrit-Tief aus dem nördlichen Teil des Roten Mee-

res bei 24° 43,2' N, 36° 16,2' E und macht auf genetische Unterschiede aufmerksam (vgl. TUFAR 1991, 1995 a).

Dieses Massivsulfiderz (vgl. Tabelle 7) fällt durch beibrechenden Bleiglanz auf. Es liegt eine Paragenese vor, die öfters nur aus drei Sulfiden (Pyrit, Schalenblende, Bleiglanz) besteht und eine entsprechende chemische Zusammensetzung aufweist (max. 24,21 % Zn, 0,24 % Pb, 0,56 % Cu). Das Massivsulfiderz enthält gelegentlich Einschlüsse von Mikrofossilien (Foraminiferen, Diatomeen) und läßt stellenweise Auswirkungen einer Diagenese ersehen.

Deutliche Hinweise auf einen Einfluß kontinentaler Kruste für die laugenden hydrothermalen Lösungen gibt der stellenweise beibrechende Bleiglanz.

Vor drei Jahrzehnten gelangte das Rote Meer mit seinen Hydrothermallaugen-Becken durch die Fahrten der Forschungsschiffe *Discovery*, *Atlantis II* und *Chain* schlagartig in den Blickpunkt des wissenschaftlichen Interesses. Dennoch sollte nicht ganz vergessen werden, daß es bereits eine österreichische Forschungsfahrt unter NATTERER (1899, 1901) mit *SMS Pola* zu Ende des vorigen Jahrhunderts war, die zum ersten Mal einen Erzschlamm aus dem Zentralgraben des Roten Meeres geborgen hat. Der Analyse ist zu entnehmen, daß es sich bei diesem um einen oxidischen Erzschlamm handelte.

## 5. Bismarck-See

Der Nachweis einer rezenten, aktiven hydrothermalen Komplexmassivsulfid-Vererzung in der Bismarck-See (Papua-Neuguinea, vgl. Abb. 1, 47) im Westpazifik wurde durch die Forschungsfahrt OLGA II im Manus-Becken erbracht (vgl. z. B. TUFAR 1990, 1992 c, 1994, 1995 b, TUFAR & JULLMANN 1991, TUFAR & NÄSER 1992). Dieses liegt in Back-Arc-Position zum Neubritannien-Graben und zeigt eine Divergenzrate von mehr als 100 mm pro Jahr. Aus plattentektonischer Sicht bedingt die Unterschiebung der Salomonen-Platte unter die Bismarck-Platte entlang des Lineaments

des Neubritannien-Grabens Dehnungsbewegungen im Bereich des Spreizungsrückens im Manus-Becken.

Auffällig ist die im Streichen des Spreizungsrückens stark wechselnde Morphologie (vgl. Abb. 48 - 51). Während im Nordosten ein ausgeprägter Zentralgraben vorliegt, verflacht der Spreizungsrücken gegen Südosten zunehmend und geht dann schließlich in einen grabenlosen Rücken über. Als eine weitere Besonderheit konnte dort bei 3° 31,9' S, 149° 52,4' E, ein ausgedehnter submariner Vulkankegel ("Seamount") entdeckt werden (vgl. Abb. 48).

Im Nordosten ist häufig Tiefsee-Tholeiit (MORB) anzutreffen, außerdem tritt *Back-Arc-Becken-Basalt* (BABB) auf (vgl. Tabelle 7). Weit verbreitet ist homogene, massige, dichte, meist glasige Kissenlava (Pillowlava, vgl. Abb. 52 - 53, 55 - 58, 68 - 70, 89 - 90, 99 - 100), die öfters geriefte Oberflächen aufweist (vgl. Abb. 52 b). Dagegen untergeordnet tritt im nordöstlichen Bereich, vorzugsweise bei mäßigem Relief, Schichtlava bzw. Fladenlava i. w. S. (z. B. Stricklava, Pahoehoe, plattige Lava, lappige Lava) auf. Diese Lavatypen sowie Lavaströme und Lavatunnel zeigt dagegen der südwestliche Bereich häufiger (vgl. Abb. 54 - 55). Letztere weisen öfters Einbruchsstrukturen auf (vgl. Abb. 55).

Neben einer Reihe von rezenten hydrothermalen Anomalien, die auch durch Methan-Anomalien abgebildet werden, konnten vier größere Hydrothermalfelder am Spreizungsrücken des Manus-Beckens entdeckt werden (vgl. Abb. 48 - 49). Die Untersuchungen belegen eine Mindesterstreckung der mineralisierten Zone von Hydrothermalfeld 3 im Nordosten (3° 6,67' S, 150° 21,75' E) über Hydrothermalfeld 2 und Hydrothermalfeld 1 "Wienerwald" bis Hydrothermalfeld 4 im Südwesten bei 3° 22,18' S, 150° 2,24' E.

Eine besondere Bedeutung kommt dem Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“ (vgl. Abb. 48 - 50) mit seinen Schwarzen Rauchern (vgl. Abb. 56 - 67) zu. Die dort im Bereich der Austrittsstellen der Hydrothermen gebildeten Komplexmassivsulfiderz-Schornsteine bzw.

Erzkörper weisen häufig mehrere Zufuhrkanäle mit zonarem Aufbau der Erzmineralisation auf. Die Komplexmassivsulfiderz-Schornsteine treten öfters in Gruppen auf und finden sich bevorzugt auf Kissenlava (vgl. Abb. 56 - 58), können aber sogar auf älteren, umgestürzten und zerbrochenen Schwarzen Rauchern stehen (vgl. Abb. 63). Stellenweise kommt es zur Ausbildung von sehr hohen, sogar riesigen Komplexmassivsulfiderz-Schornsteinen, die über 20 bis 30 Meter Höhe bei entsprechenden Durchmesser erreichen können. Neben den Komplexmassivsulfiderz-Schornsteinen (Schwarze Raucher) wurden außerdem „Weiße Raucher“ vorgefunden. Diese bestehen vorwiegend aus Anhydrit und Opal, können aber stellenweise auch reichlich Baryt enthalten.

Besonders deutlich ausgebildet sind in Hydrothermalfeld 1 "Wienerwald" Übergänge von hydrothermal umgewandeltem und mineralisiertem Nebengestein (Tholeiit bzw. Kissenlava) zu Sulfid- bzw. Stockwerk-Vererzungen (vgl. Abb. 67) im zerklüfteten, brecciierten basaltischen Nebengestein, wobei diese Erzmineralisationen in Komplexmassivsulfid-Schornsteine oder -Krusten übergehen können.

Hinsichtlich Form, Aufbau und Auftreten der Komplexmassivsulfid-Erzkörper durchaus vergleichbar ist das etwas kleinere Hydrothermalfeld 2 (vgl. Abb. 48 - 50, 68), das aber bereits inaktiv ist.

Hydrothermalfeld 3 (vgl. Abb. 48 - 49, 51, 69 - 70) ist dagegen wieder aktiv, erstreckt sich im Streichen des Spreizungsrückens in NE-SW-Richtung und ist neben kleineren Komplexmassivsulfiderz-Schornsteinen öfters durch flächenbedeckende bis hügelartige Hydrothermalprodukte (z. B. Nontronit, Eisen-, Manganhydroxid) gekennzeichnet (vgl. Abb. 73).

Ebenfalls aktiv ist Hydrothermalfeld 4 (vgl. Abb. 48, 71 - 72, 99 - 100). Die dort am Tiefseeboden im Zentralgraben austretenden hydrothermalen Lösungen verfärben sich am Kontakt mit dem Meerwasser milchig, und es kommt zur Bildung von „Weißen Rauchern“ (vgl. Abb. 71 - 72).

Die Sedimente entlang des Spreizungsrückens im Manus-Becken sind aus wechselnden Anteilen hydrothermalen sowie detritärer und biogener Herkunft zusammengesetzt. Hydrothermales Sediment (vgl. Abb. 54, 56 - 58, 68, 73, 89, 99; Tabelle 9), auch in größeren Anreicherungen (vgl. Abb. 73), ist an die Austrittsstellen der Hydrothermen gebunden und findet sich noch in einiger Entfernung davon. Besonders Hydrothermalfeld 3, daneben auch Hydrothermalfeld 4, weisen stellenweise erhebliche Gehalte an hydrothermale Sediment auf, während hydrothermales Sediment in Hydrothermalfeld 1 "Wienerwald" und Hydrothermalfeld 2 zurücktreten kann. Das hydrothermale Sediment enthält wechselnde Gehalte an Eisenhydroxid und röntgenamorphem  $\text{SiO}_2$  (Opal-Gangart) sowie Nontronit etc., wobei das Eisenhydroxid mit steigender Entfernung von den Sulfidvererzungen zuzunehmen scheint. Nichtsulfidische, flächenbedeckende bis hügelartige und gelegentlich sogar schornsteinförmige hydrothermale (Erz-) Mineralisationen (vgl. Abb. 73) finden sich stellenweise vornehmlich in Hydrothermalfeld 3, sind aber auch in Hydrothermalfeld 1 "Wienerwald" anzutreffen. Häufig weisen die betreffenden hydrothermalen Mineralisationen noch einen schwarzen Überzug bis Anflug von Manganhydroxid auf (vgl. Abb. 73), wie er ähnlich auch am Ostpazifischen Rücken bei  $21^\circ 30' \text{ S}$  zu beobachten ist.

Sehr hohe Buntmetallkonzentrationen (vgl. Tabelle 10) kennzeichnen die Komplexmassivsulfid-Schornsteine in Hydrothermalfeld 1 "Wienerwald" (vgl. Abb. 56 - 67), die stellenweise über 20 m bis 30 m Höhe erreichen. Sie zeichnen sich durch ein Vorherrschen der Zinksulfide aus, die Durchschnittswerte von 30 % bis 40 % erreichen. Eisensulfide sind mit 20 % - 30 % beteiligt, außerdem können noch erhebliche Gehalte an Kupfersulfid hinzutreten (bis 5 %, durchschnittlich 2 % oder etwas darunter). Stellenweise liegen bemerkenswerte Bleigehalte vor (bis 2,5 %).

In der Paragenese herrschen meist Wurtzit (vgl. Abb. 67, 74 - 81, 86), Zinkblende (vgl. Abb. 67, 75 - 77, 80 - 81, 83) und Schalenblende (vgl. Abb. 74, 76 - 77) vor, daneben

Pyrit (vgl. Abb. 66 b, 74, 76 - 78, 83 - 87), Melnikovitpyrit, Markasit (vgl. Abb. 74 - 75, 84) und stellenweise Kupferkies (vgl. Abb. 66 b, 75 - 76, 78 - 81, 83, 86, 98). Bleiglanz (vgl. Abb. 74, 81 - 82, 86 - 87) tritt gelegentlich als akzessorische Phase, manchmal als Nebengemengteil und stellenweise sogar als Hauptgemengteil hinzu. Hin und wieder ist sogar das Bleioxid Plattnerit als primäre akzessorische Phase anzutreffen (vgl. Abb. 82).

Nur als ausgesprochene Seltenheit konnte das Hochtemperatur-Sulfid Chalkopyrrhotin (vgl. Abb. 79, 83) nachgewiesen werden, obwohl dieser in derartigen Erzmineralisationen durchaus verbreitet sein kann. Daraus kann abgeschätzt werden, daß die (Austritts-) Temperaturen mineralisierender Lösungen in den betreffenden Bildungen 300 °C bis 350 °C bzw. die für eine Bildung von Chalkopyrrhotin notwendige Temperatur meist nicht erreicht haben. Dieses wichtige Ergebnis wird durch die gemessenen Austritts-Temperaturen von hydrothermalen Lösungen bestätigt, die maximal Werte um 275 °C ergaben.

Akzessorisch können u. a. auch Realgar und Auripigment auftreten.

Die komplexe Massivsulfid-Paragenese wird durch unterschiedliche Gehalte an Gangart ergänzt. Diese besteht vor allem aus röntgenamorphem SiO<sub>2</sub> bzw. Opal (vgl. Abb. 52 b, 56, 73, 75 - 87), daneben aus Baryt (vgl. Abb. 52 b, 56, 84) sowie gelegentlich aus Anhydrit (vgl. Abb. 52 b, 56). Gelegentlich tritt außerdem elementarer Schwefel auf.

Typisch für die Komplexmassivsulfiderze sind stellenweise reichlich auftretende rhythmische Fällungen mit komplex zusammengesetzten Abfolgen bzw. kolloidale Massen, wie sie ansonsten für niedrig temperierte Bildungen typisch sind. Wie diese Mineralparagenese ebenfalls zeigt, hat sich kein chemisches Gleichgewicht eingestellt.

Kennzeichnend sind außerdem höhere Spurengehalte von Silber (max. 1036 g/t) und stellenweise sehr hohe Spurenkonzentrationen an Gold (max. 1,53 oz/t bzw. 52,5 g/t) (vgl. Ta-

belle 11). Hauptsilberträger stellen einerseits die Zinksulfide dar, andererseits finden sich höhere Silbergehalte mit Bleiglanz. Gold ist im Komplexmassivsulfiderz auch in gediegener Form zu beobachten (vgl. Abb. 86 - 87). Davon deutlich zu unterscheiden ist das Auftreten von gediegenem Gold, das sogar als Gemengteil einer primären Sulfid-Paragenese in Basalt nachgewiesen werden konnte (vgl. Abb. 88). Diese setzt sich vor allem aus Kupferkies und Magnetkies zusammen.

Die rezente hydrothermale Aktivität zeichnet sich überaus eindrucksvoll nicht nur durch die Bildung einer Komplexmassivsulfiderz-Mineralisation (Schwarze Raucher) aus, sondern auch durch die Ermöglichung von Leben.

Nähert man sich Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“, aber auch Hydrothermalfeld 2 und Hydrothermalfeld 3, so kann stellenweise, meist in mehr randlichen Bereichen dieser Hydrothermalfelder, plötzlich ein gehäuftes Auftreten von Organismen, vor allem von Tiefseekorallen, großen Schwämmen und sessilen Staatsqualen, beobachtet werden (vgl. Abb. 89 - 90).

Direkt geknüpft an die Hydrothermen-Austritte und an die Komplexmassivsulfid-Schornsteine ist, wie besonders schön Hydrothermalfeld 1 "Wienerwald" ersehen läßt, eine charakteristische individuenreiche Hydrothermalfauna (vgl. Tabelle 12, Abb. 52 b, 56 - 63, 65 - 66, 90 - 96) mit vorherrschend Schnecken (Mesogastropoda, vgl. Abb. 56 - 63, 65, 91 - 92, Archaeogastropoda, vgl. Abb. 91, 93), Seepocken (Cirripedia, vgl. Abb. 59 - 61, 65 - 66), anomuren Krebsen bzw. Springkrebse (Galatheidae, vgl. Abb. 52 b, 56 - 58, 60, 63, 90), blinden Krabben (Bythograeidae, vgl. Abb. 61, 63, 65, 95), Garnelen (Bresiliidae), außerdem sessilen Seegurken (Holothurioidea, vgl. Abb. 57 - 61, 63, 89), Meeresborstenwürmern (Polychaeta, vgl. Abb. 96), Seeanemonen (Anthozoa, Actinia, vgl. Abb. 90), Fischen (vgl. Abb. 57) und anderen. Diese Fauna enthält weltweit bisher unbekannt neue Arten (z. B. Mesogastropoda: *Olgacocha tufari* L. A. BECK, 1991 n. gen. et n. spec., vgl. Abb. 59 - 62, 63, 91, Archaeo-

gastropoda: *Symmetromphalus hageni* L. A. BECK, 1992 n. spec., vgl. Abb. 93, *Olgasolaris tollmanni* L. A. BECK, 1992 n. gen. et n. spec., vgl. Abb. 91, *Shinkailepas tufari* L. A. BECK, 1992 n. spec., *Lepetodrilus schrolli* L. A. BECK, 1993 n. spec.). Eingehende systematische Untersuchungen dieser speziellen und neuen Hydrothermalfauna mit Erstbeschreibungen gibt BECK (1991, 1992 a, 1992 b, 1993, 1994).

Häufig weisen aktive Komplexmassivsulfid-Schornsteine einen dichten Besatz aus vorherrschend Mesogastropoden, begleitet von Seepocken, Crustaceen und Holothurien usw. auf (vgl. Abb. 59 - 62, 65 - 66). Dieser dichte Besatz von Organismen um die aktiven Schwarzen Raucher wird von nur schwach gefärbter bis farbloser hydrothermalen Lösung mit Temperaturen zwischen 20 °C bis 30 °C und darüber durchströmt, während obendrein in engster Nachbarschaft im selben Schwarzen Raucher aus Zufuhrkanälen hydrothermale Lösung mit Austrittstemperaturen bis um 275 °C auströmt, die sich am Kontakt mit dem Meerwasser (Temperaturen etwas unterhalb 3 °C) durch Sulfidfällung dunkel verfärbt.

Als eine weitere Besonderheit kommt es im Komplexmassivsulfidzonen sogar zur rezenten Fossilisation (vgl. Abb. 84 - 85, 97 - 98), z. B. der schwarzen Schnecke *Olgaconcha tufari* L. A. BECK, 1991 n. gen. et n. spec.

Äußerst bemerkenswert ist außerdem, daß die aus der Tiefsee aus dem Besatz von Schwarzen Rauchern geborgenen Schnecken (schwarze Schnecke *Olgaconcha tufari* L. A. BECK, 1991 n. gen. et n. spec., „behaarte“ Schnecke *Alviniconcha cf. hessleri* OKUTANI & OHTA, 1988 - bei der „Behaarung“ handelt es sich eigentlich um Periostracum-Borsten) sowie bestimmte Krabben (*Bythograeidae: Austinograea alayseae* GUINOT, 1989) trotz des enormen Druckunterschiedes von etwa 250 Bar (!) noch zwei Wochen an Bord von FS *Sonne* bei normalem Atmosphärendruck lebten (vgl. Abb. 91 - 92, 95).

Die überaus charakteristische hydrothermale Fauna von Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“ wird von Mesogastropoden dominiert, vor al-

lem durch die schwarze Schnecke *Olgaconcha tufari* L. A. BECK, 1991 n. gen. et n. spec., gegen die die „behaarte“ Schnecke *Alviniconcha cf. hessleri* OKUTANI & OHTA, 1988 deutlich zurücktritt. Darüber hinaus können stellenweise reichlich Seepocken, anomure Crustaceen, blinde Krabben und Garnelen auftreten, außerdem finden sich u. a. Napfschnecken (Archaeogastropoden), Meeresborstenwürmer (Polychaeten), Seegurken (Holothurien), Seeanemonen (Anthozoen, Aktinien), Fische usw.

Diese hydrothermale Fauna ist charakteristisch für den nordöstlichen Bereich des Untersuchungsgebietes am Manus-Spreizungsrücken mit der Typokalität Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“ sowie Hydrothermalfeld 3 (vgl. Abb. 69 - 70).

Deutlich davon unterschieden ist der südwestliche Bereich des Untersuchungsgebietes am Manus-Spreizungsrücken mit Hydrothermalfeld 4. Für dieses ist dagegen eine Hydrothermalfauna (vgl. Abb. 71 - 72, 99 - 100) kennzeichnend, die sich vor allem durch ein massenweises Auftreten von bestimmten Pogonophoren (*Ridgeia spec.*) und rosa Seeanemonen (n. spec.) auszeichnet, daneben finden sich u. a. anomure Krebse (*Munidopsis spec.*) und Krabben (*Bythograea spec.*).

Das Auftreten der kennzeichnenden Pogonophoren (*Ridgeia spec.*) und das Fehlen der schwarzen Schnecke *Olgaconcha tufari* L. A. BECK, 1991 n. gen. et n. spec. sowie der „behaarten“ Schnecke *Alviniconcha cf. hessleri* OKUTANI & OHTA, 1988 veranschaulichen, daß sich die Hydrothermalfauna in Hydrothermalfeld 4 deutlich von jener im benachbarten Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“ und Hydrothermalfeld 3 unterscheidet, dafür aber gewisse Ähnlichkeiten mit der Hydrothermalfauna vom Ostpazifischen Rücken und vom Galápagos-Rift aufweist.

Den Beginn der Nahrungskette für die verblüffend reiche Fauna im Bereich der hydrothermalen Quellaustritte stellen wieder chemoautotrophe und heterotrophe, z. T. extrem thermophile Archaeobakterien dar. Ein coccoider Organismus (*Pyrococcus spec.*), der aus Proben

von Komplexmassivsulfiderz isoliert und kultiviert werden konnte, wächst bei einer Temperatur bis 103 °C.

## 6. Tyrrhenisches Meer

Eine rezente Komplexmassivsulfiderz-Mineralisation ist mittlerweile auch vom Tiefseeberg Palinuro aus dem südöstlichen Tyrrhenischen Meer bei 39° 32,44' N, 14° 42,06' E, nördlich von Sizilien und den Liparischen Inseln, bekannt (vgl. z. B. MINNITI & BONAVIA 1984, PUCHELT & LASCHEK 1986, TUFAR 1991, 1992 b, 1995 b). Am Tiefseeberg Palinuro tritt in cirka 630 m Wassertiefe eine in chemischer wie mineralogischer Hinsicht sehr komplexe Massivsulfiderz-Mineralisation (vgl. TUFAR 1991, 1992 b, 1995 b) auf, die aus Sulfiden, Sulfosalzen und Sulfat-Gangart besteht (vgl. Tabelle 13). Diese Paragenese zeichnet sich durch hohe Gehalte an Bleiglanz (vgl. Abb. 102 - 106, 108) und Baryt (vgl. Abb. 101 - 103, 105 - 106, 108) aus. Weitere Hauptgemengteile bilden Pyrit (vgl. Abb. 101 - 108), Melnikovitpyrit (vgl. Abb. 101, 106), Zinkblende (vgl. Abb. 107) und Schalenblende (vgl. Abb. 101 - 102, 105 - 108), Nebengemengteile u. a. Markasit, Enargit und Kupferkies, Akzessorien z. B. Tennantit (vgl. Abb. 103), Bravoiit, Covellin sowie ein weiteres Sulfosalz, vermutlich Jordanit. Das Auftreten von Enargit und Tennantit läßt ersehen, daß eine eisenarme Buntmetall-Mineralisation vorliegt. Die Erzmineralisation ist durch sehr hohe Spurengehalte an Quecksilber (max. 0,67 %) gekennzeichnet. Interessante Spurenkonzentrationen finden sich bei den Edelmetallen Silber und Gold. Die auftretenden Verwachsungen sind häufig feinkörnig ausgebildet. Vielfach liegen komplexe rhythmische Abfolgen vor, Kolloidalgefüge bzw. Geltexturen sind verbreitet (vgl. Abb. 101). Darüber hinaus machen plastische, sedimentäre Deformation und Faltung von Erzlagen auf das Vorliegen eines ursprünglich unverfestigten Erzschlammes aufmerksam (vgl. Abb. 106). Typisch für die Erzmineralisation sind häufig anzutreffende diagenetische Gefüge (!), die besonders ein-

drucksvoll von Bleiglanz abgebildet werden (vgl. Abb. 103 - 105). Eine weitere Besonderheit dieses Vorkommens stellen im Komplexmassivsulfiderz erhaltene bzw. pseudomorphosierte laminierte Matten von Mikroorganismen dar, wahrscheinlich liegen Bakterienmatten vor (vgl. Abb. 107).

## 7. Schlussfolgerungen und Ausblick

Aktive Spreizungsrücken stellen Zonen des Magmenaufstieges aus dem Erdmantel und der Akkretion ozeanischer Kruste dar und sind daher Bereiche, in denen in erheblichem Maße Energie in Form von Wärme aus dem Erdmantel gefördert und abgegeben wird.

Gebunden an die aktiven Spreizungsrücken und deren kontinuierliche Neubildung ozeanischer Kruste ist stellenweise eine intensive hydrothermale Aktivität und Lagerstättenbildung, eine rezente Förderung und Anhäufung geogener Wertstoffe und Schadstoffe (vgl. Tabelle 2 - 4, 6 - 7, 9 - 11, 13). Diese wird besonders eindrucksvoll durch eine stellenweise auftretende rezente hydrothermale Lagerstättenbildung von Komplexmassivsulfiderz dokumentiert.

Bergwirtschaftlich kommt den rezenten hydrothermalen Komplexmassivsulfiderzen Bedeutung als wichtige mögliche Rohstoffquelle für die Zukunft zu. Über anhaltende Hydrothermal-Prozesse wird eine kontinuierliche dynamische Regeneration der Erzreserven gewährleistet.

Bei diesen Komplexmassivsulfiderzen handelt es sich zwar häufig um rasch wachsende, aber in geologischen Zeiträumen gedacht, meist nur um kurzlebige Bildungen. Sobald die betreffenden Hydrothermen ihre Produktion einstellen, setzt unverzüglich die Halmyrolyse (untermeerischer, der Verwitterung prinzipiell vergleichbarer Vorgang der Mineralzersetzung und Mineralneubildung) im sauerstoffreichen Tiefenwasser des Ozeans ein, und durch Oxidation kommt es zur Auflösung der Komplexmassivsulfiderze. Zu Beginn dieses Vorganges gewähren die sich außen um die Erzkörper

bildenden Verwitterungsbildungen und -krusten (Limonit usw.) einen gewissen Schutz. Durch fortschreitende Oxidation wird das Komplexmassivsulfiderz vollständig von den halmyrolytischen Neubildungen verdrängt, die aber selbst letztlich bei Fortschreiten dieses Prozesses im sauerstoffreichen Tiefenwasser aufgelöst werden.

Die rezenten Komplexmassivsulfiderze können nur erhalten bleiben, wenn sie rasch nach dem Versiegen der Hydrothermen der Einwirkung des oxidierenden Tiefenwassers entzogen werden. Auf Grund des besonderen geologischen Milieus dieser Lagerstättenbildung, die sich jeweils im Zentralgraben eines aktiven Spreizungsrückens vollzieht, also im jüngsten Teil eines Ozeans, scheidet eine Bedeckung mit normalem Sediment zwangsläufig aus. In diesem Bereich reicht die normale Sedimentationsrate bei weitem nicht aus, um die Komplexmassivsulfiderze rasch und noch vor deren Auflösung der Oxidation zu entziehen. Als Möglichkeit für eine Erhaltung der Komplexmassivsulfiderze bleibt nur deren Bedeckung bzw. Überdeckung mit Lava, um dadurch einen Schutz gegen die einwirkende Halmyrolyse mit Oxidation im sauerstoffreichen Tiefenwasser zu erreichen. Dies stellt sicher einen extrem seltenen Ausnahmefall dar.

Nicht nur für die Geowissenschaften, auch für die Biologie hat sich durch die Entdeckung und Untersuchung der am Tiefseeboden auftretenden rezenten hydrothermalen Aktivität mit ihren Hydrothermalquellen und der Bildung von rezenten Komplexmassivsulfiderz-Lagerstätten (Schwarze Raucher) sowie den daran geknüpften Biotopen mit individuenreicher hydrothermalen Fauna unerwartet ein völlig neues, wichtiges Forschungsgebiet mit wesentlichen Erkenntnissen über neuartige Lebensformen eröffnet (vgl. z. B. GRASSLE 1988, JANNASCH 1985, 1994, LUTZ & KENNISH 1993, STETTER 1985, VAN DOVER 1995).

Verbunden mit der rezenten hydrothermalen Aktivität und Komplexmassivsulfiderz-Lagerstättenbildung ist das Auftreten und die Konzentration einer speziellen Fauna. Der im jeweiligen Zentralgraben über weite Strecken

äußerst dünn besiedelte Tiefseeboden gleicht einer leblosen Wüste. Dagegen findet und konzentriert sich eine individuenreiche hydrothermale Fauna dann plötzlich in dem scheinbar unwirtlichen, toxischen Milieu um die Quellaustritte der hydrothermalen Lösungen. Wegen der hohen Konzentrationen an Schwer- und Buntmetallen sowie Schwefel in den hydrothermalen Lösungen ist dieses Auftreten einer reichhaltigen Fauna überaus erstaunlich: die rezente geogene Förderung und Anhäufung von Wertstoffen oder Schadstoffen, je nach Sicht, geht einher mit einer Konzentration von Leben in diesem ansonsten unwirtlichen Bereich der Tiefsee.

Neben Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ) und Methan ( $CH_4$ ) kommen Eisen sowie weitere Schwer- bzw. Buntmetalle (z. B. Cu, Zn, Pb, Cd, Tl, Hg, As) aus den Hydrothermen in derart hohen Konzentrationen zur Förderung, daß normalerweise eine absolut toxische Wirkung anzunehmen wäre. Aus biologischer Sicht handelt es sich somit eindeutig um Schadstoffe und eine geogene Schadstoff-Förderung erheblichem Ausmaßes. Dennoch toleriert eine hochspezialisierte Fauna die Schwermetall-Gifte in diesem Lebensraum nicht nur, sondern gedeiht dort sogar besonders gut.

Die hierfür notwendigen physiologischen Adaptationen sind allerdings bisher ebenso ein Rätsel wie es die Anpassungen an die z. T. extremen Temperaturen sind. So beträgt die Temperatur in den Wurmröhren einiger Meeresborstenwürmer (Polychaeten, z. B. Alvinelliden) dauerhaft bis ca.  $60\text{ }^\circ\text{C}$ , und sogar Temperaturen von über  $100\text{ }^\circ\text{C}$  werden für einige Minuten ertragen. Diese außergewöhnliche Temperatur- und Schadstoff-Toleranz läßt die Diskussion um anthropogenen und geogenen Schadstoff-Eintrag ins Meer und deren Wirkung auf marine Ökosysteme in neuem Licht erscheinen.

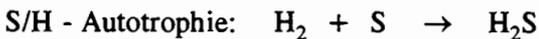
Den Beginn der Nahrungskette repräsentieren z. T. extrem thermophile, chemoautotrophe Archaeobakterien, außerdem treten auch z. T. extrem thermophile heterotrophe Archaeobakterien auf. Die Archaeobakterien sind als Primärproduzenten dem Leben bei hohen Temperaturen und in reduzierendem Milieu angepaßt

und nutzen die ausströmenden Hydrothermen als für dieses spezielle Leben notwendige Energiequelle.

Chemosynthetische (Archae-) Bakterien haben mit den photosynthetischen Pflanzen gemeinsam, daß sie Kohlendioxid zu organischen Kohlenstoffverbindungen reduzieren können (*Autotrophie*). An Stelle von Licht als notwendige Energie (*Photoautotrophie*) können sie bestimmte anorganische Verbindungen unter Energiegewinnung oxidieren, d. h. veratmen (*Chemoautotrophie*). Wasserstoff, Schwefelwasserstoff, elementarer Schwefel, Thiosulfat, Nitrit, Methan, Kohlenmonoxid und die reduzierten Verbindungen von Eisen und Mangan können hierbei genutzt werden. Da diese Stoffe über das Nebengestein, die neugebildete ozeanische Kruste, bezogen werden, spricht man von *Chemolithoautotrophie*.

Extrem thermophile Archaeobakterien leben z. T. strikt anaerob und können elementaren Schwefel zu Sulfid veratmen (z. B. *Pyrodicticum*, *Thermococcus*), andere wiederum bilden Schwefelwasserstoff (z. B. *Archaeoglobus*).

Energieliefernde Reaktionen sind z. B.:



Von dieser Ausgangsbiomasse lebt eine relativ artenreiche sowie individuenreiche Makrofauna. Aufbauend auf einem dichten Besatz von z. T. extrem thermophilen, chemoautotrophen Archaeobakterien haben sich vor allem viele filtrierende Benthosorganismen sowie einige Räuber und Aasfresser angesiedelt. Bei einigen Arten ist Endosymbiose mit chemoautotrophen Bakterien nachgewiesen (z. B. *Alviniconcha* cf. *hessleri* OKUTANI & OHTA, 1988), bei anderen durchaus wahrscheinlich (z. B. *Oligaconcha tufari* L. A. BECK, 1991 n. gen. et n. spec.).

Diese individuenreiche Fauna im Bereich der hydrothermalen Quellaustritte kann auch als Besatz auf den aktiven Komplexmassivsulfiderz-Schornsteinen oder sogar rezent (!) fossilisiert in den Schwarzen Rauchern beobachtet werden. Die Fauna umfaßt das vagile und

sessile Benthos, nämlich Gastropoden, Crustaceen, Holothurien, Cnidarier usw. In der Umgebung der Hydrothermen befindet sich zusätzlich ein umfangreiches Nekton mit Cephalopoden, Knochenfischen (Osteichthyes) und Knorpelfischen (Chondrichthyes).

Die rezente hydrothermale Aktivität und Komplexmassivsulfiderz-Lagerstättenbildung mit ihren Schwarzen Rauchern bildet nicht nur die Lebensgrundlage für heutige hydrothermale Tiefsee-Lebensgemeinschaften, sondern ermöglicht sogar deren Fossilisation.

Die rezente hydrothermale Aktivität wird besonders eindrucksvoll durch die Bildung von Komplexmassivsulfiderz-Lagerstätten mit den charakteristischen Schwarze Raucher an aktiven Spreizungsrücken dokumentiert. Die Komplexmassivsulfiderze bzw. die Schwarzen Raucher enthalten nur einen geringen Teil der rezenten hydrothermalen Metall-Förderung an aktiven Spreizungsrücken. Die Hauptmenge liegt in Form oxidischer hydrothermalen Sedimente vor, also oxidischer Erzschlämme.

Das gesamte Sulfid der hydrothermalen Lösung, dessen Menge als reduzierter Sulfatanteil des ursprünglichen Meerwassers begrenzt ist, zuzüglich geringer Mengen aus der ozeanischen Kruste bzw. aus dem Basalt selbst, wird unmittelbar an den Austrittsstellen der Hydrothermen am Ozeanboden der Tiefsee durch Ausfällung der Metall-Sulfide aufgebraucht. Die verbleibende Hauptmenge an gelaugten bzw. gelösten Metall-Ionen in der ausgeströmten hydrothermalen Lösung fällt als Hydroxide aus, und zwar in riesigen Mengen und in einem weiten Umkreis, abhängig von der Meeresströmung, selbst noch Hunderte bis über Tausend Kilometer von der Austrittsstelle entfernt. Sofern keine zu starke Verdünnung mit anderen Bestandteilen eintritt (z. B. Globigerinen-Schlämme), können diese "oxidischen hydrothermalen Sedimente" oder "oxidischen Erzschlämme" große Bereiche einnehmen und bedecken, ihre Hauptkomponenten sind Eisen- und Mangan-Oxi-Hydroxide. Derartige Sedimente können einen asymmetrischen Hof ("Halo") um die Austrittsstellen der Hydrothermen auf dem Ozeanboden der Tiefsee bilden.

Betrachtet man auf den Kontinenten bekannte syngenetische "fossile" Buntmetall-Lagerstätten, die in einem marinen Milieu zur Bildung gelangten, so zeigt sich, daß diese teilweise durch solche paragenetischen Verhältnisse und Gefüge gekennzeichnet sind, die auch in den rezenten Komplexmassivsulfiderzen (Schwarze Raucher) anzutreffen sind. So können vorsichtige Vergleiche zwischen fossilen Erzmineralisationen bzw. bekannten "fossilen" syngenetischen Buntmetall-Lagerstätten und den rezenten Komplexmassivsulfiderzen versucht werden.

Die Komplexmassivsulfiderze vom Tiefseeberg Palinuro in der Tyrrhenis eröffnen z. B. Möglichkeiten für paragenetische Vergleiche mit der syngenetischen triadischen Buntmetall-Lagerstätte Veovača in Bosnien (vgl. Abb. 109) und auf Grund der auftretenden diagenetischen Gefüge sogar mit den kalkalpinen Blei-Zink-Lagerstätten vom Typ Bleiberg-Kreuth (Kärnten) - Mežica-Topla (Slowenien).

Mit der einzigartigen Möglichkeit, die Ausfällung von Sulfiden aus hydrothermalen Lösungen und damit die Entstehung von Komplexmassivsulfiderz-Lagerstätten direkt am Ozeanboden der Tiefsee beobachten und untersuchen zu können, lassen sich wesentliche neue Erkenntnisse für die Lagerstättenkunde gewinnen. Es ist faszinierend, an aktiven Spreizungsrücken am Ozeanboden der Tiefsee Vorgänge direkt zu beobachten und zu untersuchen, die in der geologischen Vergangenheit zur Bildung "fossiler", in Abbau befindlicher Lagerstätten beigetragen haben. Diese kamen zwar ursprünglich in einem marinen Milieu zur Bildung, befinden sich aber heute durch nachfolgende geologische Vorgänge und Prozesse auf den Kontinenten. Eine genaue Beobachtung und Untersuchung der rezenten Vorgänge, die sich am Ozeanboden der Tiefsee abspielen, läßt bei vorsichtiger Deutung auch wichtige Erkenntnisse für die genetische Klärung der Bildung von Lagerstätten in der geologischen Vergangenheit gewinnen. Vor übereilten Schlußfolgerungen und Parallelisierungen wird man sich aber hüten müssen. Es sind revolutionierende Erkenntnisse für die Geowissenschaften allgemein, ebenso für

Nachbardisziplinen (z. B. Ozeanographie, Geographie, Biologie) wie für die künftige weltweite Rohstoffversorgung zu erwarten.

### Danksagung

Für die großzügige Förderung meines Forschungsprojektes OLGA gilt mein Dank dem Deutschen Bundesminister für Forschung und Technologie (BMFT) in Bonn und da besonders auch Herrn Prof. Dr. H. BUNGENSTOCK.

### Literatur

- BARRETT, T. J. & JAMBOR, J. L. (Hrsg.) 1988  
Seafloor hydrothermal Mineralization. - Canadian Mineralogist, Bd. 26, Teil 3.
- BECK, L. A. 1991  
*Olgaconcha tufari* n. gen. et n. sp. - a new mesogastropod (Gastropoda: Prosobranchia) from hydrothermal vents in the Manus Back-Arc Basin (Bismarck Sea, Papua New Guinea). - Ann. Naturhist. Mus. Wien, Bd. 92, Serie B, 277 - 287, Wien.
- BECK, L. A. 1992 a  
*Symmetromphalus hageni* sp. n., a new neomphalid gastropod (Prosobranchia: Neomphalidae) from hydrothermal vents at the Manus Back-Arc Basin (Bismarck Sea, Papua New Guinea). - Ann. Naturhist. Mus. Wien, Bd. 93, Serie B, 243 - 257, Wien.
- BECK, L. A. 1992 b  
Two new neritacean limpets (Gastropoda: Prosobranchia: Neritacea: Phenacolepadidae) from active hydrothermal vents at Hydrothermal Field 1 "Wienerwald" in the Manus Back-Arc Basin (Bismarck Sea, Papua New Guinea). - Ann. Naturhist. Mus. Wien, Bd. 93, Serie B, 259 - 275, Wien.
- BECK, L. A. 1993  
Morphological and anatomical studies on a new lepetodrilacean limpet (Gastropoda, Prosobranchia) from hydrothermal

- drothermal vents at the Manus Back-Arc Basin (Bismarck Sea, Papua New Guinea). - *Ann. Naturhist. Mus. Wien*, Bd. 94/95, Serie B, 167 - 179, Wien.
- BECK, L. A. 1994  
Anpassungen an hydrothermales Milieu bei Tiefseeschnecken. - *Mitt. dtsh. malakozool. Ges.*, Bd. 54, 1 - 2, Frankfurt am Main.
- BISCHOFF, J. L., ROSENBAUER, R. J., ARUSCAVAGE, P. J., BAEDECKER, P. A. & CROCK, J. G. 1983  
Sea-Floor Massive Sulfide Deposits from 21° N, East Pacific Rise; Juan de Fuca Ridge; and Galapagos Rift: Bulk Chemical Composition and Economic Implications. - *Econ. Geol.*, Bd. 78, Nr. 8, 1711 - 1720, Lancaster, Pennsylvania.
- CORLISS, J. B., DYMOND, J., GORDON, L. I., EDMOND, J. M., HERZEN, R. P. VON, BALLARD, R. D., GREEN, K., WILLIMAS, D., BAINBRIDGE, A., CRANE, K. & VAN ANDEL, T. H. 1979  
Submarine Thermal Springs on the Galapagos Rift. - *Science*, Bd. 203, Nr. 4385, 1073 - 1083, Washington.
- DEGENS, E. T. & ROSS, D. A. 1969  
Hot Brines and Recent Heavy Metal Deposits in the Red Sea. - Springer-Verlag, New York - Berlin - Heidelberg.
- EDMOND, J. M., VON DAMM, K. L., MCDUFF, R. E. & MEASURES, C. I. 1982  
Chemistry of hot springs on the East Pacific Rise and their effluent dispersal. - *Nature*, Bd. 297, 187 - 191, London.
- FRANCHETEAU, J., NEEDHAM, H. D., CHOUKROUNE, P., JUTEAU, T., SÉGURET, M., BALLARD, R. D., FOX, P. J., NORMARK, W., CARRANZA, A., CORDOBA, D., GUERRERO, J., RANGIN, C., BOUGAULT, H., CAMBON, P. & HEKINIAN, R. 1978  
Découverte par submersible de sulfures polymétalliques massifs sur la dorsale du pacifique oriental par 21° N. - *C. R. Acad. Sc. Paris*, 287, Series D, 1365 - 1368, Paris.
- FRANCHETEAU, J., NEEDHAM, H. D., CHOUKROUNE, P., JUTEAU, T., SÉGURET, M., BALLARD, R. D., FOX, P. J., NORMARK, W., CARRANZA, A., CORDOBA, D., GUERRERO, J., RANGIN, C., BOUGAULT, H., CAMBON, P. & HEKINIAN, R. 1979  
Massive deep-sea sulphide deposits discovered on the East Pacific Rise. - *Nature*, 277, 523 - 528, London.
- GOLDFARB, M. S., CONVERSE, D. R., HOLLAND, H. D. & EDMOND, J. M. 1983  
The Genesis of Hot Spring Deposits on the East Pacific Rise, 21° N. - *Econ. Geol.*, Monograph 5, 184 - 197, Lancaster, Pennsylvania.
- GRASSLE, F. 1988  
A Plethora of Unexpected Life. - *Oceanus*, Bd. 31, Nr. 4, 41 - 46, Woods Hole, Massachusetts.
- GUNDLACH, H., MARCHIG, V. & BÄCKER, H. 1983  
Neue Erzfundte im Pazifik, "Geometep 3" - Dritte deutsche Forschungsfahrt zu aktiven Plattenrändern im Pazifik. - *Erzmetall*, Bd. 36, 495 - 500, Weinheim.
- HARTMANN-SCHRÖDER, G. 1992  
Zur Polychaetenfauna in rezenten hydrothermalen Komplexmassivsulfiderzen ("Schwarze Raucher") am Ostpazifischen Rücken bei 21° 30' S. - *Helgoländer Meeresunters.*, Vol. 46, 389 - 403, Hamburg.
- HAYMON, R. M. & KASTNER, M. 1981  
Hot spring deposits on the East Pacific Rise at 21° N: preliminary description of mineralogy and genesis. - *Earth Planet. Sci. Lett.*, Bd. 53, 363 - 381, Amsterdam.
- HEKINIAN, R., FEVRIER, M., BISCHOFF, J. L., PICOT, P. & SHANKS, W. C. 1980  
Sulfide Deposits from the East Pacific Rise Near 21° N. - *Science*, Bd. 207, 1433 - 1444, Washington.
- HEKINIAN, R., ROSENDAHL, B. R., CRONAN, D. S., DIMITRIEV, Y., FODOR, R. V., GOLL, R. M., HOFFERT, M., HUMPHRIS,

- S. E., MATTEY, D. P., NATLAND, J., PETERSEN, N., ROGGENTHEN, W., SCHRADER, E. L., SRIVASTAVA, R. K. & WARREN, N. 1978  
Hydrothermal deposits and associated basement rocks from the Galapagos Spreading Centre. - *Oceanologica Acta*, Bd. 1, Nr. 4, 473 - 482, Paris.
- JANNASCH, H. W. 1985  
Leben in der Tiefsee auf chemosynthetischer Basis. - *Naturwissenschaften*, Bd. 72, 285 - 290, Berlin - Heidelberg.
- JANNASCH, H. W. 1994  
Neuartige Lebensformen an den Thermalquellen der Tiefsee. - *Vorträge Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften*, N 409, 1 - 51, Opladen.
- LUTZ, R. A. & KENNISH, M. J. 1993  
Ecology of deep-sea hydrothermal vent communities: A review. - *Reviews of Geophysics*, Bd. 31, Nr. 3, 211 - 242.
- MALAHOFF, A., EMBLEY, R. W., CRONAN, D. S. & SKIRROW, R. 1983  
The Geological Setting and Chemistry of Hydrothermal Sulfides and Associated Deposits from the Galapagos Rift at 86° W. - *Marine Mining*, Bd. 4, Nr. 1, 123 - 137, New York.
- MINNITI, M. & BONAVIA, F. F. 1984  
Copper-ore grade hydrothermal mineralization discovered in a seamount in the Tyrrhenian Sea (Mediterranean): is the mineralization related to porphyry-coppers or to base metal lodes? - *Marine Geology*, Bd. 59, 271 - 282, Amsterdam.
- NATTERER, K. 1899  
Chemisch-Geologische Tiefsee-Forschung (Expedition der Schiffe „Pola“ und „Taurus“ in das östliche Mittelmeer, Marmara Meer und Rote Meer). - *Geograph. Zeitschrift*, Bd. 5, 190 - 209, 252 - 260, Leipzig.
- NATTERER, K. 1901  
Expedition S. M. Schiff „Pola“ in das Rote Meer, Südliche Hälfte, Sept. 1897 - März 1898. - 15: Chemische Untersuchung von Wasser und Grundproben. - *Denkschr. Österr. Akad. Wiss., Mathem.-naturw. Kl., Abt. I, Bd. 69*, 297 - 309, Wien.
- ORTIZ B., F. & TUFAR, W. 1992  
Depósitos de Sulfuros Masivos Recientes "Black Smokers". - *Revista de la Facultad de Ciencias*, Nr. 2, 75 - 96, Medellín.
- PUCHELT, H. 1984  
Forschungsfahrt *Sonne* 29, Rotes Meer, 8.1.1984 - 9.3.1984 - *Fahrtbericht*, 1 - 288, Karlsruhe.
- PUCHELT, H. & LASCHEK, D. 1986  
Forschungsfahrt *Sonne* 41, HYMAS I, 18.1.1986 - 28.4.1986 - *Fahrtbericht I. Fahrtabschnitt*, 1 - 331, Karlsruhe.
- RENARD, V., HEKINIAN, R., FRANCHETEAU, J., BALLARD, R. D. & BÄCKER, H. 1985  
Submersible observations at the axis of the ultrafast-spreading East Pacific Rise (17° 30' to 21° 30' S). - *Earth Planet. Sci. Lett.*, Bd. 75, 339 - 353, Amsterdam.
- RONA, P. A. 1983  
Exploration for Hydrothermal Mineral Deposits at Seafloor Spreading Centers. - *Marine Mining*, Bd. 4, No. 1, 7 - 38, New York.
- RONA, P. A. 1988  
Hydrothermal mineralization at oceanic ridges. - In: BARRETT, T. J. & JAMBOR, J. L. (Hrsg.): *Seafloor hydrothermal Mineralization*. - *Canadian Mineralogist*, Bd. 26, Teil 3, 431 - 465.
- RONA, P. A., BOSTRÖM, K., LAUBIER, L. & SMITH, K. L. (Hrsg.) 1983  
Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Centers. - *NATO Conference Series, Series IV: Marine Sciences*, Bd. 12, Plenum Press, New York.
- ROSENBAUER, R. J. & BISCHOFF, J. L. 1983  
Uptake and transport of heavy metals by heated seawater: A summary of the experimental results. - In: RONA, P. A., BOSTRÖM, K., LAUBIER, L. & SMITH, K. L. (Hrsg.): *Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Centers*. - *NATO Conference Series, Series IV: Marine*

- Sciences, Bd. 12, 177 - 197, Plenum Press, New York.
- STETTER, K. O. 1985  
Extrem thermophile Bakterien. - Naturwissenschaften, Bd. 72, 291 - 301, Berlin - Heidelberg.
- TUFAR, W. 1987  
Lagerstättenkundliche und erzpetrographische Untersuchungen an (sub-) rezenten komplexen massiven Sulfiderzen ("Schwarze Raucher") und sulfiderzhaltigen Proben des Ostpazifischen Rückens: Fahrt "Geometep 4" - "Sonne 40", Leg 3. - In: BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE HANNOVER - REEDEREIGEMEINSCHAFT FORSCHUNGSSCHIFFFAHRT GMBH BREMEN (Hrsg.): Bericht Bundesminister für Forschung und Technologie Bonn, SO 40 - 4. Fahrt mit FS Sonne im Rahmen des des Geometep-Programms, 223 - 356, Hannover.
- TUFAR, W. 1988  
Recent Complex Massive Sulfide Deposits ("Black Smokers") and Hydrothermal Metallogenesis at Actively Spreading Plate Boundaries in the Pacific (East Pacific Rise, Galápagos Rift): Potential Marine Mineral Resources and a Future Field of Activity for Deep-sea Mining. - Journal of Engineering, Islamic Republic of Iran, National Center for Scientific Research, Bd. 1, Nr. 4, 219 - 241, Teheran.
- TUFAR, W. 1989  
Recent Complex Massive Sulfide Deposits ("Black Smokers") and Hydrothermal Metallogenesis at Actively Spreading Plate Boundaries in the Pacific (East Pacific Rise, Galápagos Rift): Potential Marine Mineral Resources and a Future Field of Activity for Deep-sea Mining. - Second Mining Symposium Iran, Kerman 1988, Ministry of Mines and Metals, University of Teheran, Bd. 3, Proceedings, 1 - 47, Teheran.
- TUFAR, W. 1990  
Modern Hydrothermal Activity, Formation of Complex Massive Sulfide Deposits and Associated Vent Communities in the Manus Back-Arc Basin (Bismarck Sea, Papua New Guinea). - Mitt. österr. geol. Ges., Bd. 82, Jg. 1989, 183 - 210, Wien.
- TUFAR, W. 1991  
Hydrothermale Aktivität auf dem Meeresboden - 3 Ostpazifischer Rücken, Galápagos-Rift, Rotes Meer, Tyrrhenisches Meer. - Geol. Jb., D 93, Festband Forschungsschiff *Sonne* - 50 Fahrten im Dienst der geowissenschaftlichen Meeresforschung, 140 - 153, 169 - 193, Hannover.
- TUFAR, W. 1992 a  
OLGA - Ein geowissenschaftliches Großprojekt zur Erforschung von Lagerstätten in den Ozeanen - Rezente Komplexmassivsulfiderze ("Schwarze Raucher") am Ostpazifischen Rücken bei 21° 30' Süd. - *alma mater philippina*, H. SS 1992, 24 - 32, Marburg.
- TUFAR, W. 1992 b  
Paragenesis of Complex Massive Sulfide Ores from the Tyrrhenian Sea. - Mitt. österr. geol. Ges., Bd. 84, 1991, 265 - 300, Wien.
- TUFAR, W. 1992 c  
OLGA II- Rezente Komplexmassivsulfiderze ("Schwarze Raucher") in der Bismarck-See (Papua-Neuguinea) - Ein geowissenschaftliches Großprojekt zur Erforschung von Lagerstätten in den Ozeanen. - *alma mater philippina*, H. WS 1992/93, 25 - 33, Marburg.
- TUFAR, W. 1993  
Recent Complex Massive Sulfide Mineralizations (Black Smokers) from the Southern Part of the East Pacific Rise. - Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.A., Bd. 16, 109 - 145, Wien.

- TUFAR, W. 1994  
First Discovery of Modern Hydrothermal Complex Massive Sulfide Ore Formation (Black Smokers) in the Bismarck Sea (Papua New Guinea, West Pacific). - Proc. Fourth Mining Symposium of Iran, Bd. 1, Exploration, 223 - 225, Yazd.
- TUFAR, W. 1995 a  
Investigation of Modern Hydrothermal Complex Massive Sulfide Ore Formation in the Southeastern Pacific and Red Sea. - DeRidge Newsletter, H. 1, 29 - 34, Kiel.
- TUFAR, W. 1995 b  
Investigation of Modern Hydrothermal Complex Massive Sulfide Ore Formation in the West Pacific and in the Mediterranean Sea. - DeRidge Newsletter, H. 1, 58 - 60, Kiel.
- TUFAR, W., GUNDLACH, H. & MARCHIG, V. 1984  
Zur Erzparagenese rezenter Sulfid-Vorkommen aus dem südlichen Pazifik. - Mitt. österr. geol. Ges., Bd. 77, Jg. 1984, 185 - 245, Wien.
- TUFAR, W., GUNDLACH, H. & MARCHIG, V. 1985  
Ore Paragenesis of Recent Sulfide Formations from the East Pacific Rise. - Monograph Series on Mineral Deposits, Bd. 25, H.-J. Schneider-Festband (Hrsg.: K. GERMAN), 75 - 93, Gebrüder Borntraeger, Berlin - Stuttgart.
- TUFAR, W. & JULLMANN, H. 1991  
Mit OLGA in den "Wienerwald" - Geowissenschaftliches Großprojekt zur Untersuchung von Lagerstätten in den Ozeanen. - Spiegel der Forschung, 8. Jg., H. 1, 39 - 45, Gießen.
- TUFAR, W. & NÄSER, G. 1992  
Lagerstättenkundliche Detailuntersuchungen rezenter Erzvorkommen im Bereich einer Platten-Kollisionszone, speziell in der Back-Arc-Spreizungszone am Beispiel des Manus-Beckens in Papua-Neuguinea. - Forschungsfahrt *Sonne* 68 - OLGA II, Bericht Bundesminister für Forschung und Technologie Bonn, 1 - 447, Marburg (Lahn).
- TUFAR, W. & NÄSER, G. 1993  
Lagerstättenkundliche Detailuntersuchungen eines aktiven Hydrothermalfeldes im Bereich eines Scheitelgrabens an divergierenden Plattenrändern mit hoher Divergenzrate im Ostpazifik. - Forschungsfahrt *Sonne* 63 - OLGA I, Bericht Bundesminister für Forschung und Technologie Bonn, 1 - 587, Marburg (Lahn).
- TUFAR, W., TUFAR, E. & LANGE, J. 1986  
Ore paragenesis of recent hydrothermal deposits at the Cocos-Nazca plate boundary (Galápagos Rift) at 85° 51' and 85° 55' W: complex massive sulfide mineralizations, non-sulfidic mineralizations and mineralized basalts. - Geologische Rundschau, Bd. 75, H. 3, Hans Cloos-Festschrift, 829 - 861, Stuttgart.
- VAN DOVER, C. L., 1995  
Ecology of Mid-Atlantic Ridge hydrothermal vents. - In: PARSON, L. M., WALKER, C. L. & DIXON, D. R. (Hrsg.): Hydrothermal Vents and Processes. - Geological Society Special Publication, Bd. 87, 257 - 294.
- ZIERENBERG, R. A., SHANKS III, W. C. & BISCHOFF, J. L. 1984  
Massive sulfide deposits at 21° N, East Pacific Rise: Chemical composition, stable isotopes, and phase equilibria. - Geol. Soc. Amer. Bull., Bd. 95, 922 - 929, Colorado.

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung von Vulkaniten vom Ostpazifischen Rücken bei 21° 30' S

	2 D	10 D	12 D	18 D	22 D	48 D	61 D	92 D	130 D
Gewichtsprozent									
SiO <sub>2</sub>	50,69	50,79	51,06	50,62	51,74	50,79	50,80	50,23	50,82
TiO <sub>2</sub>	1,81	1,43	1,49	1,49	1,54	1,54	1,49	1,21	1,63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,23	14,73	14,96	14,62	14,21	14,42	14,48	15,50	14,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	12,07	11,15	11,05	11,29	10,90	11,33	11,18	9,90	11,36
MnO	0,20	0,18	0,18	0,21	0,20	0,21	0,21	0,17	0,19
MgO	6,57	7,32	7,27	6,98	6,86	7,22	7,34	0,90	7,18
CaO	10,62	11,27	11,00	11,10	10,59	11,25	11,35	11,44	10,96
Na <sub>2</sub> O	3,11	2,65	2,81	2,99	3,10	2,77	2,77	2,73	2,76
K <sub>2</sub> O	0,15	0,08	0,10	0,10	0,28	0,121	0,14	0,11	0,14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,17	0,10	0,11	0,12	0,13	0,13	0,11	0,08	0,12
SO <sub>3</sub>	0,24	0,25	0,27	0,27	0,34	0,39	0,57	0,20	0,30
Glühv.	-0,21	-0,31	-0,63	-0,37	-0,23	-0,52	-0,76	-0,03	-0,59
g/t (ppm)									
Ag	1	2	7	11	3	3			1
As	<5	<5	<5	<5	<7	15	11	8	<5
B	30	38	24	22	22	33	32	39	34
Ba	17	15	15	18	84	51	22	18	17
Bi		6			<10	13	<10		
Cd	11	15	16	15	15	14	13	12	14
Ce	22	16	<15	<15	<15	39	<15	<15	<15
Co	43	36	43	42	41	39	40	41	40
Cr	518	698	644	610	250	378	272	563	342
Cu	61	56	68	71	63	55	57	71	75
Ga	17	29	15	18	19	19	20	18	13
Hf	22	22	<20	<20	<18	<18	<18	22	<20
La	17	35		23				6	12
Li	2	6	39	7	5	7			4
Mo	<5	7	<5	7	<5	10	<5	<5	<5
Nb	<5	<5	<5	<5	7	8	<5	<5	<5
Ni	77	90	96	79	71	68	82	103	89
Pb	<10	<10	<10	11	12	<10	<10	<10	<10
Rb	<5	<5	<5	<5	6	7	<5	<5	<5
Sc	44	44	42	47	37	37	44	42	44
Sn	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	4
Sr	109	100	99	110	121	114	110	107	106
Ta	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Th	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
U	<7	<7	<7	<7	5	5	<5	<7	<7
V	328	306	307	313	317	332	340	259	329
W	<10	13	<10	<10	13	<10	11	<10	22
Y	44	33	42	37	34	35	30	33	42
Yb	6	6	6	5	5	5	5	4	5
Zn	134	95	82	86	86	78	83	89	126
Zr	143	88	86	88	102	92	87	72	96

\* Gesamteisen als Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Tabelle 2: Chemische Zusammensetzung von rezenten hydrothermalen Komplexmassivsulfiderzen vom Ostpazifischen Rücken bei 21° 30' S

	21	38	43	66	79	87	103	105	124
	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA
	Gewichtsprozent								
Cu	0,37	20,30	1,09	11,33	6,57	1,65	1,29	3,37	11,49
Zn	14,62	0,35	15,91	0,90	10,96	32,67	20,82	7,52	4,18
SiO <sub>2</sub>	9,26	1,11	25,50	1,03	8,45	2,77	3,29	5,43	0,34
TiO <sub>2</sub>	0,22	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,03	0,10	0,43	0,66	0,34	0,30	0,44	0,18	0,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	40,74	28,79	28,60	40,29	41,34	29,63	40,73	49,70	51,86
MnO	0,04	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04
MgO	0,36	0,35	0,04	0,16	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02
CaO	1,08	11,98	0,06	0,05	0,06	0,09	0,06	0,07	0,08
Na <sub>2</sub> O	0,06	0,53	0,03	0,80	0,15	0,57	0,02	0,24	0,24
K <sub>2</sub> O	0,05	0,04	0,05	0,02	0,05	0,07	0,05	0,06	0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,08	0,01	0,03	0,01	0,05	0,01	0,03	0,08
SO <sub>3</sub>	0,70	16,27	0,36	15,76	0,22	0,32	0,22	0,19	0,28
Glühv.	26,40	14,46	23,33	-25,52	26,86	23,10	27,42	30,16	26,86
	g/t (ppm)								
As	118	12	73	106	127	100	186	136	90
Ba	5	8	10	5	4	4	4	15	6
Bi	<10	18	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cd	518	32	537	90	387	1143	519	271	150
Ce	<35	<35	<35	<35	<35	<35	<35	<35	<35
Co	17	140	1629	9	2895	25	9	613	219
Cr	195	42	199	37	70	27	45	49	37
Ga	61	5	172	8	65	171	78	48	33
Hf	<18	<18	<18	<18	<18	<18	<18	<18	<18
Li	1	1		1					
Mo	15	207	78	86	165	38	24	217	140
Nb	<5	11	<5	12	20	11	13	13	15
Ni	28	26	9	22	26	13	12	29	26
Pb	557	<10	371	69	438	307	205	302	151
Rb	<5	8	6	<5	8	21	8	8	14
Sc	5	3	1	3	2	1	1	2	3
Sn	<30	131	<30	<30	55	30	85	41	<30
Sr	9	870	7	6	10	3	10	5	5
Ta	18	<10	11	<10	<10	<10	<10	<10	<1
Th	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	36	<10
U	<5	<5	19	10	<5	10	<5	<5	14
V	46	14	41	56	73	14	15	40	12
W	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Y	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Yb	2	2	1	3	2	1	2	3	3
Zr	18	36	11	10	16	8	10	21	16

\* Gesamteisen als Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Tabelle 3: Edelmetallgehalte in rezenten hydrothermalen Komplexmassivsulfiderzen vom Ostpazifischen Rücken bei 21° 30' S

	Gold		Silber	
	oz/t	g/t (ppm)	oz/t	g/t (ppm)
21 GTVA	0,013	0,45	1,54	52,82
34 GTVA	0,034	1,17	0,91	31,21
37 GTVA-1	0,017	0,58	1,97	67,57
37 GTVA-2	0,086	2,95	2,02	69,29
38 GTVA	0,011	0,38	0,67	22,98
55 GTVA	0,007	0,24	1,01	34,64
59 GTVA	0,130	4,46	<0,01	<0,34
66 GTVA	0,033	1,13	2,97	101,87
77 GTVA-1	0,060	2,06	4,17	143,03
77 GTVA-2	0,021	0,72	3,67	125,88
78 GTVA	0,011	0,38	1,66	56,94
79 GTVA	0,230	7,89	2,58	88,49
83 GTVA-1	0,005	0,17	0,42	14,41
83 GTVA-2	0,003	0,10	0,31	10,63
87 GTVA-1	0,009	0,31	2,02	69,29
87 GTVA-2	0,009	0,31	1,85	63,46
103 GTVA	0,009	0,31	0,97	33,27
104 GTVA-1	0,004	0,14	0,42	14,41
104 GTVA-2	0,004	0,14	0,40	13,72
104 GTVA-3	0,007	0,24	0,52	17,84
105 GTVA	0,009	0,31	1,09	37,39
119 GTVA	0,087	2,98	1,08	37,04
123 GTVA	0,009	0,31	1,29	44,25
124 GTVA	0,004	0,14	0,39	13,38
125 GTVA	0,004	0,14	0,73	25,04
136 GTVA-1	0,008	0,27	0,69	23,67
136 GTVA-2	0,005	0,17	0,04	1,37

Tabelle 4: Chemische Zusammensetzung von rezenten hydrothermalen Sedimenten vom Ostpazifischen Rücken bei 21° 30' S

	21 GTVA	43 GTVA	44 GTVA	47 GTVA	60 GTVA	66 GTVA	98 GTVA	135 GTVA	138 GTVA
	Gewichtsprozent								
SiO <sub>2</sub>	58,31	14,10	82,64	36,20	33,32	6,55	80,11	71,20	29,00
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,18	0,01	0,09	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< 0,05	0,35	0,04	0,35	0,09	0,68	0,03	0,20	0,09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,09	45,05	7,03	27,21	40,18	59,78	8,29	14,60	43,78
MnO	0,24	2,53	0,17	0,03	1,20	0,07	0,09	0,21	0,04
MgO	0,72	0,37	0,10	2,30	1,46	0,19	0,30	0,36	2,25
CaO	0,40	0,75	0,11	0,38	0,43	0,16	0,18	0,22	0,39
Na <sub>2</sub> O	3,30		1,13		3,97	1,18	1,69	0,54	3,42
K <sub>2</sub> O	0,70		0,13		0,63	0,12	0,21	0,04	0,32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,33		0,09		0,72	0,78	0,07	0,24	0,22
S <sup>2-</sup>	0,04	0,14		7,28	0,14	34,16	0,17	0,23	8,28
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,28	3,07		2,93	0,31	0,77	0,23	0,44	0,64
SO <sub>3</sub>	0,66		0,92		1,26	0,86	2,59	3,40	7,20
Glühv.	16,89		7,02		16,09	23,84	6,14	9,23	9,03

Fortsetzung nächste Seite

	21	43	44	47	60	66	98	135	138
	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA
	g/t (ppm)								
Ag	0,7	4,3	4	210	2,5	14	1,3	1,1	40
As	17	50	18	40	114	269	9	100	22
Au									480 ppb
Ba	30	119	20		145	<50	402	283	59
Be			1		2			<1	
Bi			<10		16	<10	13	<10	<10
Cd	2	40	8	92	2	88	1	22	1
Ce	<15		<35		37	<35	<35	<35	<35
Co	7	62	12	300	44	6	3	3	276
Cr	30	90	79	5	18	42	32	10	5
Cs									0,3
Cu	11	210	133	1,87 %	1800	3,62 %	129	38	9800
Eu								0,9	
Ga	<5	9	7		21	19	<5	<5	17
Hf	<20		<18		<18	22	<18	<18	1,4
Hg								14	
La	<5		<5		<5			<5	7
Mo	13		14		70	315	12	18	18
Nb	<5	1	<5		16	15	<5	7	12
Ni	10	26	16	10	8	6	1	3	11
Pb	3	18	103	850	124	221	10	<10	297
Rb	11	13	7		11	<5	7	13	5
Sb									8,6
Sc	<2		<1		<1			<1	0,3
Se									16
Sm									4,4
Sn	<3		<3		<3	<3	<3	<3	<3
Sr	84	172	8		101	45	80	90	49
Ta	<10		<10		<10	<10	<10	<10	23
Tb									0,35
Th	<10	<3	<10		<10	<10	<10	15	0,4
U	<7		18		<5	18	<10	14	22
V	16	37	11	19	113	230	<10	22	66
W	74		<10		<10	<10	<10	<10	<10
Y	<5	<3	<5		8	9	<5	<5	<5
Yb									0,05
Zn	67	3,81 %	2038	4,96 %	1100	7400	97	346	2,20 %
Zr	<7	<10	7		9	<5	<5	<5	<5

\* Gesamteisen als Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Tabelle 5 a: Faunenliste geborgener Proben vom Ostpazifischen Rücken bei 21° 30' S

## Stamm Rhizopoda (Wurzelfüßler)

Ordnung Foraminiferida, polythalamie Foraminiferen

## Stamm Porifera (Schwämme)

Indet. spec.

## Stamm Cnidaria (Nesseltiere)

Klasse Anthozoa, Hexacorallia

Ordnung Actinaria (Seeanemone)

Klasse Anthozoa, Octocorallia

Ordnung Pennatularia (Seefeder)

## Stamm Annelida (Ringelwürmer)

Klasse Polychaeta (Meeresborstenwürmer)

Familie Alvinellidae

*Alvinella pompejana* DESBRUYÈRES & LAUBIER, 1980*Alvinella caudata* DESBRUYÈRES & LAUBIER, 1986

Familie Nereididae

*Nereis sandersi* BLAKE, 1985 (Meeresborstenwurm)

Familie Maldanidae

*Nicomache arwidsoni* BLAKE, 1985

Familie Polynoidae

*Thermiphone tufari* HARTMANN-SCHRÖDER, 1992 n. gen. et n. spec.

## Stamm Arthropoda (Gliederfüßer)

Klasse Crustacea

Familie Bythograeidae

*Bythograea* cf. *thermydron* WILLIAMS, 1980 (blinde Krabbe)

Familie Scalpellidae

*Neolepas* cf. *zevinae* NEWMAN, 1979

## Stamm Mollusca (Weichtiere)

Klasse Bivalvia

Familie Mytilidae (Tiefsee-Miesmuscheln)

*Bathymodiolus* cf. *thermophilus* KENK & WILSON, 1985

Klasse Gastropoda

Ordnung Patellogastropoda

Familie Neolepetopsidae

*Neolepetopsis* n. spec.

Ordnung Archaeogastropoda (Napfschnecken)

Familie Peltospiridae

*Hirtopelta* n. spec.*Echinopelta* n. spec.

Ordnung Neogastropoda

Familie Turridae

*Phymorhynchus* spec. (Turmschnecke)

Tabelle 5 b: Isolierte und kultivierte Archaeobakterien aus geborgenen Proben vom Ostpazifischen Rücken bei 21° 30' S

*Thermococcus* spec. bzw. *Thermococcus celer**Pyrodictium occultum*

Tabelle 6: Chemische Zusammensetzung von rezenten hydrothermalen Komplexmassivsulfiderzen vom Galápagos-Rift

(Nach W. TUFAR, E. TUFAR &amp; J. LANGE 1986)

	68 DC	80 GTV	139 DC	158 DC	161 DC
	MBS 1	MBS 2	XS 21	XS 22	XS 23
	Gewichtsprozent				
Cu	9,41	8,53	0,34	11,40	1,07
Fe*	38,20	36,90	12,70	31,60	20,60
Pb	0,03	0,03	0,03	0,01	0,10
Zn	0,26	1,20	15,35	1,43	26,90
MnO	0,02	0,02	0,05	0,02	0,04
H <sub>2</sub> O	11,80	9,10	14,50	7,60	11,10
	g/t (ppm)				
Ag	19	26	222	24	168
As	205	103	68	253	80
Ba	< 80	< 70	< 80	< 80	500
Cd	22	45	199	35	285
Ce	< 2	< 2	< 2	3	< 2
Co	578	459	1	208	26
Ga	60	50	60	40	
Ge	< 20	< 20	30	< 20	< 20
Hf	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Hg	4	5	20	< 2	22
La	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Mo	205	194	34	217	58
Nb	< 5	8	< 5	< 5	19
Ni	25	< 10	< 10	21	< 10
Rb	38	39	< 9	14	22
Sb	4	5	39	7	16
Se	66	80	1	41	8
Sn	10	18	14	< 5	18
U	< 0,4	1,3	2,4	2,5	< 0,4
Y	< 5	5	9	6	110
Zr	< 5	8	6	11	35
	ppb				
Au	130	170	1410	43	850

\* Gesamteisen als Fe

Tabelle 7: Chemische Zusammensetzung von rezenten hydrothermalen Komplexmassivsulfiderzen aus dem Kebrit-Tief im Roten Meer

	1	3	4	5	6
	Gewichtsprozent				
Cu	0,02	0,02	0,02	0,06	0,02
Fe*	34,36	29,60	34,78	26,26	26,89
Pb	0,01	0,11	0,11	0,14	0,24
Zn	0,08	16,49	11,99	24,21	23,74
SiO <sub>2</sub>	0,43	0,04	0,26	0,24	0,12
TiO <sub>2</sub>	0,01		0,01		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,14	0,03	0,09	0,06	0,05
MnO	0,29	0,08	0,06	0,08	0,08
MgO	0,04				
CaO	4,08	0,23	0,22	0,15	0,07
Ba	0,64	0,02	0,02	0,01	0,01
Na <sub>2</sub> O	2,64		0,15		
K <sub>2</sub> O	0,19	0,08	0,07	0,06	0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
SO <sub>3</sub>	8,98	1,10	0,65	0,59	0,31
Glühv.	32,01	34,49	32,80	29,98	29,91
	g/t (ppm)				
As	< 10	172	34	111	45
Mo	45	444	82	106	161
Nb	< 3	< 3	< 3	5	4
Ni	38	9	8	29	11
Rb	12	4	11	16	15
Sn	142	136	95	133	117
Sr	1356	12	12	7	< 3
Ta	< 10	108	74	217	185
Th	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
U	< 5	< 5	< 5	9	< 5
W	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Y	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Zr	< 5	< 5	< 5	14	< 5

\* Gesamteisen als Fe

Tabelle 8: Chemische Zusammensetzung von Vulkaniten vom nordöstlichen Manus-Spreizungsrücken (Bismarck-See, Papua-Neuguinea, Westpazifik)

	5 D	6 D	10 D	13 D	7 GTVA	11 GTVA	14 GTVA	31 GTVA	43 GTVA
Gewichtsprozent									
SiO <sub>2</sub>	51,02	57,60	51,10	50,95	50,67	51,30	50,50	51,03	50,72
TiO <sub>2</sub>	0,87	1,47	1,38	1,36	1,15	1,22	1,08	1,37	1,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,73	13,81	13,57	13,57	14,18	14,12	14,18	13,61	14,23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	10,86	11,26	14,24	14,38	12,25	13,27	12,19	14,26	12,15
MnO	0,18	0,20	0,23	0,22	0,20	0,21	0,20	0,22	0,19
MgO	7,24	2,68	6,18	6,20	7,37	6,23	7,30	6,20	7,19
CaO	11,43	6,16	10,23	10,27	11,39	10,37	11,52	10,31	11,50
Na <sub>2</sub> O	2,37	4,00	2,39	2,43	2,17	2,49	2,25	2,44	2,14
K <sub>2</sub> O	0,10	0,45	0,11	0,09	0,09	0,11	0,09	0,07	0,07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,06	0,24	0,09	0,09	0,07	0,10	0,07	0,09	0,07
SO <sub>3</sub>	0,26	0,16	0,41	0,41	2,68	0,40	0,08	0,22	0,34
F	0,41	<0,10	0,13	<0,10	0,24	0,17	0,23	<0,10	<0,10
Cl	0,10	0,15	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	<0,05	<0,05	0,15
Glühv.	0,37	1,75	-0,25	-0,24	-2,63	-0,20	0,14	-0,05	0,01
g/t (ppm)									
Ag	4	3	9	6	3	7	79	4	16
As	<7	<7	6	<5	<7	<5	8	<5	<5
B	32	32	29	34	31	32	33	31	35
Ba	24	85	41	22	20	52	19	128	20
Cd	14	13	16	14	15	14	16	14	13
Ce	6	<15	<15	37	15	<15	21	17	19
Co	47	28	52	51	42	51	54	56	41
Cr	219	131	220	340	303	155	305	173	475
Cs	<5	<5	6	6	<5	<5	<5	6	5
Cu	119	15	101	108	128	115	123	122	114
Ga	13	18	20	18	13	14	19	12	18
Hf	1	<20	25	<20	2	2	<20	<20	2
La	12	9	25	34	3	33	5	33	41
Li	5	18	6	6	7	6	5	6	11
Mo	<5	<5	<5	5	<5	8	<5	<5	<5
Nb	3	<5	<5	<5	3	5	<5	<5	2
Ni	76	17	55	59	82	52	84	51	80
Pb	5	<10	<10	<10	1	<10	<10	<10	13
Rb	<5	8	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sc	45	29	47	50	49	47	50	51	50
Sm	2				3	2			2
Sn	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Sr	108	150	81	76	76	99	74	79	75
Ta	1	<10	<10	<10	1	1	<10	<10	1
Th	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
U	<7	<7	<7	<7	<7	<7	<7	<7	<7
V	323	255	411	409	367	386	345	403	330
W	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Y	23	50	38	44	25	33	32	39	29
Yb	3	7	6	5	3	3	5	6	3
Zn	75	112	161	157	181	234	262	593	123
Zr	50	164	75	73	69	65	60	70	57

\* Gesamteisen als Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Tabelle 9: Chemische Zusammensetzung von hydrothermalen Sedimenten vom nordöstlichen Manus-Spreizungsrücken (Bismarck-See, Papua-Neuguinea, Westpazifik)

	7	9	14	37	41	43	54	58	63
	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVD	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA
Gewichtsprozent									
SiO <sub>2</sub>	33,67	55,90	61,07	30,65	59,14	31,65	48,24	75,61	43,65
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,68	0,71	0,01	0,66	0,09	0,60	0,28	0,37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,04	13,57	14,16	<0,05	13,32	1,68	12,90	5,25	7,23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	35,57	5,63	5,25	33,61	4,74	29,98	6,26	3,54	6,68
MnO	0,71	0,25	0,14	3,28	0,18	4,53	0,39	0,18	17,98
MgO	1,95	1,76	1,70	1,10	2,25	1,86	2,15	0,51	1,64
CaO	0,96	4,94	2,92	0,82	2,48	1,52	8,69	1,07	2,00
Na <sub>2</sub> O	3,88	4,91	5,20	3,81	4,19	3,19	3,81	1,96	4,16
K <sub>2</sub> O	0,94	2,43	2,56	0,70	2,14	0,78	1,73	0,97	1,70
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0,80	0,21	0,19	0,77	0,18	0,94	0,19	0,13	0,28
S <sup>2-</sup>	0,01	0,04	0,06	0,03	0,08	0,05	0,07	0,51	0,07
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,20	0,09	0,07	0,16	0,08	0,14	0,12	0,17	0,19
SO <sub>3</sub>	4,08	0,34	1,62	0,85	0,19	1,87	0,49	1,32	1,48
F	0,31	<0,10	<0,10	0,26	<0,10	0,13	0,39	0,46	0,75
Cl	0,90	0,15	0,13	2,73	0,08	0,59	0,36	0,32	0,30
Glühv.	15,31	9,00	4,18	21,87	10,10	20,77	13,80	6,05	9,46
g/t (ppm)									
Ag	3	2	3	6	3	9	2	3	7
As	81	13	11	65	50	196	12	34	67
Au	8 ppb	56 ppb		27 ppb					
B	54	30	34	51	29	50	32	12	
Ba	97	447	389	229	2094	1242	434	1,90 %	1492
Cd	18	8	8	16	7	17	10	8	10
Ce	<15	20	16	26	40	19	25	104	26
Co	7	17	11	11	17	11	13	11	7
Cr	10	42	16	28	16	5	30	53	25
Cs	<5	<5	<5	1,4	<5	32	<5	<5	7
Cu	19	69	77	66	65	532	48	356	1065
Eu		1,60		0,24					
Ga	<5	14	13	<5	15	<5	14	7	<5
Hf	<20	3,40	<20	0,82	<20	<20	<20	<20	<20
Hg		8		6					
La	<5	25	10	3,20	29	<5	39	<5	7
Li	8	17	19	18	13	31	26	6	
Mo	7	<5	<5	69	<5	78	<5	<5	348
Nb	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ni	9	12	14	22	14	31	38	20	64
Pb	11	<10	12	12	19	13	13	70	474
Rb	21	34	33	6	34	15	26	28	35
Sb		0,74		0,75					
Sc	4	16	16	1	16	3	20	6	9
Se		0,50		0,50					

Fortsetzung nächste Seite

	7	9	14	37	41	43	54	58	63
	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVD	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA
	g/t (ppm)								
Sm		4		1,20					
Sn	<3	<3	<3	<3	<3	<3	3	14	<3
Sr	162	350	255	140	289	344	441	345	447
Ta	<10	0,20	<10	15	<10	<10	<10	<10	<10
Tb		0,98		0,19					
Th	<10	1,80	13	15	<10	11	<10	<10	27
U	14	1,80	<7	3,30	<7	<7	<7	<7	<7
V	39	88	94	42	92	116	142	45	127
W	11	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Y	12	34	31	4	34	9	28	12	15
Yb	2	3	5	2	3	2	3	1	
Zn	88	77	135	514	244	0,18 %	125	0,22 %	0,91 %
Zr	19	122	141	9	125	24	89	72	77

\* Gesamteisen als Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Tabelle 10: Chemische Zusammensetzung von rezenten hydrothermalen Komplexmassivsulfidieren aus Hydrothermalfeld 1 "Wienerwald" und Hydrothermalfeld 2 (Bismarck-See, Papua-Neuguinea, Westpazifik)

	2	13	22	27	28	35	47	57	66
	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA
	Gewichtsprozent								
Cu	1,34	0,28	3,10	1,45	1,22	2,09	5,31	0,90	2,38
Fe*	11,31	8,76	9,39	11,42	7,33	10,29	8,43	5,72	5,71
Pb	0,43	0,54	0,09	0,66	0,18	0,08	0,04	0,53	0,03
Zn	10,48	10,20	46,81	26,50	40,38	40,44	43,78	45,17	51,36
SiO <sub>2</sub>	38,41	50,12	3,03	20,89	17,19	10,77	6,85	12,76	5,27
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,13	0,47	0,96	1,03	0,65	0,73	0,32	0,94	0,82
MnO	0,10	0,08	0,07	0,18	0,04	0,10	0,03	0,11	0,04
MgO	0,05	0,11	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,09	0,06
CaO	0,11	0,16	0,15	0,15	0,05	0,06	0,09	0,22	0,10
Ba	0,12	0,41	0,19	2,34	0,14	83 g/t	0,07	0,70	130 g/t
Na <sub>2</sub> O	0,30	0,49	0,38	0,52	0,57	0,85	0,06	0,43	0,16
K <sub>2</sub> O	0,09	0,13	0,06	0,11	0,06	0,06	0,05	0,07	0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
SO <sub>3</sub>	0,35	0,66	0,62	1,76	0,16	0,09	0,27	0,81	0,35
F	<0,10	0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,50	0,14	<0,10	<0,10
Cl	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,35	0,35	0,19
Glühv.	27,82	20,70	19,43	20,10	17,70	18,67	19,56	17,69	18,14

\* Gesamteisen als Fe

Fortsetzung nächste Seite

	2	13	22	27	28	35	47	57	66
	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA	GTVA
	g/t (ppm)								
As	261	168	252	395	232	157	130	807	264
B	30	17	54	38	46	51	52	49	54
Cd	498	272	1699	1214	1685	1517	1930	1236	1806
Ce	19	26	52	261	47	25	75	123	48
Co	6	8	15	8	11	53	9	7	7
Cr	21	175	113	17	41	18	18	11	40
Cs	11	10	48	36	34	33	44	48	49
Ga	28	33	93	94	95	76	83	55	94
Hf	<20	<20	31	60	36	27	87	<20	<20
La	<5	10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Li	1	1	1	2	2	1	1	1	
Mo	296	78	141	190	67	196	124	68	134
Nb	<5	<5	<5	<5	<5	5	<5	<5	<5
Ni	19	13	65	23	17	23	16	21	22
Rb	<5	5	6	7	15	10	15	<5	12
Sc	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sn	<3	<3	<3	<3	<3	<3	5	<3	<3
Sr	63	92	129	1459	73	8	40	316	45
Ta	<10	<10	<10	<10	<10	18	44	<10	<10
Th	<10	<10	27	<10	<10	13	35	<10	<10
U	<7	<7	18	8	19	<7	22	19	12
V	31	16	12	178	18	21	30	16	34
W	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Y	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Yb	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zr	13	6	9	9	5	8	3	19	5

Tabelle 11: Edelmetallgehalte in rezenten hydrothermalen Komplexmassivsulfiderzen aus Hydrothermalfeld 1 "Wienerwald" und Hydrothermalfeld 2 (Bismarck-See, Papua-Neuguinea, Westpazifik)

	Gold		Silber	
	oz/t	g/t (ppm)	oz/t	g/t (ppm)
2 GTVA-1	0,460	15,78	8,93	307,19
2 GTVA-2	0,770	26,41	30,20	1035,86
5 GTVA	0,074	2,54	2,41	82,66
12 GTVA	0,170	5,89	6,94	238,74
13 GTVA	1,530	52,50	9,69	332,00
15 GTVA	0,280	9,60	9,96	341,63
16 GTVA	0,140	4,82	2,93	100,79
17 GTVA	0,250	8,58	7,34	251,76
18 GTVA	0,140	4,82	2,89	99,42
20 GTVA	0,130	4,47	2,90	99,76
22 GTVD	0,330	11,35	7,81	268,66
25 GTVA	0,220	7,55	8,00	274,40
26 GTVA	0,110	3,80	3,91	134,00
27 GTVA	0,230	7,89	7,72	264,80
28 GTVA	0,630	21,67	9,69	333,34
32 GTVA	0,150	5,15	6,42	220,21
33 GTVA	0,380	13,03	5,51	188,99
34 GTVA	0,300	10,29	7,90	270,97
35 GTVA	0,710	24,42	9,42	324,05
41 GTVD	0,100	3,43	0,72	24,70
42 GTVD	0,140	4,82	2,50	86,00
44 GTVA	0,130	4,47	2,89	99,42
45 GTVA	0,700	24,01	18,70	641,41
47 GTVA	0,075	2,58	1,58	54,35
48 GTVA	0,078	2,70	1,85	63,50
49 GTVA	0,330	11,35	9,12	312,82
50 GTVA	0,130	4,47	1,56	53,66
53 GTVA	0,110	3,80	3,65	125,00
55 GTVA	0,100	3,44	2,82	97,01
56 GTVA	0,330	11,35	4,86	167,18
57 GTVA	0,440	15,14	12,40	426,56
58 GTVA	0,280	9,60	19,10	655,13
59 GTVA	0,110	3,78	2,06	70,86
65 GTVA	0,068	2,34	1,83	62,95
66 GTVA	0,066	2,27	0,63	21,67
8 D	0,360	12,38	4,94	169,94

Tabelle 12: Faunenliste geborgener Proben aus Hydrothermalfeld 1 "Wienerwald" im Manus-Becken (Bismarck-See, Papua-Neuguinea, Westpazifik)

Stamm Porifera (Schwämme)

Klasse Hexactinellida (Glasschwämme)

Klasse Demospongiae (Gemeinschwämme)

Stamm Cnidaria (Nesseltiere)

Klasse Anthozoa, Octocorallia

Ordnung Gorgonaria

*Candidella* spec.? (Hornkoralle)

Klasse Anthozoa, Hexacorallia

Ordnung Actinaria (Seeanemone)

Klasse Scyphozoa

Ordnung Coronata

Familie Ephyropsidae

*Stephanoscyphus* cf. *racemosus* KOMAI (Tiefseequalle)

Klasse Hydrozoa

Ordnung Hydroidea

Indet. spec. (Hydropolyp)

Ordnung Siphonophora (Staatsquallen)

Familie Rhodalidae

*Thermopalia* spec. (Hydropolypenkolonie)

Stamm Tentaculata (Tentakelträger)

Klasse Bryozoa (Moostierchen)

*Reteporellina* cf. *denticulata*

Stamm Echinodermata (Stachelhäuter)

Klasse Holothurioida

Familie Chirodotidae

*Chirodota* n. spec. (sessile Seegurke)

Stamm Annelida (Ringelwürmer)

Klasse Polychaeta (Meeresborstenwürmer)

Familie Alvinellidae

*Paralvinella hessleri* DESBRUYÈRES & LAUBIER, 1989 (sessiler/vagiler Meeresborstenwurm)

Familie Ampharetidae

*Amphisamytha galapagensis* ZOTTOLI, 1983 (sessiler Meeresborstenwurm)

Familie Syllidae

*Sphaerosyllis* spec.?

Familie Polynoidae

*Thermopolynoe branchiata* MIURA, 1994 (vagiler Schuppenwurm)

*Opisthotrochopodus segonzaci* MIURA & DESBRUYÈRES, 1995 (vagiler Schuppenwurm)

Familie Serpulidae

Indet. spec.

Stamm Arthropoda (Gliederfüßer)

Klasse Crustacea

Ordnung Leptostraca

*Dahlella* spec.?

## Ordnung Cirripedia (Rankenfüßer bzw. Seepocken)

## Familie Pachylasmatidae

*Eochionelasmus ohtai* YAMAGUCHI & NEWMAN, 1990

## Familie Neoverrucidae

*Neoverruca* spec.

Indet. spec.

## Ordnung Amphipoda

## Gammaridea

Indet. spec.

## Laemodipodea

## Familie Caprellidae

Indet. spec.

## Ordnung Decapoda

## Familie Bresiliidae

*Chorocaris vandoverae* MARTIN & HESSLER, 1990 (Garnele)

## Familie Galatheidae

*Munidopsis* cf. *marianica* WILLIAMS & BABA, 1990 (Sprungkrebs bzw. anomurer Krebs)

## Familie Bythograeidae

*Austinograea alayseae* GUINOT, 1989 (blinde Krabbe)

## Stamm Mollusca (Weichtiere)

## Klasse Gastropoda

## Ordnung Archaeogastropoda (Napfschnecken)

## Familie Neomphalidae

*Symmetromphalus hageni* L. A. BECK, 1992 n. spec.

## Familie Lepetodrilidae

*Lepetodrilus schrolli* L. A. BECK, 1993 n. spec.

## Familie Phenacolepadidae

*Shinkailepas tufari* L. A. BECK, 1992 n. spec.*Olgasolaris tollmanni* L. A. BECK, 1992 n. gen. et n. spec.

## Familie Fissurellidae

*Pseudorimula* n. spec.

Indet. spec.

## Familie Clypeosectidae

*Clypeosectus* n. spec.

## Ordnung Mesogastropoda

## Familie Provannidae?

*Alviniconcha* cf. *hessleri* OKUTANI & OHTA, 1988 (behaarte Schnecke)*Olgaconcha tufari* L. A. BECK, 1991 n. gen. et n. spec. (schwarze Schnecke)*Provanna* n. spec.

## Ordnung Neogastropoda

## Familie Turridae

*Phymorrhynchus* cf. *castanea*

Tabelle 13: Chemische Zusammensetzung von rezenten hydrothermalen Komplexmassivsulfidieren vom Tiefseeberg Palinuro in der Tyrrhenis

	5/1	5/2	6/2	8	10/1	10/2	11	12/2	14
Gewichtsprozent									
Cu	0,25	0,26	0,50	0,73	0,41	0,42	0,63	0,24	0,60
Fe*	19,94	19,56	10,61	9,99	22,34	23,19	13,86	16,41	14,76
Pb	4,60	4,49	12,91	20,25	6,17	5,95	8,67	3,90	11,85
Zn	16,35	16,92	13,90	22,62	11,74	15,24	12,31	10,35	7,35
SiO <sub>2</sub>	0,17	0,23	0,18	0,10	0,32	0,34	0,17	0,19	0,45
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,41	0,33	0,38	0,39	0,43	0,36	0,78	0,45	0,65
MnO	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02
CaO	0,02	0,02	0,03	0,06	0,04	0,04	0,05	0,03	0,05
Ba	13,12	13,44	21,97	9,65	12,07	12,76	23,31	25,61	22,40
Na <sub>2</sub> O	0,52	0,61	-	-	2,41	-	1,50	-	1,61
K <sub>2</sub> O	0,07	0,07	0,05	0,07	0,09	0,06	0,07	0,04	0,07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,01	0,01	-	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01
SO <sub>3</sub>	8,50	8,40	15,59	10,92	7,46	8,15	15,24	15,56	15,90
Glühv.	20,39	20,13	10,75	11,50	20,94	20,39	12,58	15,83	13,10
g/t (ppm)									
Ag			630			1270		465	
As			5540			5540		4570	
Bi			49			1		5	
Cd			1250			2820		1550	
Ga			65			702		55	
Ge			46			34		20	
Hg	5950	6700	785	265	2520	2630	960	455	360
In			3			15		2	
Mo			192			78		128	
Sb			1750			1000		525	
Se			<1			<1		<1	
Te			17			4		5	
Tl			62			19		25	

\* Gesamteisen als Fe

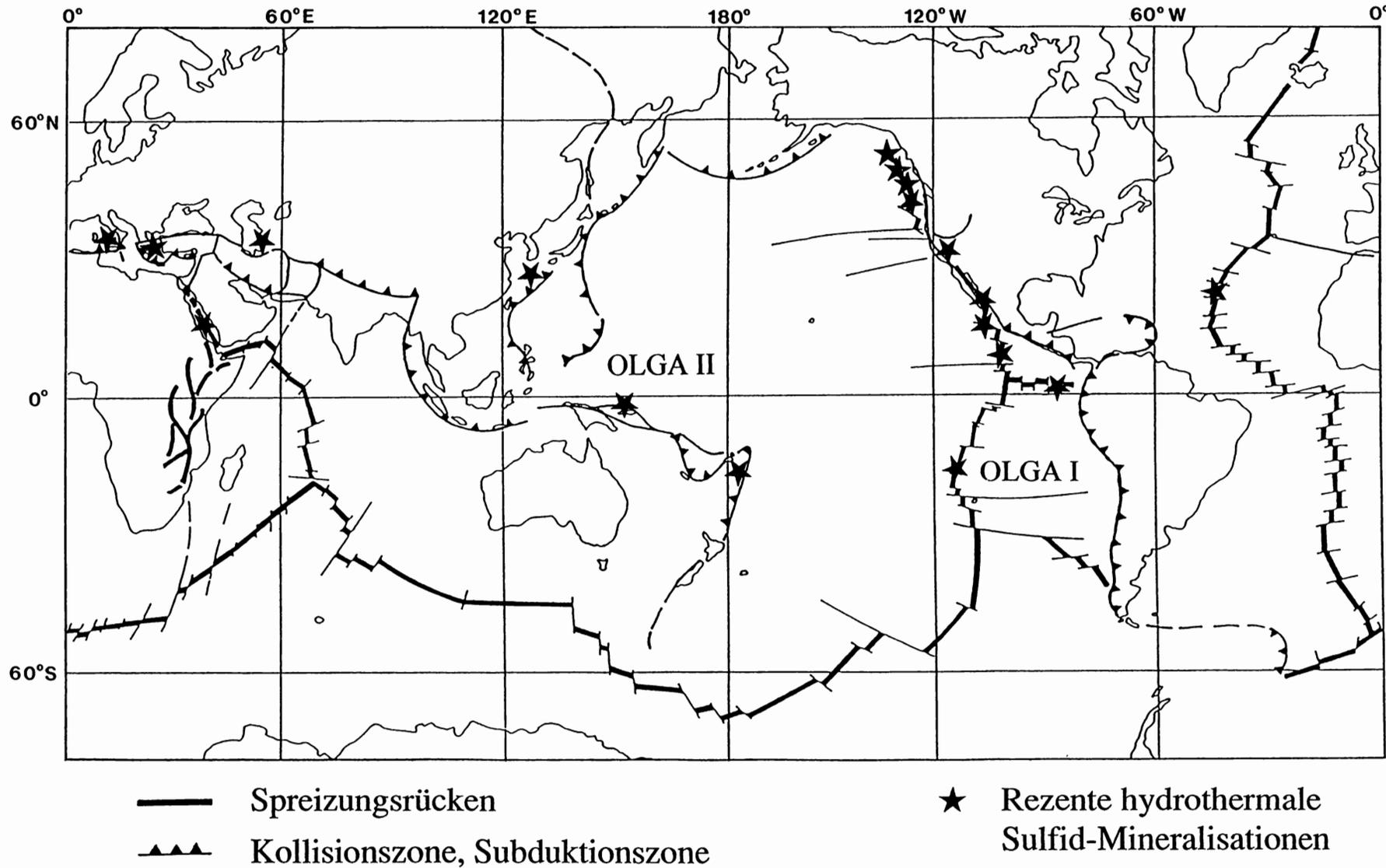


Abb. 1: Rezente hydrothermale Sulfid-Vorkommen (schwarze Sternchen) an aktiven Spreizungsrücken.



Abb. 2: Forschungsschiff „Sonne“ auf Reede vor der Osterinsel.

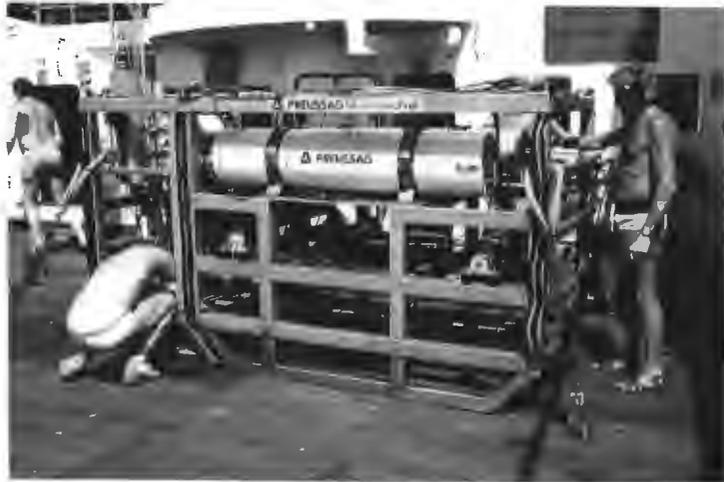


Abb. 3: Fernseh-Schlitten (Kompakt-OFOS - Ocean Floor Observation System) wird für den Einsatz vorbereitet.



Abb. 4: Elektrohydraulische Fernseh-Greifer GTVA (links) und GTVD (Polypgreifer, rechts), vorbereitet für den Einsatz. Im Hintergrund sind zwei Vulkankegel auf Rabaul (Neubritannien, Papua-Neuguinea) zu erkennen.

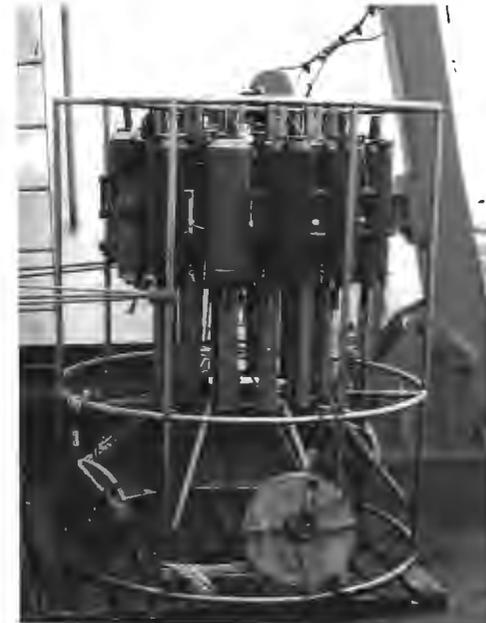


Abb. 5: Kranzwasserschöpfer mit integrierter Multisonde zur Wasserprobennahme und physikalischen Charakterisierung der Wassersäule.



*Abb. 6: Runde Kettensack-Dredge wird nach erfolgter Probennahme am Tiefseeboden an Bord entleert.*



*Abb. 7: Positionierungssender (Transponder) mit Auftriebskörper, Sender, Notlicht und Peitsche sowie Signalflagge, vorbereitet für den Einsatz in der Tiefsee.*

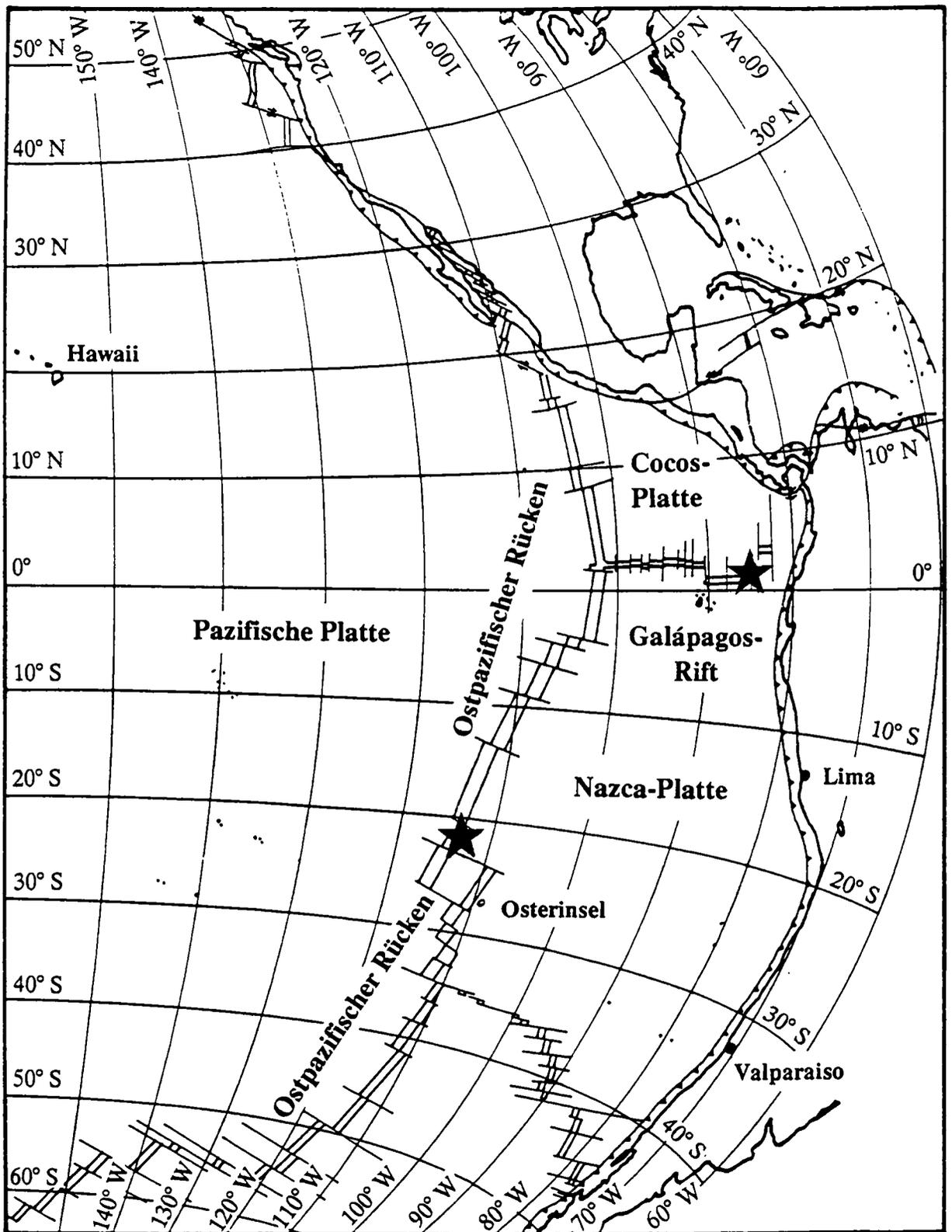


Abb. 8: Der Ostpazifische Rücken mit Lage der Komplexmassivsulfiderz-Lagerstätte bei  $21^{\circ} 30' S$  (Arbeitsgebiet von OLGA I - schwarzes Sternchen) und der quer verlaufende Galápagos-Rift mit Lage der Komplexmassivsulfiderz-Vorkommen bei  $85^{\circ} 51' W$  und  $85^{\circ} 55' W$  (ebenfalls schwarzes Sternchen).

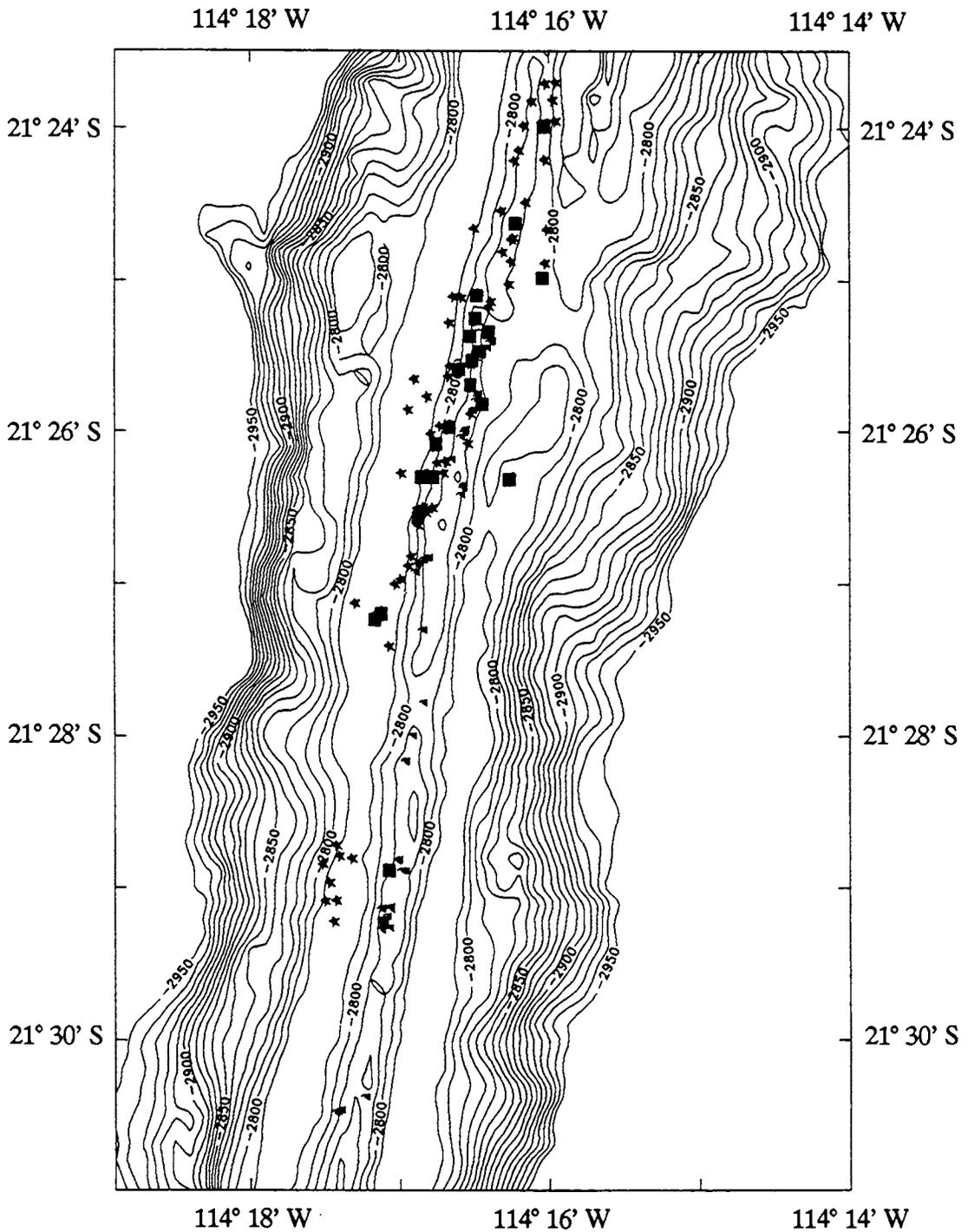


Abb. 9: Ozeanbodenkarte des Ostpazifischen Rückens bei 21° 30' S mit Verteilung von Komplexmassivsulfiderz-Mineralisationen (schlotförmige Erzkörper, Schornsteingruppen, flächige Erzkörper, Erzkrusten usw.). Schwarze Quadrate: beprobtes Vorkommen von Komplexmassivsulfiderz, schwarze Sternchen: nachgewiesenes Hydrothermalfeld mit Komplexmassivsulfid-Erzkörpern - Positionierung mit Transponder-Navigation, schwarze Dreiecke: Hydrothermalfeld mit Komplexmassivsulfid-Erzkörpern - Positionierung mit GPS-Navigation (Global Positioning System). Basierend auf Transponder-Navigation wurde der Bereich zwischen 21° 23,7' S und 21° 27,2' S systematisch aufgenommen und erfasst. Darüber hinausgehende, orientierende Übersichtsbefahrungen bis 21° 29' S zeigen eine Fortsetzung der Lagerstätte bzw. Komplexmassivsulfiderz-Mineralisation. In diesem Bereich sind jedoch nur einige wenige Erzkörper erfasst, deren Positionierung trotz fehlender Transponder-Navigation zuverlässig durchzuführen war (gilt ebenso für Abb. 10).

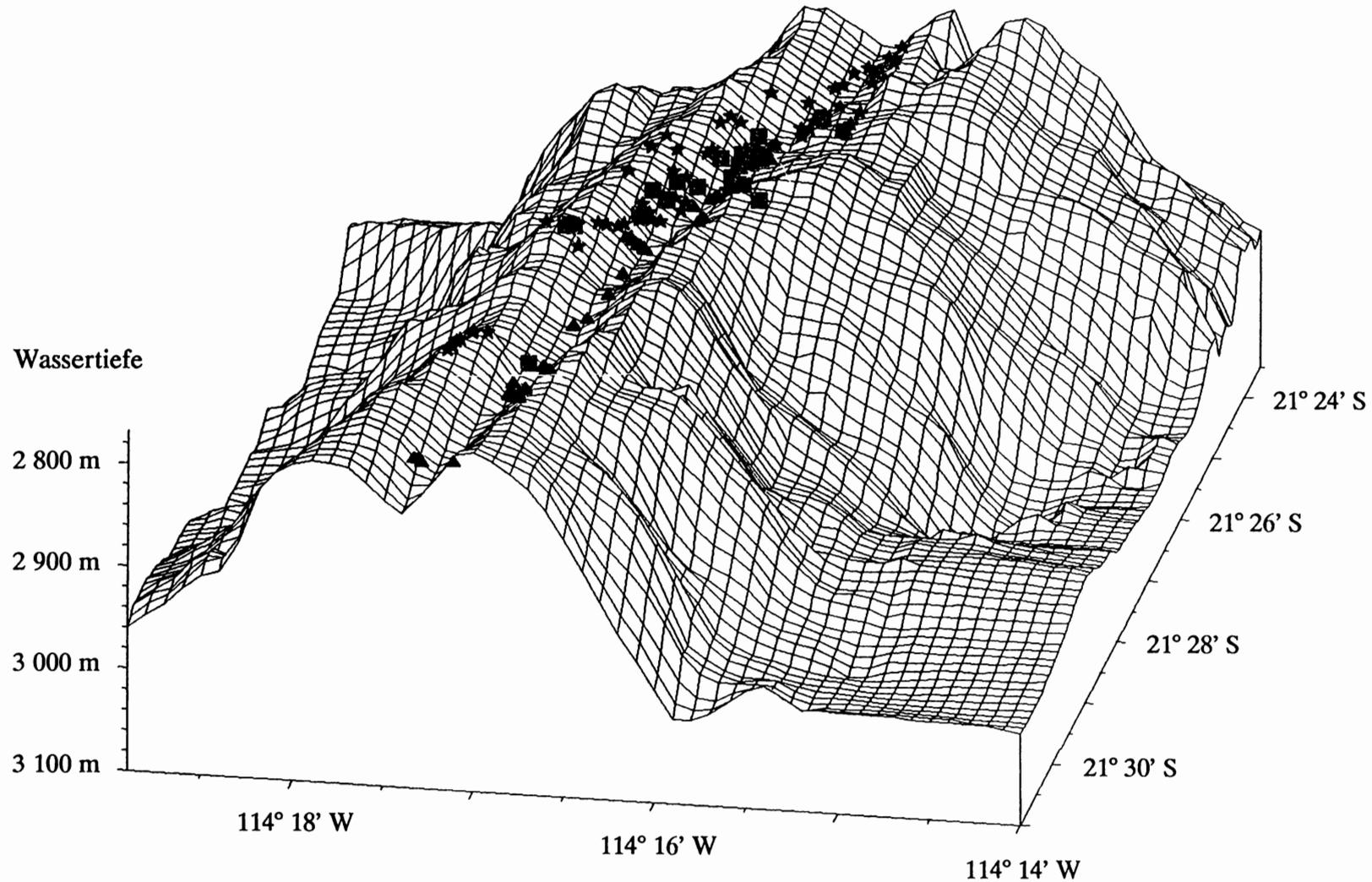


Abb. 10: 3-D-Darstellung der Aufwölbung des Ostpazifischen Rückens von 21° 24' S bis 21° 31' S und 114° 14' W bis 114° 19' W, mit deutlich erkennbarem, annähernd symmetrischem Bau und Verteilung der Komplexmassivsulfiderze im Zentralgraben (Wassertiefe um 2 800 m). Schwarze Quadrate: Probennahme im Hydrothermalfeld, schwarze Sternchen: Hydrothermalfeld mit Gruppe von Komplexmassivsulfiderzkörpern - Positionierung mit Transponder-Navigation, schwarze Dreiecke: Hydrothermalfeld mit Gruppe von Komplexmassivsulfiderzkörpern - Positionierung mit GPS-Navigation (Global Positioning System).



Abb. 11: OLGA I - OFOS - 6 - 200. Ostpazifischer Rücken,  $21^{\circ} 25,70' S$ ,  $114^{\circ} 16,65' W$ , Wassertiefe 2 811 m. Plattige, z. T. lappige Lava mit eingebrochenem Lavatunnel. Deutlich ist in diesem das eingebrochene Gewölbedach und die Bildung einer „Kollapsbreccie“ zu erkennen. Gelegentlich finden sich kleine Seeanemonen (Anthozoen). Der Instrumentenkorb mit Kompaß weist einen Durchmesser von 26 cm auf und vermittelt einen Größenvergleich (gilt ebenso für Abb. 14 - 17 a, 31 -34, 42, 55 - 58, 63, 68, 71 - 72, 89 b, 90).



Abb. 12: OLGA I - 19 D. Ostpazifischer Rücken zwischen  $21^{\circ} 25,14' S$ ,  $114^{\circ} 82' W$ , 2 811 und  $21^{\circ} 25,2' S$ ,  $114^{\circ} 15,3' W$ , Wassertiefe um 2 800 m. Plattige Tholeiitlava mit glasiger Rinde auf der Oberseite und typischen Lavastalaktiten (Tropfstein-Textur) auf der Unterseite, darauf Anflug von hydrothermale Manganhydroxid. Stellenweise ist auf der Unterseite außerdem ein wenig Eisenhydroxid zu beobachten, das geopetal, entlang feiner Risse und Sprünge, von der Oberseite durchgedrungen ist.

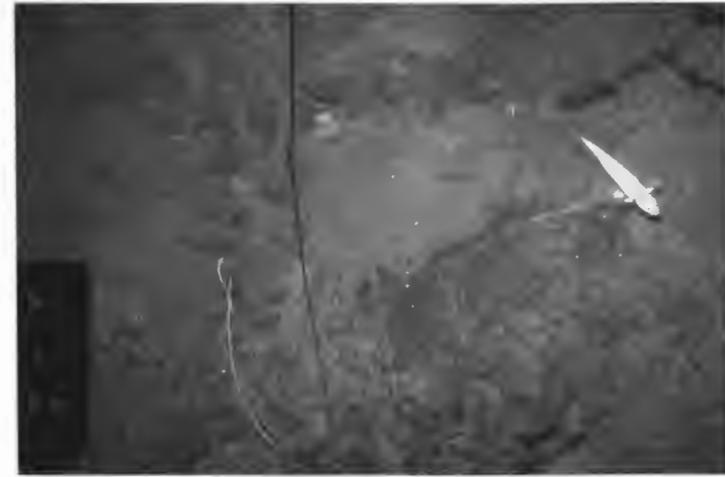


Abb. 13: OLGA I - OFOS 110 - 246. Ostpazifischer Rücken,  $21^{\circ} 24,94' S$ ,  $114^{\circ} 16,41' W$ , Wassertiefe 2 811 m. Ausschnitt aus lappiger Lava, die teilweise ein wenig Sediment, vorherrschend hydrothermalen Ursprungs, aufweist und gelegentlich Bewuchs von Seelilien (Crinoiden) sowie von einer kleinen weißen Seeanemone (Anthozoe) zeigt. Über der lappigen Lava steht ein weißer Fisch, ein typischer Vertreter der Hydrothermalfauna. Er läßt zwei Augen erkennen.



Abb. 14: OLGA I - OFOS 39 - 46. Ostpazifischer Rücken,  $21^{\circ} 25,46' S$ ,  $114^{\circ} 16,56' W$ , Wassertiefe 2 804 m. Detail aus Zentralgraben mit prächtig entwickelter Stricklava. In Zwickeln liegt geringe Bedeckung mit Sediment vor, das vorherrschend hydrothermalen Ursprungs ist. Links neben Instrumentenkorb mit Kompaß ist eine schwimmende Garnele zu beobachten.

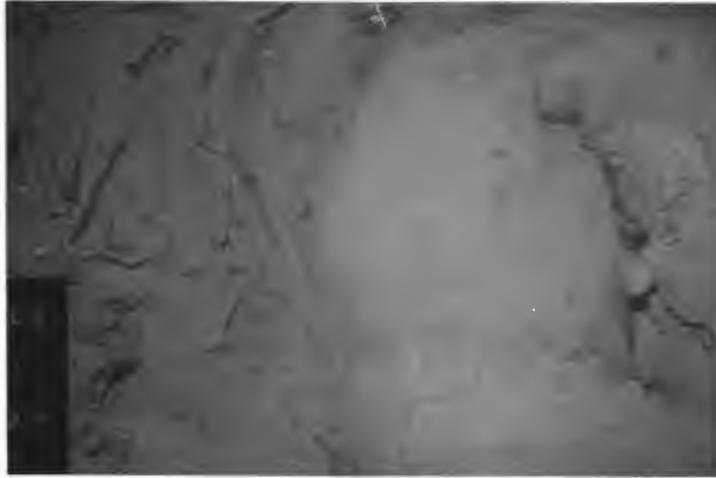


Abb. 15: OLGA 1 - OFOS 95 - 170. Ostpazifischer Rücken, 21° 24,44' S, 114° 15,98' W, Wassertiefe 2 806 m. Stricklava am Kontakt zu Lavakissen, auf denen sich vereinzelt kleine dunkle Seeanemonen (Anthozoen) finden. Auf der Stricklava sind dagegen manchmal kleine weiße Seeanemonen (Anthozoen) zu sehen. Stellenweise findet sich ein wenig Sediment, das teilweise hydrothermalen Ursprungs ist und örtlich mäandrierende Kriechspuren („Helminthoideen“) aufweist.



Abb. 16: OLGA 1 - OFOS 69 - 319. Ostpazifischer Rücken, 21° 25,07' S, 114° 15,66' W, Wassertiefe 2 844 m. Charakteristische Kissenlava, die stellenweise Ausstülpungen und gelegentlich Strömung aufweist. Die Lavakissen zeigen Bedeckung mit ein wenig Sediment, das zum Teil hydrothermalen Ursprungs ist. Im Sediment finden sich örtlich (linke obere Bildecke) Kriechspuren. Oberhalb des Instrumentenkorbes mit Kompaß ist ein kaulquappenförmiger Fisch, ein typischer Vertreter der Hydrothermalfauna, zu beobachten.

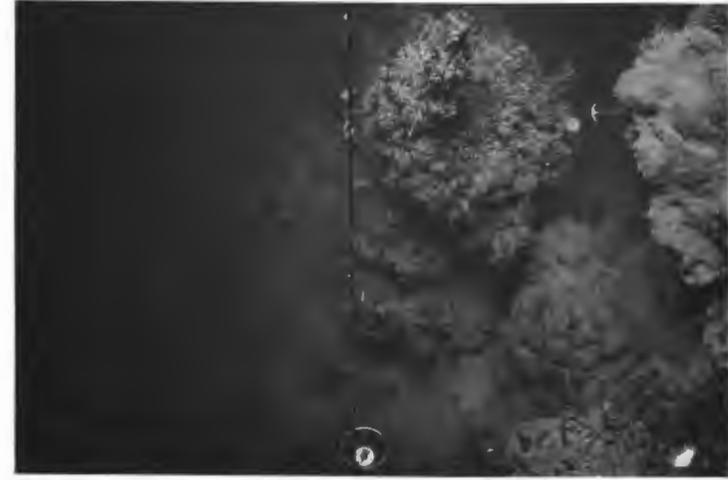


Abb. 17 a

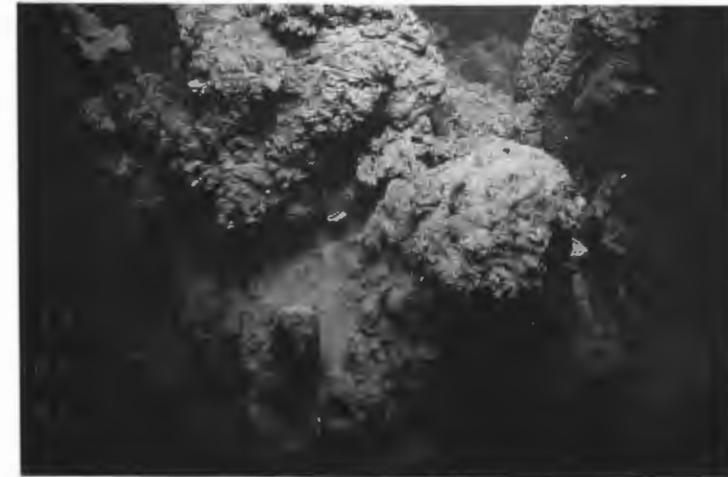


Abb. 17 b

Abb. 17: OLGA 1 - OFOS 15 - 371 (Abb. 17 a) - OFOS -13 - 235 (Abb. 17 b). Ostpazifischer Rücken, 21° 29,26' S, 114° 17,11' W, Wassertiefe 2 794 m (Abb. 17 a), 21° 26,83' S, 114° 16,80' W, Wassertiefe 2 795 m (Abb. 17 b).

Ausschnitte aus Gruppen von Komplexmassivsulfid-Schornsteinen, die randlich teilweise Röhren von Polychaeten (Meeresborstenwürmern) eingebettet enthalten und gelegentlich Bewuchs von weißen Seeanemonen (Aktinien, Abb. 17 a) und Seelilien (Crinoiden) aufweisen. Stellenweise zeigen die Schwarzen Raucher etwas Bedeckung mit hydrothermale (Erz-) Sediment.

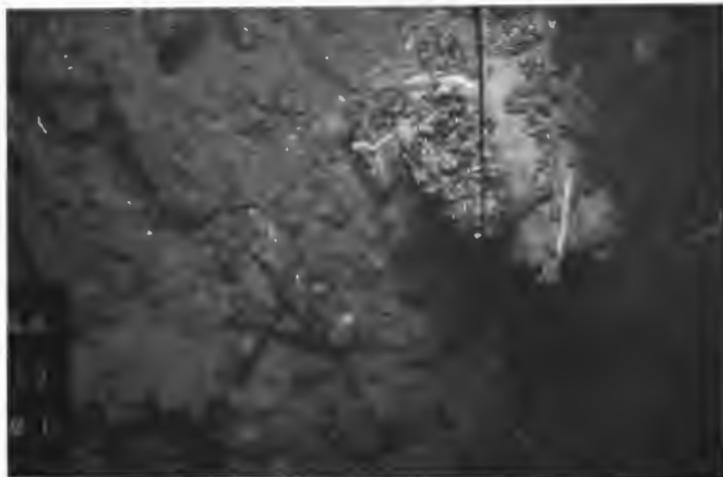


Abb. 18: OLGA I - OFOS 106 - 370. Ostpazifischer Rücken, 21° 26,61' S, 114° 16,87' W, Wassertiefe 2 793 m. Fuß eines mächtigen Komplexmassivsulfiderz-Schornsteines auf Lava-Blockschutt, der vereinzelt Bewuchs mit kleinen weißen Seeanemonen (Anthozoen) zeigt. Darüber schwimmt ein heller Fisch (Mitte rechter Bildrand), ein weiterer, weißer, aalförmiger Fisch nahe am Fuß des Schwarzen Rauchers (rechter, unterer Bildrand), beides typische Vertreter der Hydrothermalfauna. Ein seitlicher Komplexmassivsulfiderz-Schornstein (rechte, obere Bildhälfte) zeigt randlich Einbettung von Polychaeten-Röhren (Meeresborstenwürmer), einige weiße Exemplare von vermutlich Seegurken (Holothurien) und stellenweise ein wenig Bedeckung mit hydrothermale (Erz-) Sediment.

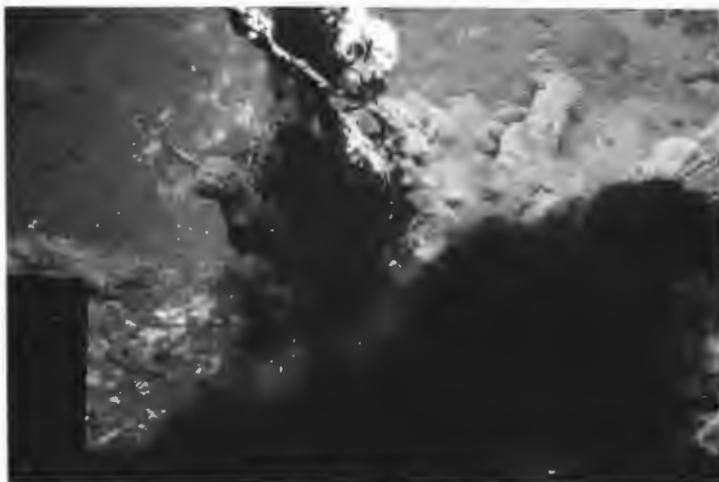


Abb. 19: OLGA I - OFOS 15. Ostpazifischer Rücken, 21° 29' S, 114° 17' W, Wassertiefe 2 815 m. Krusten und Schornsteine von Komplexmassivsulfiderz bedecken den Boden des Zentralgrabens, daneben finden sich gelegentlich Ausfällungen von Opal-Gangart. Die aus einem Schwarzen Raucher ausströmende hydrothermale Lösung läßt mehrere Austrittsstellen erkennen und färbt sich am Kontakt mit dem Ozeanwasser durch Fällung von feinsten Sulfiden sofort dunkel.



Abb. 20 a

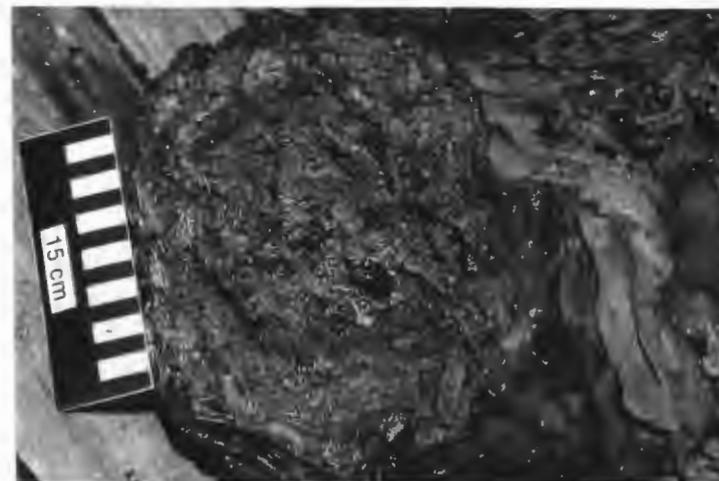


Abb. 20 b

Abb. 20: OLGA I - 78 GTVA. Ostpazifischer Rücken, 21° 27,230' S, 114° 17,163' W, Wassertiefe 2 779 m. Größeres Bruchstück eines kupferreichen Komplexmassivsulfiderz-Schornsteines. Randlich enthält der Schwarze Raucher reichlich Röhren von Meeresborstenwürmern (Polychaeten) im Erz eingebettet und zeigt Anflug von Eisenhydroxid. Im Querschnitt (Abb. 20 b) ist deutlich ein annähernd zentraler Zufuhrkanal der hydrothermalen Lösung im mehr kompakten, zonaren kupfer- und eisensulfidreichen Erz zu erkennen.

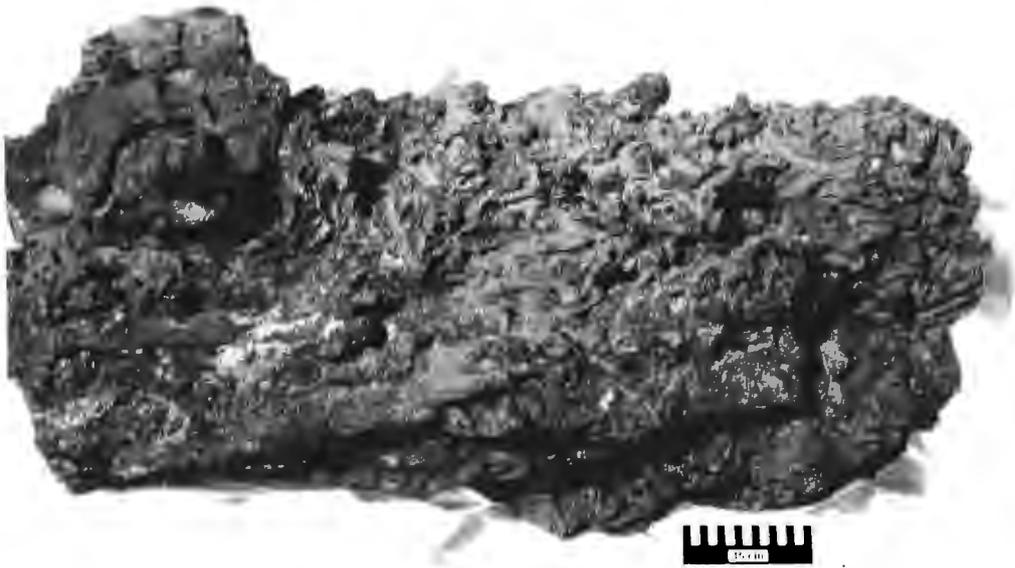


Abb. 21 a

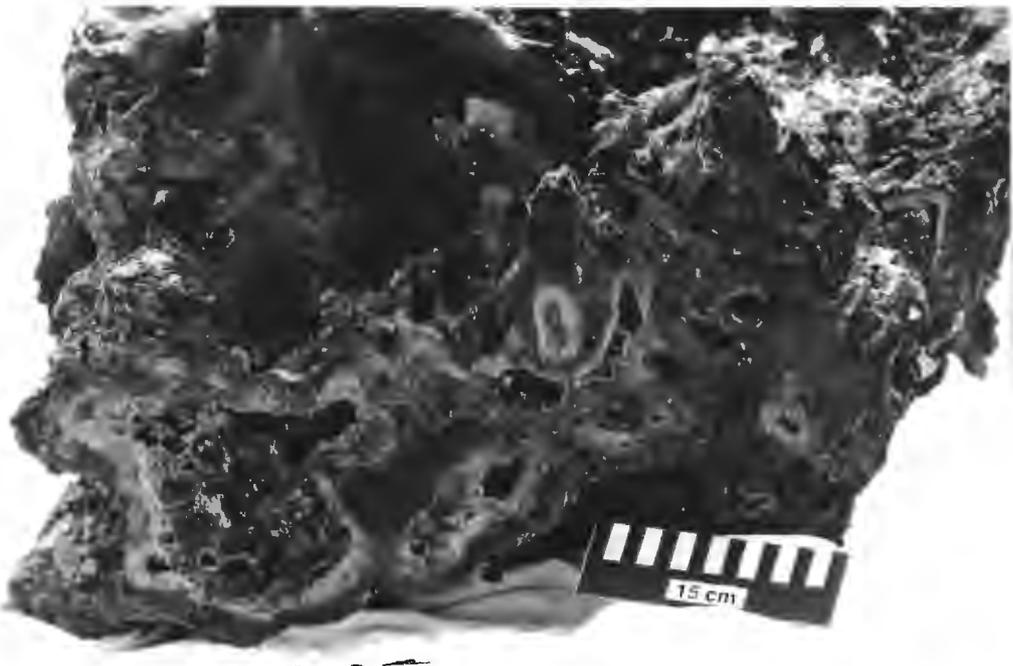


Abb. 21 b

Abb. 21: OLGA I - 123 GTVA. Ostpazifischer Rücken,  $21^{\circ} 25,941' S$ ,  $114^{\circ} 16,651' W$ , Wassertiefe 2 804 m. Großes Bruchstück eines Schwarzen Rauchers, der randlich reichlich in Erz eingebettete Röhren von Meeresborstenwürmern (Polychaeten) beobachten läßt. Im Querschnitt (Abb. 21 b) zeigt der Komplexmassivsulfiderz-Schornstein eine Reihe von senkrecht den Schwarzen Raucher durchziehenden Zufuhrkanälen der hydrothermalen Lösung, die jeweils einen sehr deutlichen Zonarbau ausgebildet haben. Zumeist zeigen die Zufuhrkanäle zentral kupferreiche Zonen, gegen außen folgen mehr zinksulfidreiche Füllungen.

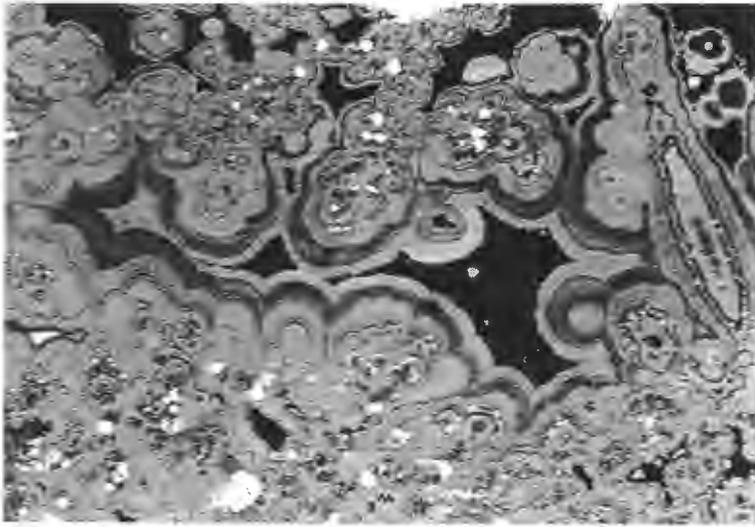


Abb. 22: Probe OLGA I - 138 GTVA. Ostpazifischer Rücken, 21° 26,304' S, 114° 16,852' W, Wassertiefe 2 782 m.

Schalenblende (mittelgrau bis dunkelgrau), darin gelegentlich Chalkopyrrhotin und etwas Pyrit (beide hellgrau, fast weiß, in Abb. nicht unterscheidbar), läßt in ihren rhythmisch konzentrisch-schaligen kolloidalen Massen durch unterschiedliches Reflexionsvermögen prächtigen Zonarbau erkennen. Opal-Gangart, natürliche Porenhohlräume (beide schwarz).

Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 200 x.

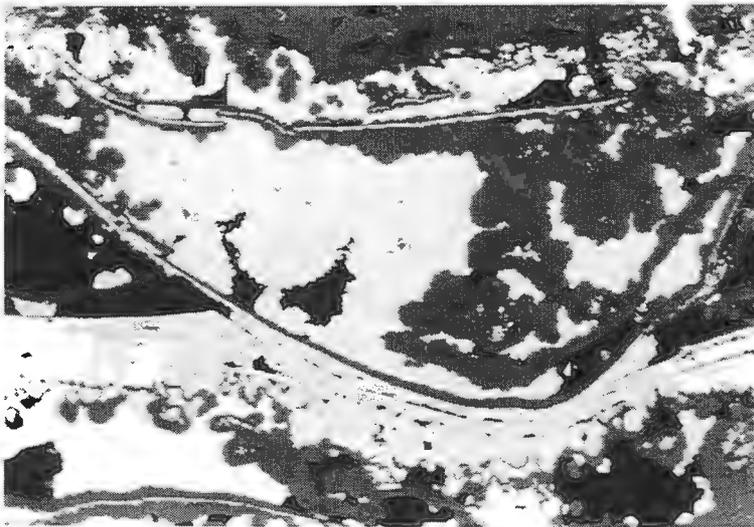


Abb. 23: Probe OLGA I - 138 GTVA. Ostpazifischer Rücken, 21° 26,304' S, 114° 16,852' W, Wassertiefe 2 782 m.

Rhythmische, kolloidale Massen aus krustig-lagigem, traubig nierigem und konzentrisch-schaligem bis radialstrahligem Pyrit, Melnikovitpyrit (alle hellgrau), "Zwischenprodukt" (hellgrau bis mittelgrau) und Markasit (ebenfalls hellgrau) mit krustig-schaliger bis traubig-nieriger und konzentrisch-schaliger Schalenblende (mittelgrau) zeigen plastische Verformung und Belastungsmarke („load cast“). Opal-Gangart, natürliche Porenhohlräume (beide schwarz).

Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 80 x.

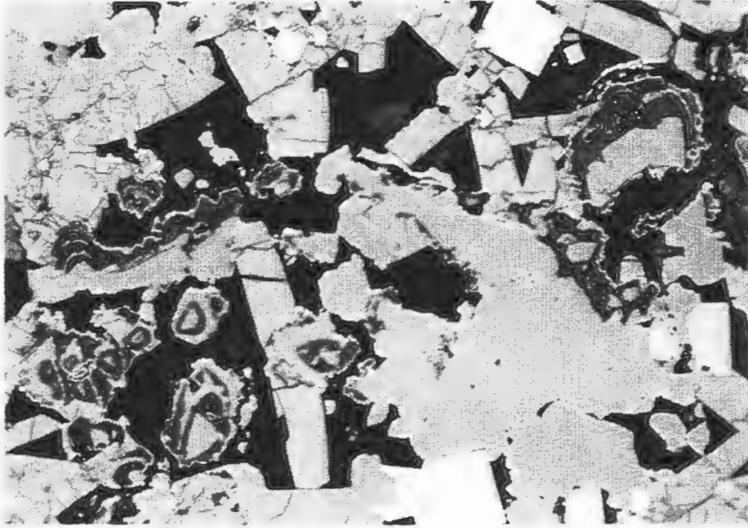


Abb. 24: Probe OLGA I - 55 GTVA. Ostpazifischer Rücken,  $21^{\circ} 26,245' S$ ,  $114^{\circ} 16,851' W$ , Wassertiefe 2 788 m. Chalkopyrrhotin (mittelgrau) mit feiner Kupferkies-Entmischung (hellgrau) zeigt randlich feintrhythmische Wechselfolgen mit Schalenblende (dunkelgrau) und Aufwachsungen von idiomorphem, tafelig nach  $\{0001\}$  entwickeltem Magnetkies (ebenfalls mittelgrau) sowie Pyrit (hellgrau, fast weiß). Opal-Gangart, natürliche Porenhohlräume (beide schwarz).  
Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 325 x.

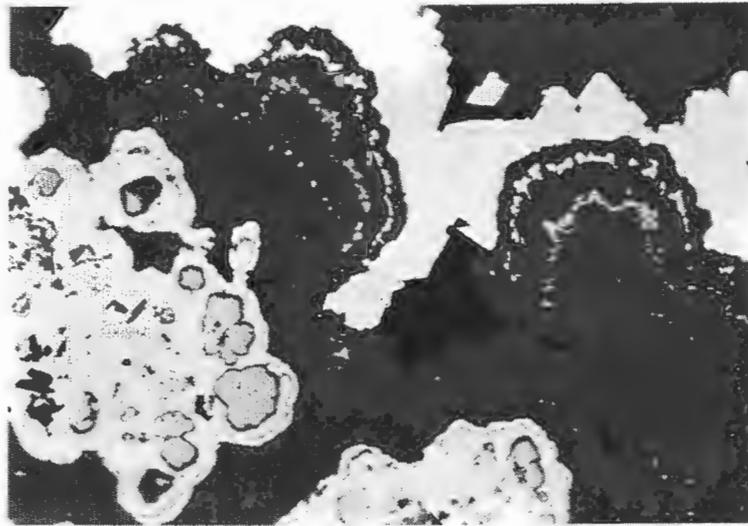


Abb. 25: Probe OLGA I - 138 GTVA. Ostpazifischer Rücken,  $21^{\circ} 26,304' S$ ,  $114^{\circ} 16,852' W$ , Wassertiefe 2 782 m. Rhythmische kolloidale Massen und Wechselfolgen von Pyrit mit Melnikovitpyrit, Markasit (alle lichtgrau, fast weiß), Schalenblende und Zinkblende (beide dunkelgrau in verschiedenen Tönen). Die kolloidalen Massen enthalten Chalkopyrrhotin (mittelgrau), der stellenweise idiomorphe Ausbildung erkennen läßt und orientiert von Zinkblende umwachsen und gesäumt wird. Schalenblende weist in ihren rhythmischen Massen, durch geringe Unterschiede im Reflexionsvermögen abgebildet, Zonarbau auf. Opal-Gangart, natürliche Porenhohlräume (beide schwarz).  
Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 100 x.



Abb. 26: Probe OLGA I - 138 GTVA. Ostpazifischer Rücken, 21° 26,304' S, 114° 16,852' W, Wassertiefe 2 782 m.

Detail aus rhythmischen, kolloidalen Massen, darin idiomorpher Chalkopyrrhotin (mittelgrau), orientiert umwachsen und gesäumt von Zinkblende mit Schalenblende (beide dunkelgrau, Innenreflexe), darauf Markasit (hellgrau in verschiedenen Tönen, Reflexionspleochroismus!), etwas Schalenblende, gefolgt von Pyrit (ebenfalls hellgrau) und außen wieder Schalenblende. Chalkopyrrhotin zeigt feine Entmischung von Kupferkies (ebenfalls hellgrau) in Spindeln.

Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 500 x.

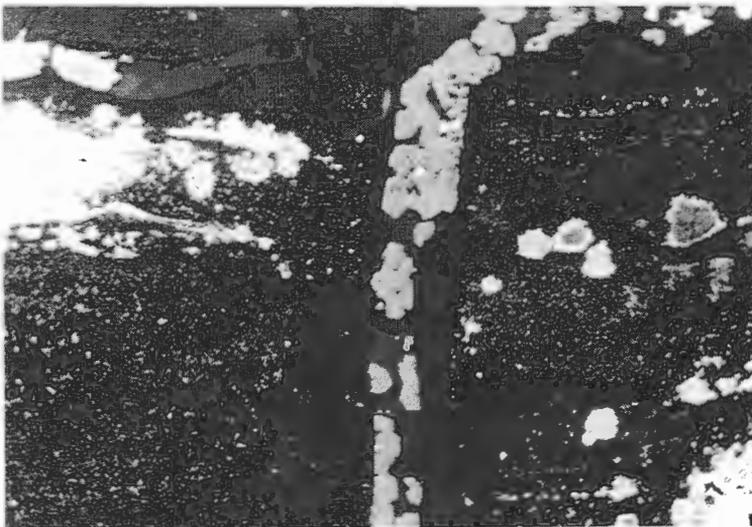


Abb. 27: Probe OLGA I - 138 GTVA. Ostpazifischer Rücken, 21° 26,304' S, 114° 16,852' W, Wassertiefe 2 782 m.

Ausschnitt aus zonar reichlich Opal-Gangart (dunkelgrau, fast schwarz) führendem Komplexmassiv-sulfiderz. Opal-Gangart führt in Einschlüssen vorherrschend Pyrit (hellgrau, fast weiß), auch in Sphäroiden sowie örtlich Markasit (ebenfalls hellgrau, fast weiß). Die kolloidalen Massen von Opal-Gangart mit zumeist sehr feinen Pyrit-Einschlüssen weisen Bruchbildung auf, die Risse werden teilweise von jüngerem Wurtzit (mittelgrau), begleitet von etwas Pyrit und Zinkblende (ebenfalls mittelgrau), verheilt. Stellenweise säumt Opal-Gangart selbst Risse sowie die jüngeren Sulfide in diesen. Natürliche Porenhohlräume (dunkelgrau).

Anschliff, Vergr.: 200 x.



Abb. 28: Probe OLGA I - 44 GTVA. Ostpazifischer Rücken, 21° 25,601' S, 114° 16,621' W, Wassertiefe 2 779 m. Zinkblende (mittelgrau bis dunkelgrau, örtlich Innenreflexe) enthält feintrhythmisch Chalkopyrrhotin mit Kupferkies-Entmischung (beide hellgrau, fast weiß, in Abb. nicht unterscheidbar) und läßt durch unterschiedliches Reflexionsvermögen deutlich Zonarbau und typische Verzwilligung erkennen. Opal-Gangart, natürliche Porenhohlräume (beide schwarz). Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 500 x.

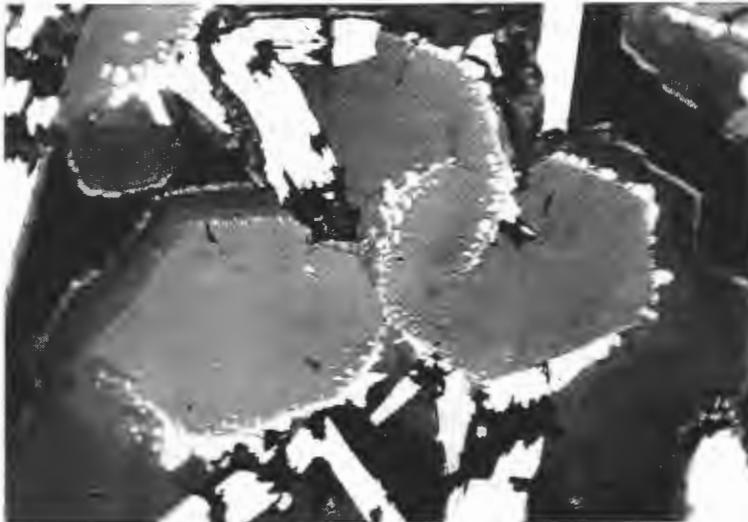


Abb. 29: Probe OLGA I - 44 GTVA. Ostpazifischer Rücken, 21° 25,601' S, 114° 16,621' W, Wassertiefe 2 779 m. Idiomorph in Tafeln nach {0001} ausgebildeter Wurtzit (mittelgrau bis dunkelgrau) enthält zonar Einschlüsse von Kupferkies (hellgrau, fast weiß) und läßt durch starke Unterschiede im Reflexionsvermögen deutlich Zonarbau beobachten. Wurtzit wird randlich von Opal-Gangart (schwarz, Innenreflexe) gesäumt und enthält randlich aufgewachsen idiomorph nach {0001} entwickelte Tafeln von Magnetkies (ebenfalls hellgrau, fast weiß), die beginnende Verdrängung durch Limonit (ebenfalls schwarz) aufweisen. Natürliche Porenhohlräume (ebenfalls schwarz). Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 500 x.

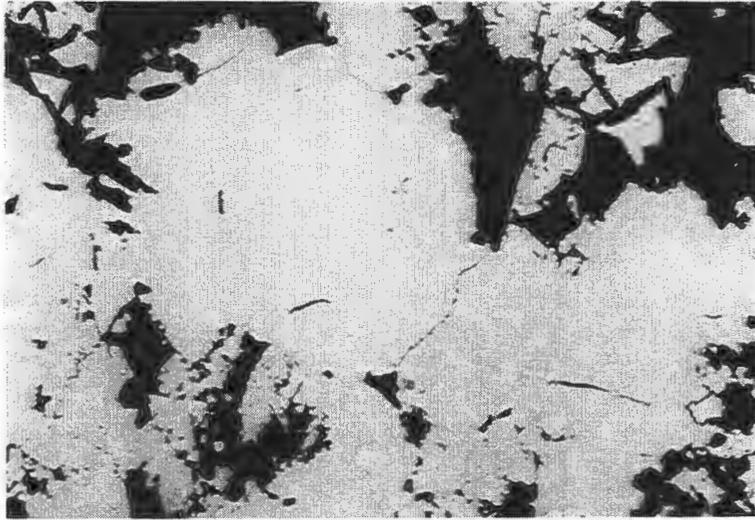


Abb. 30 a

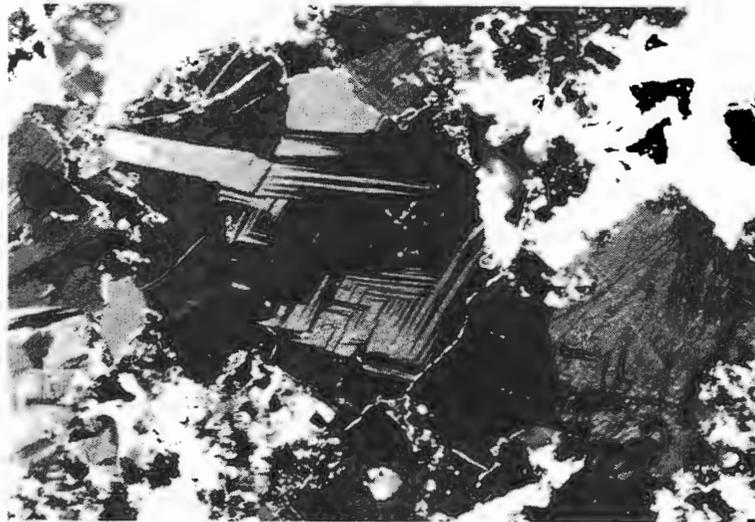


Abb. 30 b

Abb. 30: Probe OLGA I - 138 GTVA. Ostpazifischer Rücken, 21° 26,304' S, 114° 16,852' W, Wassertiefe 2 782 m.

Körniger Kupferkies (in Abb. 30 a hellgrau), randlich mit ein wenig Markasit (in Abb. 30 a hellgrau, fast weiß, in Abb. 30 b durch Anisotropieeffekte stark aufgehellt) und Pyrit (in Abb. 30 a ebenfalls hellgrau, fast weiß, in Abb. 30 b schwarz), zeigt durch die Anisotropieeffekte (Abb. 30 b) prächtige Ausbildung der charakteristischen oleanderblatt- bis lanzettförmigen Umwandlungslamellen von Hochtemperatur-Kupferkies. Opal-Gangart, natürliche Porenhohlräume (beide in Abb. 30 a schwarz, in Abb. 30 b durch Innenreflexe stark aufgehellt).

Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 250 x, Abb. 30 a: 1 Pol,

Abb. 30 b: + Pol.



Abb. 31: OLGA I - OFOS 15 - 301. Ostpazifischer Rücken, 21° 29,21' S, 114° 17,12' W, Wassertiefe 2 797 m. Ausschnitt aus Zentralgraben, der Bedeckung mit hydrothermale Sediment aufweist, nämlich hydrothermalen Fällungen reich an Silikat (Nontronit) und Eisenhydroxid. Diese treten stellenweise außerdem in hügelartigen sowie kleinen, schornsteinförmigen Fällungen auf, teilweise begleitet von Komplexmassivsulfidzerz. Örtlich finden sich auf einem Hügel (rechts von Bildmitte) kleine weiße Seeanemonen (Anthozoen), darüber eine bläulich-weiße Seegurke (Holothurie).



Abb. 32: OLGA I - OFOS 25 - 426. Ostpazifischer Rücken, 21° 25,36' S, 114° 16,32' W, Wassertiefe 2 792 m. Grober Basaltlava-Blockschutt im Zentralgraben ist bedeckt mit hydrothermale, Nontronit führendem Sediment, das stellenweise dunkle, manganreiche Anflüge aufweist. Der Austritt hydrothermaler Lösung führt zur Ansammlung von Fischen, typischen Vertretern der Hydrothermalfauna.

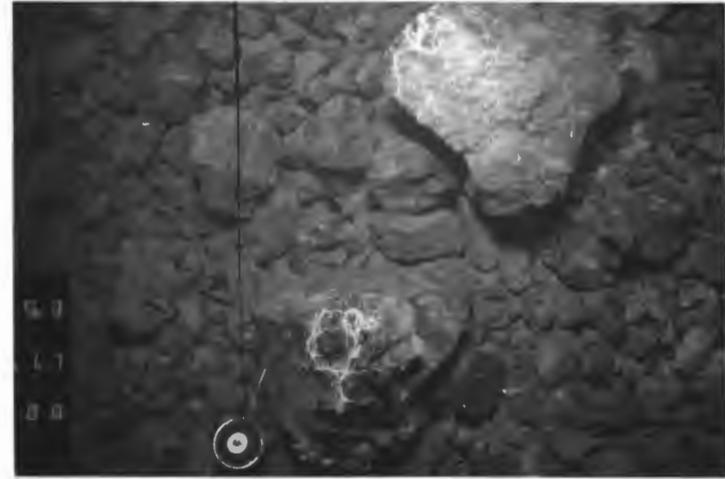


Abb. 33: OLGA I - OFOS 6 - 268. Ostpazifischer Rücken, 21° 25,42' S, 114° 16,55' W, Wassertiefe 2 800 m. Grober Basaltlava-Blockschutt, darauf stellenweise charakteristischer Bestand des weißen "Spaghettiwurmes" (*Saxipendium cf. coronatum*).



Abb. 34: OLGA I - OFOS 50 - 620. Ostpazifischer Rücken, 21° 26,29' S, 114° 16,63' W, Wassertiefe 2 797 m. Lappige Lava, etwas bedeckt mit hydrothermale Sediment, weist Bewuchs mit Kolonien von vermutlich festsitzenden Schirmquallen (Scyphozoen) auf. Örtlich wird das hydrothermale Sediment durch den Instrumentenkorb mit Kompaß aufgewirbelt.

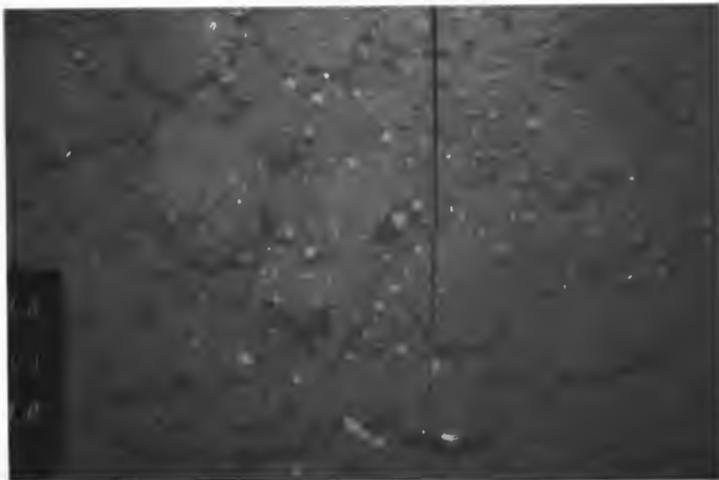


Abb. 35: OLGA I - OFOS 106 - 746. Ostpazifischer Rücken, 21° 25,18' S, 114° 16,39' W, Wassertiefe 2 805 m. Basallava-Blockschutt im Bereich eines Hydrothermalquellen-Austrittes mit Ansammlung von vorherrschend kleinen weißen Seeanemonen (Anthozoen), sessilen Meeresborstenwürmern (Polychaeten, vermutlich Serpuliden), letztere bevorzugt auf Bruchkanten im Lavaschutt. Vereinzelt wandern anomure Krebse (Galatheiden: Munidopsis sp.) über die Blöcke, außerdem sind eine blinde Krabbe (Bythograeidae: Bythograea spec.?, unterer Bildrand rechts) sowie ein Fisch (unterer Bildrand Mitte) zu beobachten.

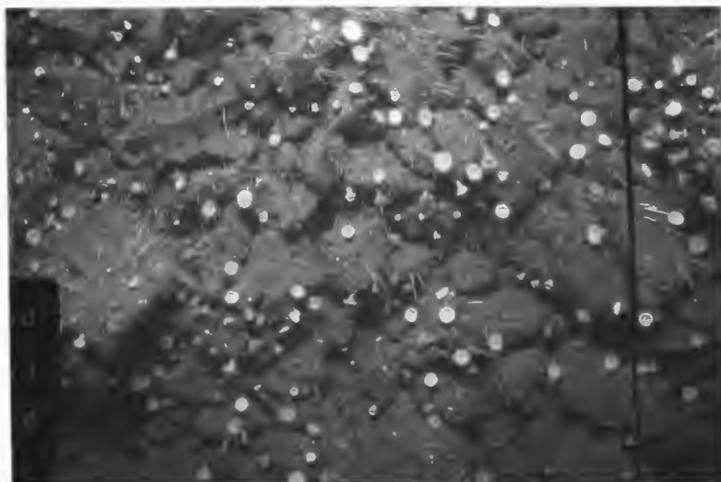


Abb. 36: OLGA I - OFOS 106 - 747. Ostpazifischer Rücken, 21° 25,18' S, 114° 16,39' W, Wassertiefe 2 799 m. Detail aus grobem Basallava-Blockschutt im Bereich eines Austrittes von hydrothermaler Lösung mit reichlich Bewuchs von sessilen Meeresborstenwürmern (Polychaeten, vermutlich Serpuliden) und kleinen weißen Seeanemonen (Anthozoen).



Abb. 37: OLGA I - OFOS 6 - 423. Ostpazifischer Rücken, 21° 25,64' S, 114° 16,50' W, Wassertiefe 2 803 m. Detail aus grobem Basallava-Blockschutt im Bereich eines Austrittes von hydrothermaler Lösung, der Bewuchs mit kleinen weißen Seeanemonen (Anthozoen) und einer Seelilie (Crinoide, links von Bildmitte) aufweist. Stellenweise findet sich ein wenig Bedeckung mit hydrothermale Sediment.



Abb. 38: OLGA I - OFOS 106 - 731. Ostpazifischer Rücken, 21° 25,32' S, 114° 16,43' W, Wassertiefe 2 803 m. Grober Blockschutt von Basallava im Bereich eines hydrothermalen Quellaustrittes mit Ansammlung von Tiefsee-Miesmuscheln (Bathymodiolus sp.), reichlich kleinen weißen Seeanemonen (Anthozoen), sessilen Meeresborstenwürmern (Polychaeten, vermutlich Serpuliden), letztere bevorzugt auf Bruchkanten der Lavablöcke sowie vereinzelt von anomuren Krebsen (Galatheiden: Munidopsis sp.).



Abb. 39: OLGA I - OFOS 106 - 730. Ostpazifischer Rücken, 21° 25,32' S, 114° 16,43' W, Wassertiefe 2 804 m. Grober Basaltlava-Blockschutt im Bereich eines hydrothermalen Quellaustrittes zeigt stellenweise in Zwickeln Bedeckung mit gelbem hydrothermale Sediment, reich an Nontronit. Der Ozeanboden weist reichlich Organismen auf, vor allem Tiefsee-Miesmuscheln (*Bathymodiolus* sp.), kleine weiße Seeanemonen (Anthozoen), sessile Meeresborstenwürmer (Polychaeten, vermutlich Serpuliden) auf Bruchkanten der Lavablöcke, außerdem vereinzelt anomure Krebse (Galatheiden: *Munidopsis* sp.), Schnecken (rechte untere Bildecke) sowie einen kleinen weißen Kraken (Oktopus, links unterhalb Bildmitte).



Abb. 40: OLGA I - OFOS 106 - 638. Ostpazifischer Rücken, 21° 25,77' S, 114° 16,57' W, Wassertiefe 2 799 m. Auf grobem Blockschutt von Basaltlava im Bereich eines Hydrothermalquellen-Austrittes findet sich eine Ansammlung von Tiefsee-Miesmuscheln (*Bathymodiolus* sp.), stellenweise sind außerdem sessile Meeresborstenwürmer (Polychaeten, vermutlich Serpuliden) zu beobachten, diese bevorzugt auf Bruchkanten der Lavablöcke. Gelegentlich liegt eine geringe Bedeckung mit hydrothermale Sediment vor.



Abb. 41: OLGA I - OFOS 50 - 532. Ostpazifischer Rücken, 21° 26,21' S, 114° 16,72' W, Wassertiefe 2 822 m. Anomure Krebse (Galatheiden: *Munidopsis* sp.) auf Wanderung über Komplexmassivsulfidierz-Schornstein, der auf grobem Basaltlava-Blockschutt steht. Letzterer ist teilweise bedeckt mit hydrothermale, Nontronit führendem Sediment. Stellenweise zeigen der Blockschutt und der Schwarze Raucher Bewuchs mit kleinen Seeanemonen (Anthozoen), außerdem weist letzterer Besatz mit Meeresborstenwürmern (Polychaeten) auf.



Abb. 42: OLGA I - OFOS 15 - 361. Ostpazifischer Rücken, 21° 29,22' S, 114° 17,09' W, Wassertiefe 2 787 m. Eine große Seeanemone (Aktinie), deren extrem lange Fangarme sich z. T. im Vorlaufseil des Fernschlittens verfangen haben, findet sich als Besatz auf einem Komplexmassivsulfidierz-Schornstein, der randlich Röhren von Polychaeten (Meeresborstenwürmern) eingebettet enthält. Örtlich finden sich auf diesem Schwarzen Raucher außerdem Seelilien (Crinoiden). Der Boden des Zentralgrabens zeigt Bedeckung mit hydrothermale (Erz-) Sediment.

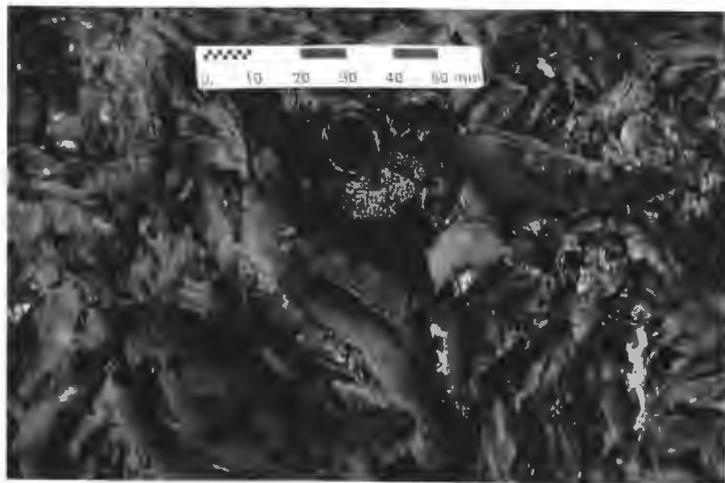


Abb. 43: OLGA I - 38 GTVA. Ostpazifischer Rücken, 21° 25,544' S, 114° 16,511' W, Wassertiefe 2 828 m. Detail aus aktivem Schwarzen Raucher mit zahlreich im zinkreichen Komplexmassivsulfidz eingebetteten Röhren von Meeresborstenwürmern (Polychaeten). Stellenweise zeigen die Röhren einen Anflug von Eisenhydroxid.

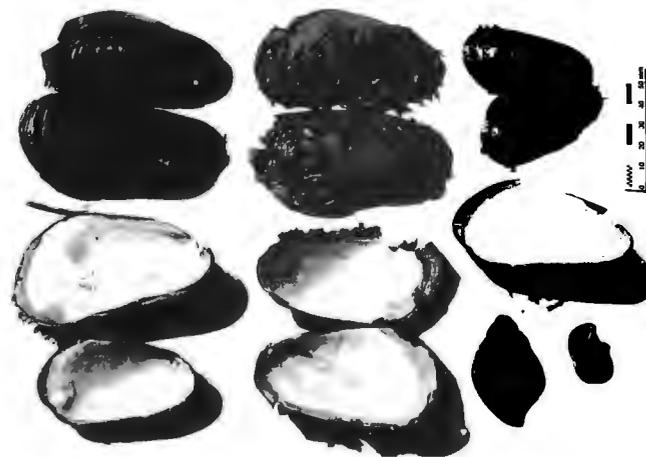


Abb. 45: OLGA I - 52 GTVA. Ostpazifischer Rücken, 21° 25,533' S, 114° 16,502' W, Wassertiefe 2 814 m. Schalen von Tiefsee-Miesmuscheln (*Bathymodiolus* sp.) sowie von räuberischen Schnecken (*Phymorhynchus* spec., zwei Exemplare, rechts unten) aus dem Besatz eines aktiven Schwarzen Rauchers.

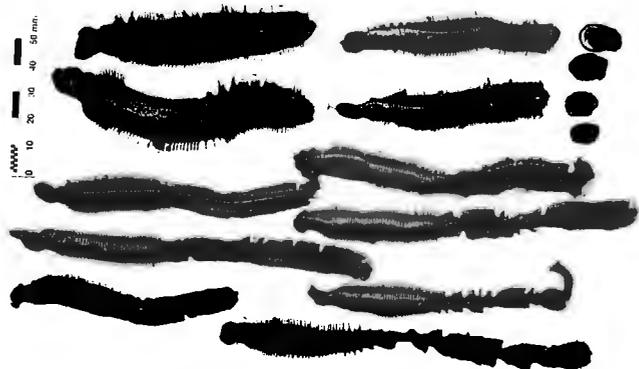


Abb. 44: OLGA I - 44 GTVA. Ostpazifischer Rücken, 21° 25,601' S, 114° 16,621' W, Wassertiefe 2 779 m. Aus aktivem Schwarzen Raucher geborgene Exemplare der Meeresborstenwürmer *Alvinella pompejana* DESBRUYÈRES & LAUBIER, 1980 (zwei Exemplare, links oben) und *Alvinella caudata* DESBRUYÈRES & LAUBIER, 1986 und an Bord noch lebende Exemplare von Napfschnecken (*Peltoispira* n. spec., vier Exemplare, rechts oben).



Abb. 46: OLGA I - 44 GTVA - 55 GTVA. Ostpazifischer Rücken, 21° 25,601' S, 114° 16,621' W, Wassertiefe 2 779 m (OLGA I - 44 GTVA), 21° 26,245' S, 114° 16,851' W, Wassertiefe 2 788 m (OLGA I - 55 GTVA). Bei normalem Atmosphärendruck noch lebende (!) Exemplare von blinden Krabben (*Bythograea* cf. *thermydron* WILLIAMS, 1980) aus dem Besatz eines aktiven Schwarzen Rauchers. Eine der Krabben weist nur eine Schere auf.

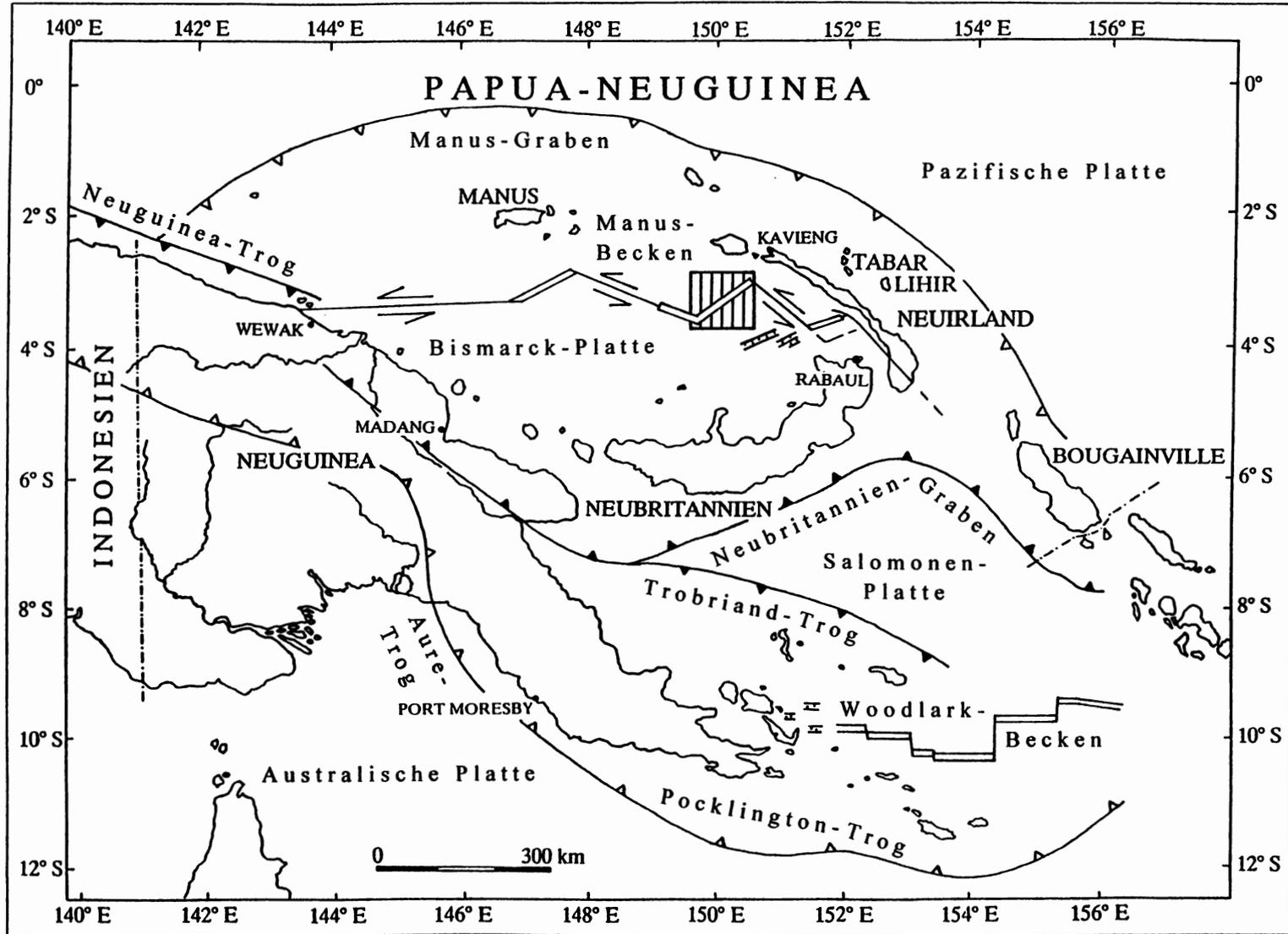


Abb. 47: Übersichtskarte von Papua-Neuguinea mit dem Hauptuntersuchungsgebiet (schraffiert) der Forschungsfahrt OLGA II in der Spreizungszone des Manus-Back-Arc-Beckens. Spreizungsrücken und Transformstörungen kennzeichnen die aktive Plattengrenze.

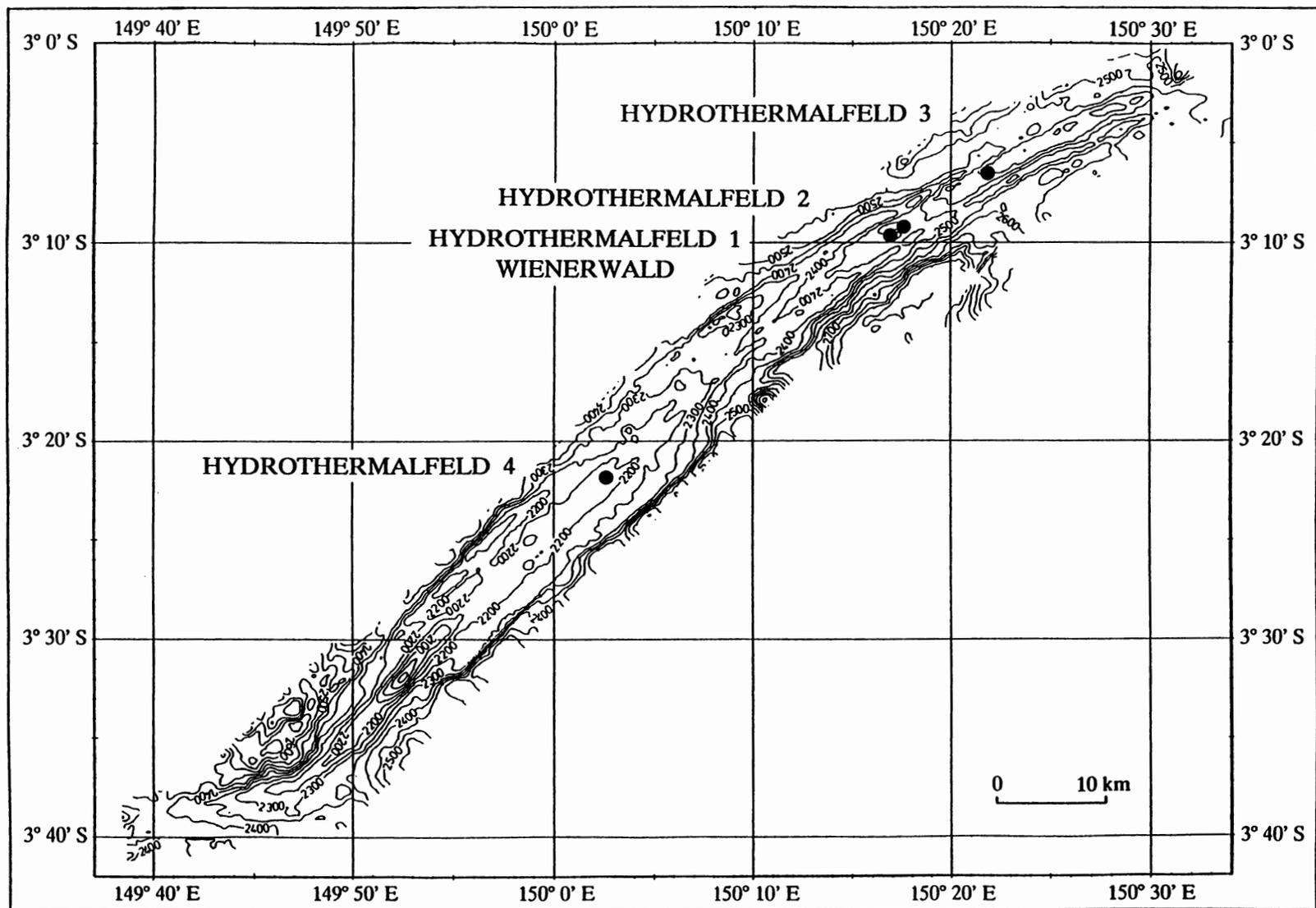


Abb. 48: Ozeanbodenkarte des Manus-Spreizungsrückens von 3° 42' S, 149° 37' E bis 3° 0' S, 150° 34' E mit Lage der vier entdeckten und nachgewiesenen größeren Hydrothermalfelder.

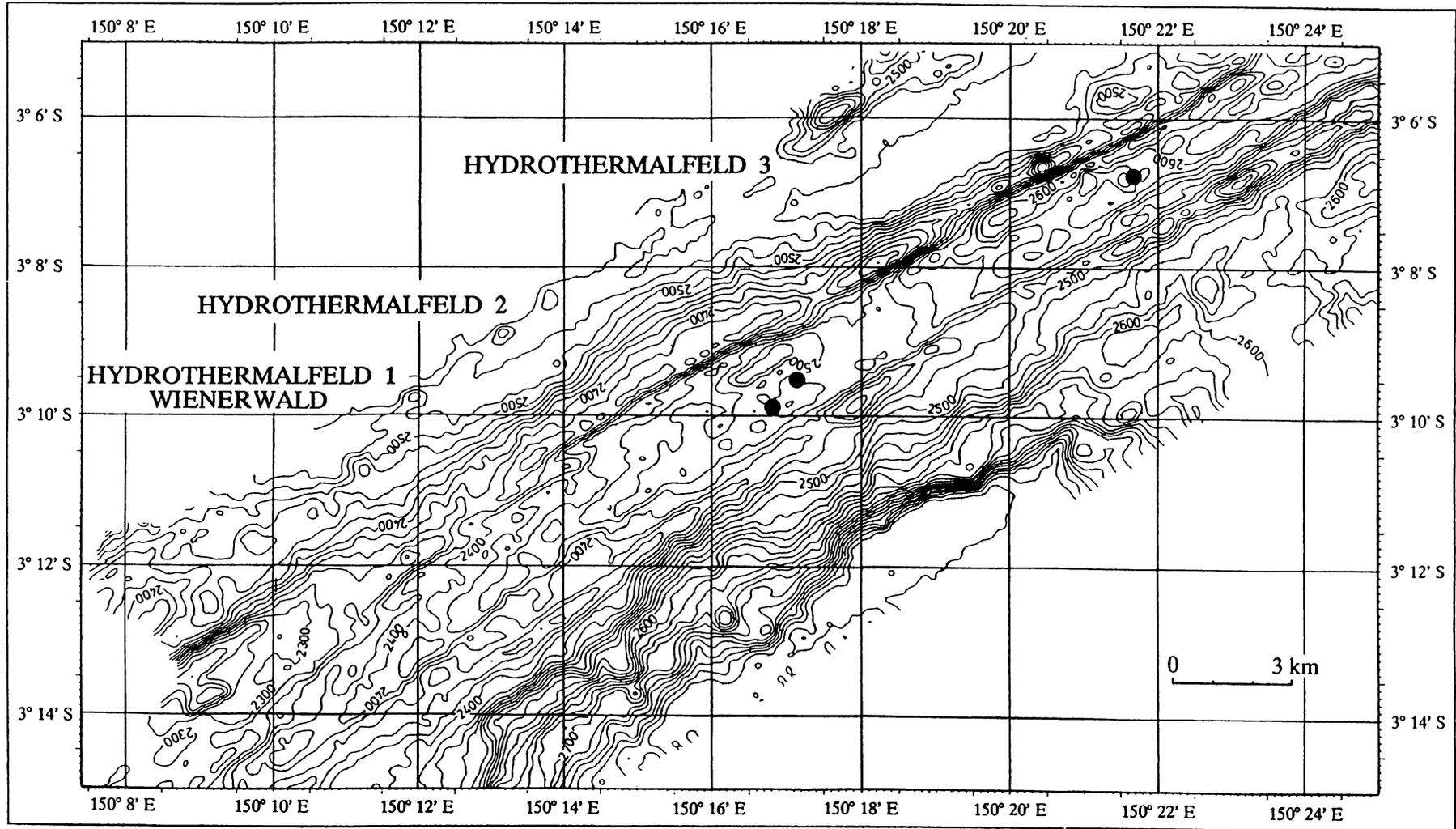


Abb. 49: Detailkarte des Manus-Spreizungsrückens von 3° 15' S, 150° 8' E bis 3° 5' S, 150° 25' E mit Lage von Hydrothermalfeld 1 "Wienerwald", Hydrothermalfeld 2 sowie Hydrothermalfeld 3.

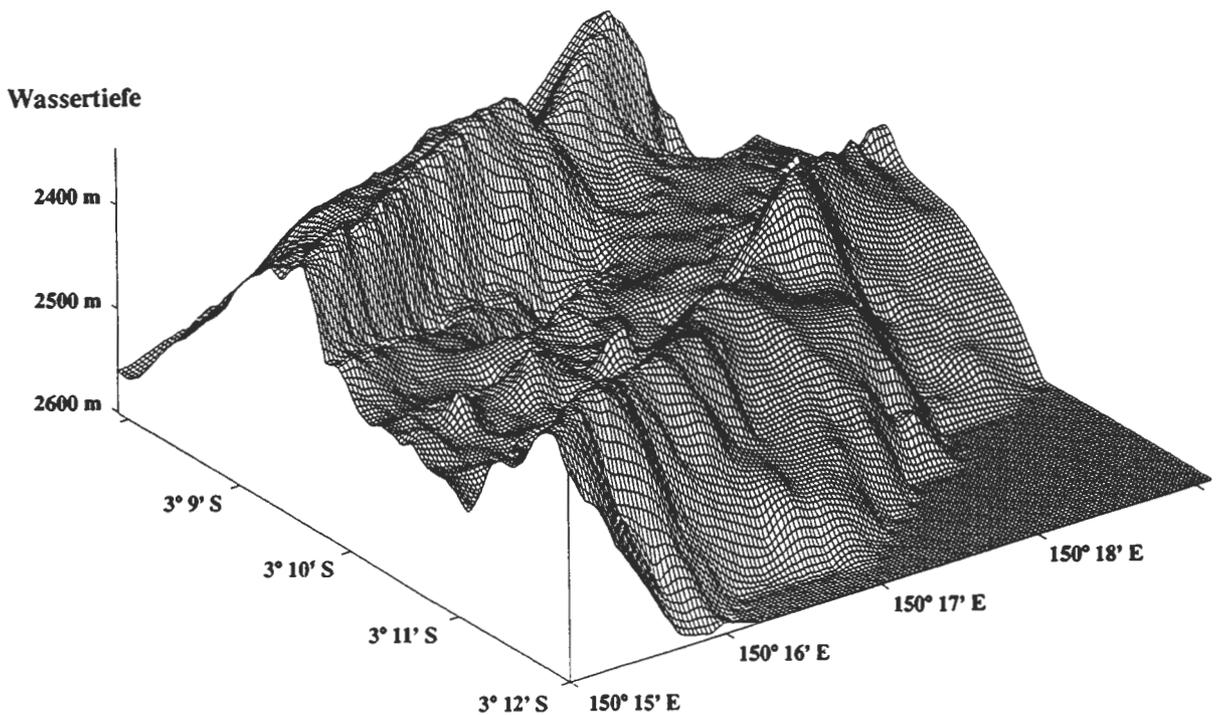


Abb. 50: Aufwölbung der Spreizungszone im Manus-Back-Arc-Becken im Bereich von Hydrothermalfeld 1 "Wienerwald" und Hydrothermalfeld 2. Die Grabenstruktur zeigt einen fast symmetrischen Bau mit einem annähernd ebenen Zentralgraben, der in Hydrothermalfeld 1 "Wienerwald" durch starke hydrothermale Aktivität gekennzeichnet ist.

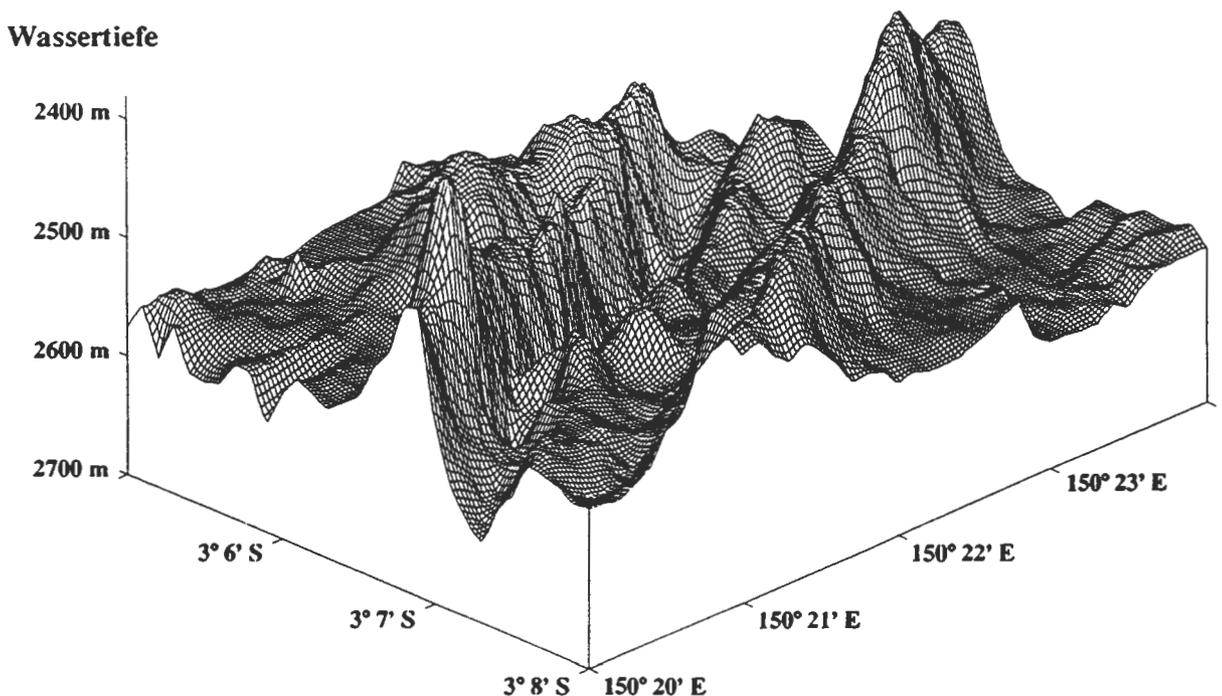


Abb. 51: Aufwölbung der Spreizungszone im Manus-Back-Arc-Becken im Bereich von Hydrothermalfeld 3. Der Zentralgraben zeigt eine ausgeprägte Asymmetrie mit einer deutlichen Zweiteilung des zentralen Bereiches. Die Komplexmassivsulfid-Vererzungen finden sich vorherrschend im Streichen der Großstruktur entlang des Abbruches der Grabenschultern zum Zentralgraben angeordnet.



Abb. 52 a



Abb. 52 b

Abb. 52: OLGA II - OFOS 32 - 155 (Abb. 52 a) - OFOS 15 - 182 (Abb. 52 b).  $3^{\circ} 19,47' S$ ,  $150^{\circ} 5,34' E$ , Wassertiefe 2 211 m (Abb. 52 a), Hydrothermalfeld I „Wienerwald“,  $3^{\circ} 9,829' S$ ,  $150^{\circ} 16,750' E$ , Wassertiefe 2 488 m (Abb. 52 b).

Ozeanboden des Zentralgrabens bedeckt mit typischer Kissenlava, darin fortgeschrittene, tiefere Bruchspalte (Abb. 52 a). Die Kissenlava besitzt häufig Striemung (Abb. 52 b), einige Lavakissen weisen (Transversal-) Risse auf, sind aufgebrochen und zeigen neuerlich ausgeflossene Lava. Örtlich (Abb. 52 b) finden sich helle hydrothermale Anflüge, reich an Baryt und/oder Anhydrit sowie röntgenamorpher Kieselsäure (Opal-Gangart), lokal ist ein anomurer Krebs (*Munidopsis spec.*) anzutreffen.



Abb. 53 a

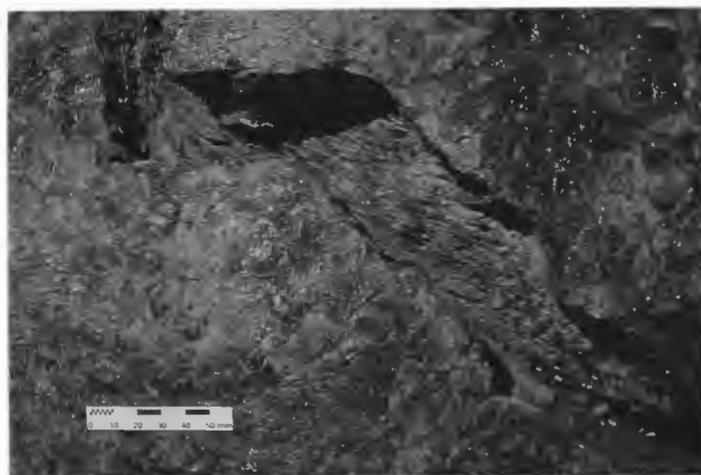


Abb. 53 b

Abb. 53: OLGA II - 11 GTVA. Hydrothermalfeld I „Wienerwald“,  $3^{\circ} 9,85' S$ ,  $150^{\circ} 16,64' E$ , Wassertiefe 2 505 m.

Prächtiges tholeiitisches Lavakissen („Pillow“) mit glasiger Oberfläche zeigt typischen asymmetrischen Transversalriß, der im Detail (Abb. 53 b) deutlich die neuerlich ausbrechende Lava unterhalb der glasigen, aufgesprengten Rinde erkennen läßt.



Abb. 54: OLGA II - OFOS 33 - 225. Manus-Spreizungsrücken, 3° 19,20' S, 150° 5,43' E, Wassertiefe 2 234 m. Typisch ausgebildete Stricklava, die in Zwickeln mit ein wenig Sediment, teilweise hydrothermalen Ursprungs, bedeckt ist.

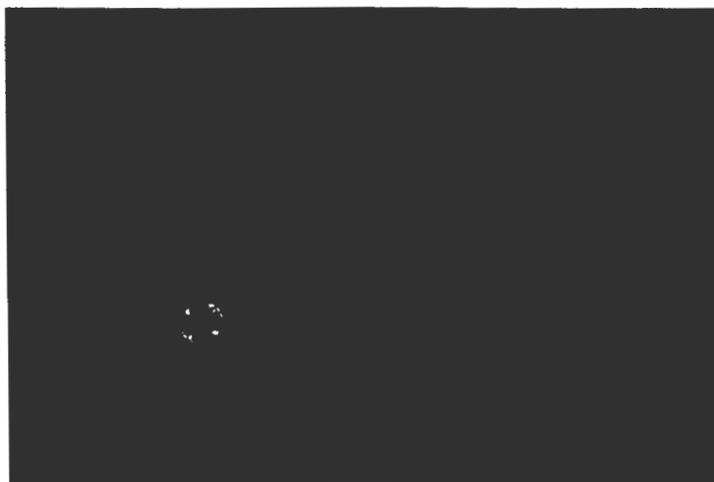


Abb. 55: OLGA II - OFOS 33 - 225. Manus-Spreizungsrücken, 3° 18,40' S, 150° 6,08' E, Wassertiefe 2 252 m. Im Bereich eines Hydrothermen-Austrittes sind plattige Lava bis Schichtlava und angrenzende Kissenlava eingebrochen und eröffnen den Blick in einen typischen Lavatunnel. An dessen Boden ist deutlich das in den Hohlraum abgestürzte Gewölbedach unter Bildung einer „Kollapsbreccie“ zu erkennen. Am noch verbliebenen Dach des Lavatunnels, besonders aber auf der „Kollapsbreccie“ tritt stellenweise reichlich hydrothermale Fauna auf, vorherrschend Tiefsee-Miesmuscheln (*Bathymodiolus* sp.) und Pogonophoren.



Abb. 56: OLGA II - OFOS 23 - 398. Hydrothermalfeld I „Wienerwald“, 3° 9,829' S, 150° 16,735' E, Wassertiefe 2 501 m.

Typische Kissenlava, darauf Gruppe kleiner aktiver Schwarzer Raucher. Die aus einem Komplexmassivsulfiderschornstein herauschießende klare hydrothermale Lösung (Mitte rechter Bildrand, Hintergrund erscheint durch Schlierenbildung unscharf) beginnt sich am Kontakt mit dem Meerwasser durch Fällung von feinsten Sulfiden zu verfärben. Stellenweise zeigt die Kissenlava etwas Bedeckung mit hydrothermale (Erz-) Sediment, örtlich anzutreffende hellere Anflüge gehen auf Anreicherungen von Baryt und/oder Anhydrit sowie röntgenamorphe Kieselsäure (Opal-Gangart) zurück. Vereinzelt wandern anomure Krebse (*Munidopsis* spec.) über Lavakissen. In deren Zwickeln finden sich gelegentlich Ansammlungen von Gastropoden-Schalen (Schill).



Abb. 57: OLGA II - OFOS 24 - 62. Hydrothermalfeld I „Wienerwald“, 3° 9,794' S, 150° 16,789' E, Wassertiefe 2 492 m.

Randlicher Bereich aus größerer Gruppe von Komplexmassivsulfiderschornsteinen auf Kissenlava mit Schwarzen Rauchern, die nur noch geringe hydrothermale Aktivität aufweisen. Sehr untergeordnet weisen Lavakissen, ausgehend von Zwickeln oder Rissen, Überzüge mit hydrothermale (Erz-) Sediment auf, lokal finden sich Ansammlungen von Gastropoden-Schalen (Schill) in Zwickeln. Vereinzelt sind Fische zu beobachten, außerdem anomure Krebse (*Munidopsis* spec.), die über Lavakissen wandern sowie eine weiße sessile Seegurke (*Holothurie*).



Abb. 58: OLGA II - OFOS 34 - 493. Hydrothermalfeld I „Wienerwald“, 3° 9,800' S, 150° 16,783' E, Wassertiefe 2 509 m.

Ausschnitt aus größerer Gruppe von Schwarzen Rauchern auf Kissenlava mit Komplexmassivsulfid-Schornsteinen, die nur noch geringe hydrothermale Aktivität zeigen. Hydrothermale Überzüge mit (Erz-) Sediment sind nur lokal auf Lavakissen zu beobachten, örtlich liegen in deren Zwickeln Ansammlungen von Gastropoden-Schalen (Schill) vor. Gelegentlich sind anomure Krebse (*Munidopsis spec.*) anzutreffen, die über Lavakissen oder Komplexmassivsulfid-Schornsteine wandern, lokal außerdem weiße sessile Seegurken (Holothurien).



Abb. 59: OLGA II - OFOS 26 - 126. Hydrothermalfeld I „Wienerwald“, 3° 9,848' S, 150° 16,828' E, Wassertiefe 2 490 m.

Ausschnitt aus größerer Gruppe von aktiven Schwarzen Rauchern mit dichtem Besatz von Organismen, vor allem an Mesogastropoden (vorherrschend die schwarze Schnecke *Olgaconcha tufari* L. A. BECK, 1991 n. gen. et n. spec., daneben die „behaarte“ Schnecke *Alviniconcha cf. hessleri* OKUTANI & OHTA, 1988) und Seepocken (*Eochionelasmus ohtai* YAMAGUCHI & NEWMAN, 1990, rechte obere Bildhälfte), außerdem findet sich eine weiße sessile Seegurke (Holothurie). Unschärfen gehen auf den Austritt hydrothermalen Lösung (Schlierenbildung!) durch den dichten Organismen-Besatz zurück.

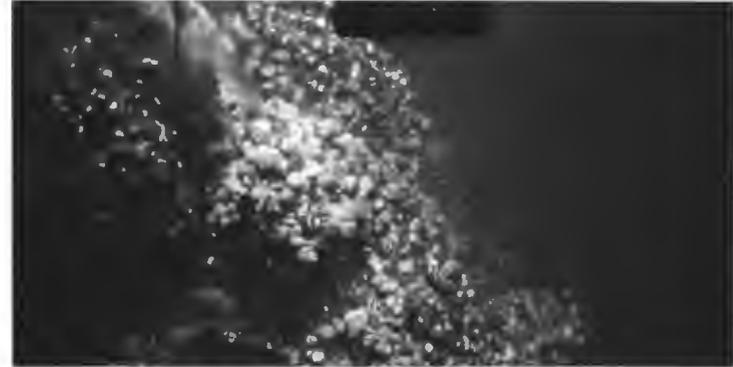


Abb. 60: OLGA II - OFOS 34 - 386. Hydrothermalfeld I „Wienerwald“, 3° 9,85' S, 150° 16,79' E, Wassertiefe 2 492 m.

Ausschnitt aus dichtem Organismen-Besatz um einen hohen aktiven Schwarzen Raucher. Der Organismen-Besatz wird vor allem von der schwarzen Schnecke *Olgaconcha tufari* L. A. BECK, 1991 n. gen. et n. spec. gebildet, begleitet von der „behaarten“ Schnecke *Alviniconcha cf. hessleri* OKUTANI & OHTA, 1988) und Seepocken (*Eochionelasmus ohtai* YAMAGUCHI & NEWMAN, 1990, linke untere Bildhälfte) sowie gelegentlich sessilen Seegurken (Holothurien) und anomuren Krebsen (*Munidopsis spec.*). Der Austritt hydrothermalen Lösung (Schlierenbildung!) durch den dichten Organismen-Besatz führt zu Unschärfen. Außerdem schießt stellenweise klare hydrothermale Lösung (linke obere Bildhälfte) aus dem Komplexmassivsulfid-Schornstein durch den dichten Organismen-Besatz heraus und beginnt sich am Kontakt mit dem Meerwasser durch Fällung von feinsten Sulfiden zu verfärben.



Abb. 61: OLGA II - OFOS 34 - 369. Hydrothermalfeld I „Wienerwald“, 3° 9,86' S, 150° 16,79' E, Wassertiefe 2 500 m.

Detail des dichten Organismen-Besatzes um einen hohen aktiven Schwarzen Raucher, dominiert von der schwarzen Schnecke *Olgaconcha tufari* L. A. BECK, 1991 n. gen. et n. spec., daneben die „behaarte“ Schnecke *Alviniconcha cf. hessleri* OKUTANI & OHTA, 1988, Seepocken (*Eochionelasmus ohtai* YAMAGUCHI & NEWMAN, 1990, linke untere Bildhälfte), einige blinde Krabben (*Austinograea alayseae* GUINOT, 1989) und vereinzelt weiße sessile Seegurken (Holothurien). Der Austritt hydrothermalen Lösung (Schlierenbildung!) durch den dichten Organismen-Besatz bewirkt Unschärfen.

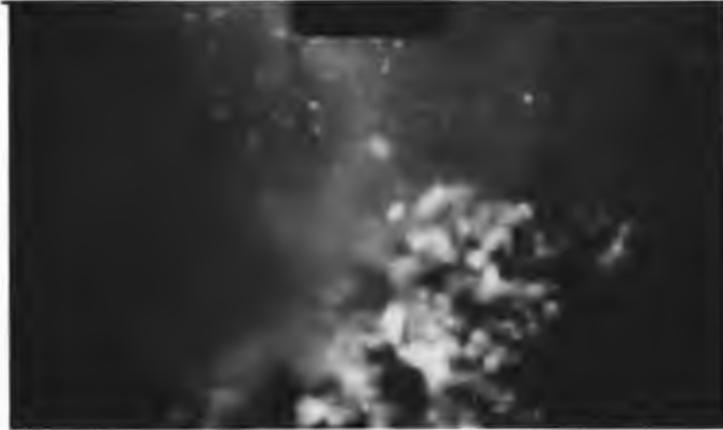


Abb. 62: OLGA II - OFOS 34 - 304. Hydrothermalefeld 1 „Wienerwald“, 3° 9,893' S, 150° 16,775' E, Wassertiefe 2 493 m.  
Spitze eines Komplexmassivsulfiderz-Schornsteines, dicht überzogen mit Organismen (vorherrschend Mesogastropoden) aus einer Gruppe von hohen aktiven Schwarzen Rauchern. Klare hydrothermale Lösung schießt aus dem Komplexmassivsulfiderz-Schornstein durch den dichten Organismen-Besatz heraus, führt durch Schlierenbildung zu Unschärfen und beginnt sich am Kontakt mit dem Meerwasser durch Fallung von feinsten Sulfiden zu verfärben.

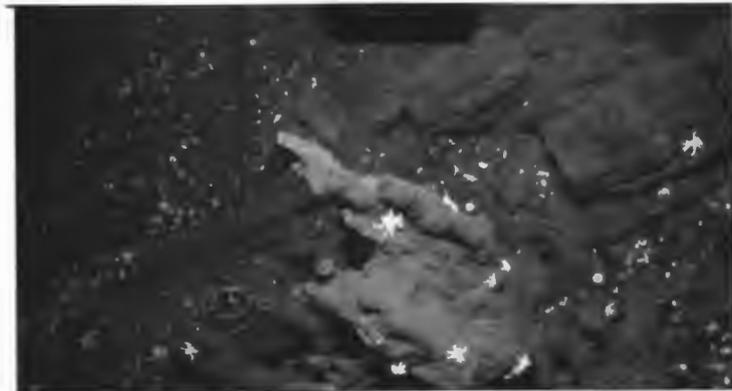


Abb. 63: OLGA II - OFOS 24 - 119. Hydrothermalefeld 1 „Wienerwald“, 3° 9,87' S, 150° 16,84' E, Wassertiefe 2 486 m.  
Umgestürzte, zerbrochene, ältere Komplexmassivsulfiderz-Schornsteine, darauf Gruppe von jüngeren Komplexmassivsulfiderz-Schornsteinen, die nur noch geringe hydrothermale Aktivität zeigen. Zwischen den Bruchstücken der umgestürzten Schwarzen Raucher finden sich reichlich Ansammlungen von Gastropoden-Schalen (Schill). Zahlreiche anomure Krebse (*Munidopsis spec.*) und einige blinde Krabben (*Austinograea alayseae* GUINOT, 1989) wandern auf dem Schill und über stehende oder umgestürzte Schwarze Raucher, ferner ist eine weiße sessile Seegurke (*Holothurie*, rechte untere Bildecke) zu beobachten. Ein aktiver kleiner Schwarzer Raucher (linke untere Bildecke) ist völlig von Mesogastropoden (vorherrschend die schwarze Schnecke *Olgacochoa tufari* L. A. BECK, 1991 n. gen. et n. spec.) überzogen, auf denen reichlich blinde Krabben weiden.



Abb. 64: OLGA II - 2 GTVA. Hydrothermalefeld 2, 3° 9,40' S, 150° 16,69' E, Wassertiefe 2 470 m.  
Prächtiges, großes Bruchstück mit der Spitze eines zinkreichen Komplexmassivsulfiderz-Schornsteines, dem ersten jemals aus der Bismarck-See und vom Manus-Spreizungsrücken geborgenen Schwarzen Raucher, daneben der Projektleiter OLGA Univ.-Prof. Dr. Werner Tufar, der den Komplexmassivsulfiderz-Schornstein in der Tiefsee entdeckt und geborgen hat.



Abb. 65: OLGA II - 17 GTVA. Hydrothermalefeld 1 „Wienerwald“, 3° 9,861' S, 150° 16,777' E, Wassertiefe 2 500 m.  
Eindrucksvolles, großes Bruchstück der verzweigten Spitze eines aktiven, zinkreichen Schwarzen Rauchers mit reichlich Besatz von lebenden, z. T. kopulierenden Seepocken (*Eochionelasmus ohtai* YAMAGUCHI & NEWMAN, 1990), außerdem lebenden Exemplaren der schwarzen Schnecke *Olgacochoa tufari* L. A. BECK, 1991 n. gen. et n. spec. und blinden Krabben (*Austinograea alayseae* GUINOT, 1989).



Abb. 66 a

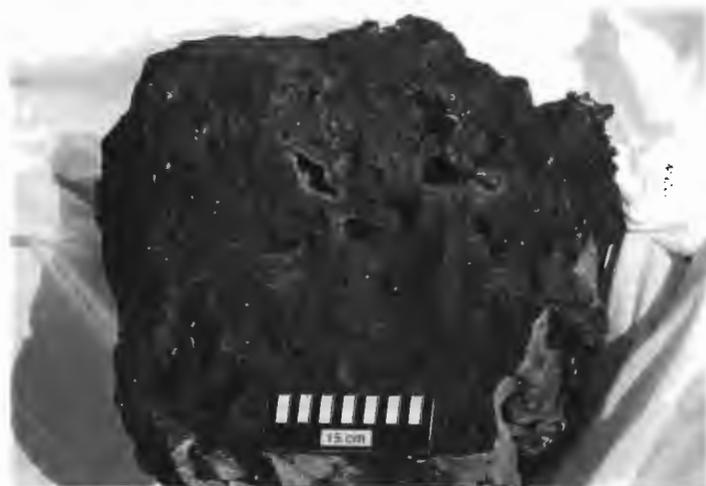


Abb. 66 b



Abb. 66: OLGA II - 26 GTVA. Hydrothermalefeld 1 „Wienerwald“, 3° 9,881' S, 150° 16,777' E, Wassertiefe 2 491 m.

Prächtiges, großes Bruchstück eines aktiven, zinkreichen Schwarzen Rauchers mit reichlich Besatz von lebenden, z. T. kopulierenden Seepocken (*Eochionelasmus ohtai* YAMAGUCHI & NEWMAN, 1990). Im Querbruch (Abb. 66 b) zeigt der Komplexmassivsulfiderz-Schornstein zentral mehrere Zufuhrkanäle der hydrothermalen Lösung, die diesen senkrecht durchziehen. Die Zufuhrkanäle sind randlich mit Pyrit, etwas Kupferkies und/oder Zinksulfid ausgekleidet.

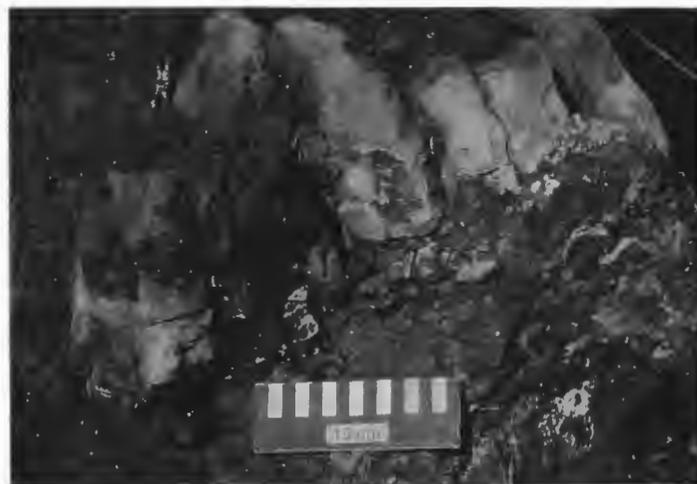


Abb. 67: OLGA II - 25 GTVA. Hydrothermalefeld 1 „Wienerwald“, 3° 9,861' S, 150° 16,791' E, Wassertiefe 2 489 m.

Größeres Bruchstück eines aktiven, zinkreichen Komplexmassivsulfiderz-Schornsteines enthält eingebettet an der Basis zahlreiche grobe Bruchstücke von Basaltlava (Stoßwerk, Erzstoßwerk, Stoßwerk-Vererzung), die hydrothermal umgebildet und „vergrünt“ ist. Hohlräume im Komplexmassivsulfiderz sind vor allem mit Kristallaggregaten von Wurtzit ausgefüllt, begleitet von Zinkblende.



Abb. 68: OLGA II - OFOS 27 - 62. Hydrothermalfeld 2, 3° 9,476' S, 150° 17,025' E, Wassertiefe 2 473 m. Peripherer Bereich aus Gruppe von bereits inaktiven Komplexmassivsulfid-erz-Schornsteinen, die ebenso wie der Ozeanboden reichlich Bedeckung mit Sediment aufweisen, das zu einem erheblichen Teil hydrothermalen Ursprungs ist. Durch den Instrumentenkorb kommt es zur Aufwirbelung des Sedimentes. Lokal findet sich eine Hornkoralle (*Gorgonaria spec.?*, unterhalb Mitte rechter Bildrand).

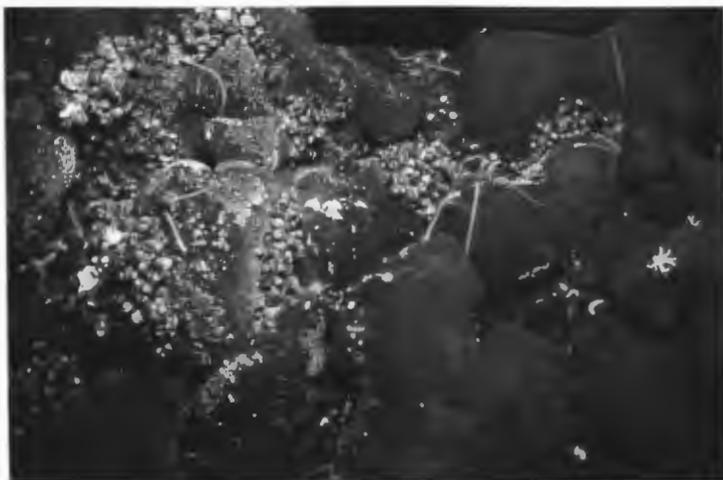


Abb. 69: OLGA II - OFOS 28 - 140. Hydrothermalfeld 3, 3° 6,676' S, 150° 21,749' E, Wassertiefe 2 571 m. Kissenlava weist um Zwickel, in denen hydrothermale Lösung austritt, gehäuft Ansammlungen von vorherrschend Mesogastropoden (hauptsächlich schwarze Schnecke *Olgacoona tufari* L. A. BECK, 1991 n. gen. et n. spec., daneben „behaarte“ Schnecke *Alviniconcha cf. hessleri* OKUTANI & OHTA, 1988) sowie von Seepocken und weißen, sessilen Seegurken (*Holothurien*) auf. Teilweise liegen bereits kleine Komplexmassivsulfid-Erzkörper vor, die völlig von einem dichten Organismen-Besatz überzogen und verdeckt werden. Stellenweise wandern anomure Krebse (*Munidopsis spec.*) über Lavakissen.

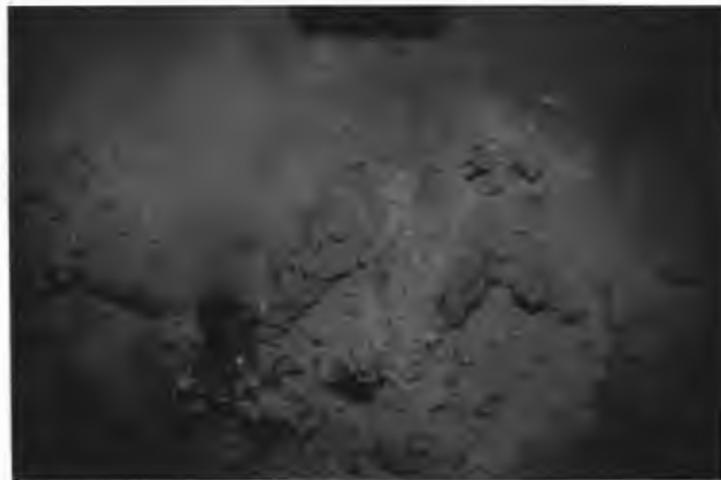


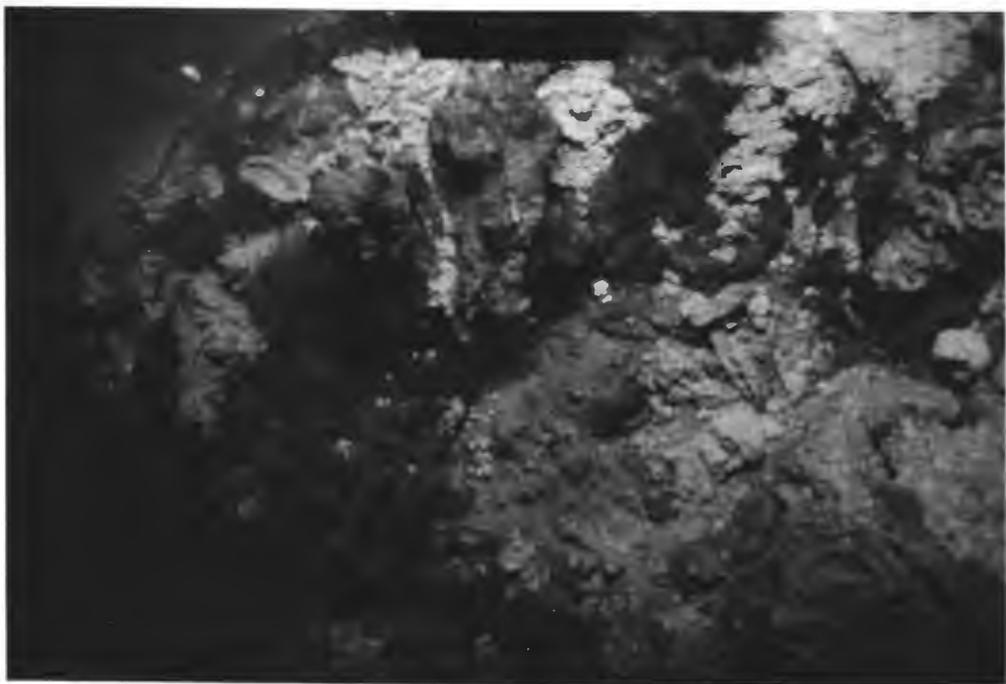
Abb. 70: OLGA II - OFOS 20 - 451. Hydrothermalfeld 3, 3° 6,69' S, 150° 21,75' E, Wassertiefe 2 585 m. Kissenlava ist fast gänzlich bedeckt von Komplexmassivsulfid-Erzkruste, darauf ein kleiner aktiver Schwarzer Raucher, aus dem klare hydrothermale Lösung (linke Bildhälfte, Hintergrund erscheint durch Schlierenbildung unscharf) herauschießt und sich am Kontakt mit dem Meerwasser durch Fällung von feinsten Sulfiden zu verfärben beginnt. Anomure Krebse (*Munidopsis spec.*), örtlich begleitet von einer blinden Krabbe (*Austinograea alayseae* GUINOT, 1989), wandern auf der Erzkruste und auf dem Komplexmassivsulfid-erz-Schornstein.



Abb. 71: OLGA II - OFOS 25 - 120. Hydrothermalfeld 4, 3° 22,260' S, 150° 2,197' E, Wassertiefe 2 186 m. Am Ozeanboden des Zentralgrabens austretende hydrothermale Lösung verfärbt sich am Kontakt mit Meerwasser durch Fällung feinsten Gangart-Mineralien milchig („Weißer Raucher“). Im Bereich des Hydrothermen-Austrittes treten reichlich Kolonien von Röhrenwürmern (*Ridgea spec.*) auf, außerdem sind häufig anomure Krebse (*Munidopsis spec.*) und Krabben (*Bythograea spec.*) zu beobachten.



*Abb. 72: OLGA II - OFOS 25 - 152. Hydrothermalfeld 4, 3° 22,125' S, 150° 2,389' E, Wassertiefe 2 196 m. Grober Lava-Blockschutt mit Austritt hydrothermaler Lösung, die sich am Kontakt mit Meerwasser durch Fällung feinsten weißer Gangart-Mineralien milchig verfärbt („Weißer Raucher“). Anomure Krebse (*Munidopsis spec.*) sind im Blockschutt und randlich am Hydrothermen-Austritt anzutreffen.*



*Abb. 73: OLGA II - OFOS 19 - 23. Hydrothermalfeld 3, 3° 6,255' S, 150° 22,244' E, Wassertiefe 2 578 m. Mächtigere, hügelartige bis schornsteinförmige, nichtsulfidische hydrothermale Fällungen (hydrothermales Sediment), reich an Eisenhydroxid sowie Silikat (Nontronit) und röntgenamorpher Kieselsäure (Opal-Gangart), teilweise überzogen mit dunklem Anflug von Manganhydroxid, bedecken den Ozeanboden des Zentralgrabens.*

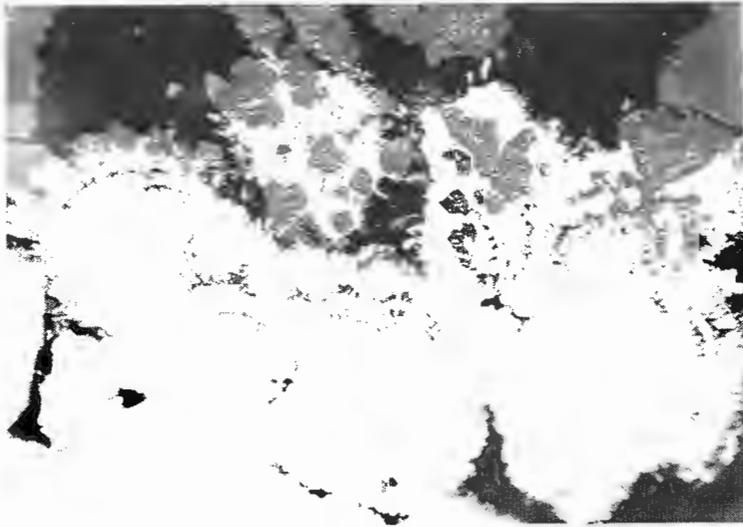


Abb. 74: Probe OLGA II - 35 GTVA. Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“, 3° 9,851' S, 150° 16,799' E, Wassertiefe 2 493 m.

Rhythmisch-konzentrischer bis radialer Pyrit (hellgrau, fast weiß) mit Markasit (ebenfalls hellgrau, fast weiß) und etwas Schalenblende (mittelgrau) werden randlich von dendritischen Aggregaten von Wurtzit und Zinblende (beide ebenfalls mittelgrau, örtlich Innenreflexe) überwachsen. Diese Dendriten enthalten feine Einschlüsse von Bleiglanz (ebenfalls hellgrau, fast weiß). Natürliche Porenhohlräume (dunkelgrau, fast schwarz, Innenreflexe).

Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 500 x.

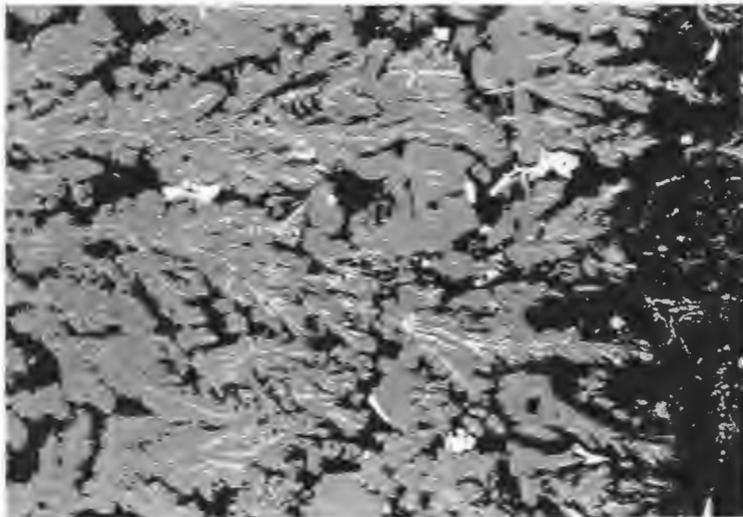


Abb. 75: Probe OLGA II - 26 GTVA. Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“, 3° 9,881' S, 150° 16,777' E, Wassertiefe 2 491 m.

Dendriten von Wurtzit und Zinkblende (beide mittelgrau) weisen randlich stellenweise Markasit (hellgrau, fast weiß) als Zwickelfüllung auf und werden wie dieser fein von Opal-Gangart (schwarz) gesäumt. Die Dendriten führen, häufig zonar im Zentrum, feine Einschlüsse von Kupferkies (ebenfalls hellgrau, fast weiß). Natürliche Porenhohlräume (ebenfalls schwarz).

Anschliff, Vergr.: 150 x.

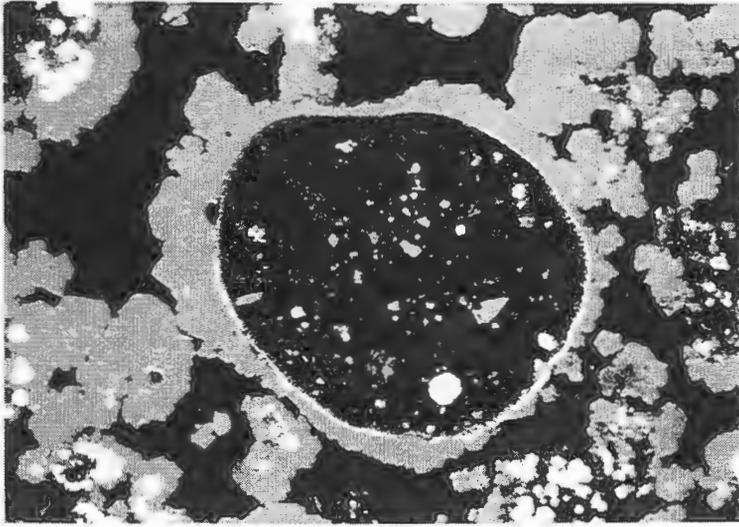


Abb. 76: Probe OLGA II - 26 GTVA. Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“, 3° 9,881' S, 150° 16,777' E, Wassertiefe 2 491 m.

Blasenförmiger Hohlraum wird fein durch Pyrit (hellgrau, fast weiß) gesäumt und außen von Schalenblende (mittelgrau) überwachsen, peripher gefolgt von Dendriten von Zinkblende und Wurtzit (beide ebenfalls mittelgrau). In diesen Dendriten finden sich stellenweise feine Einschlüsse von Kupferkies (hellgrau, fast weiß) und idiomorphem Pyrit (ebenfalls hellgrau, fast weiß). Benachbarte Dendriten enthalten öfters im Zentrum rhythmisch-konzentrischen Pyrit, teilweise begleitet von ein wenig Schalenblende. Im Zentrum des blasenförmigen Hohlraumes ist sehr poröse Opal-Gangart (schwarz) zu beobachten, die stellenweise feine Einschlüsse von Zinkblende, Wurtzit und Pyrit enthält, letzteren auch in Sphäroiden. Reichlich natürliche Porenhohlräume (dunkelgrau, fast schwarz).  
Anschliff, Vergr.: 120 x.

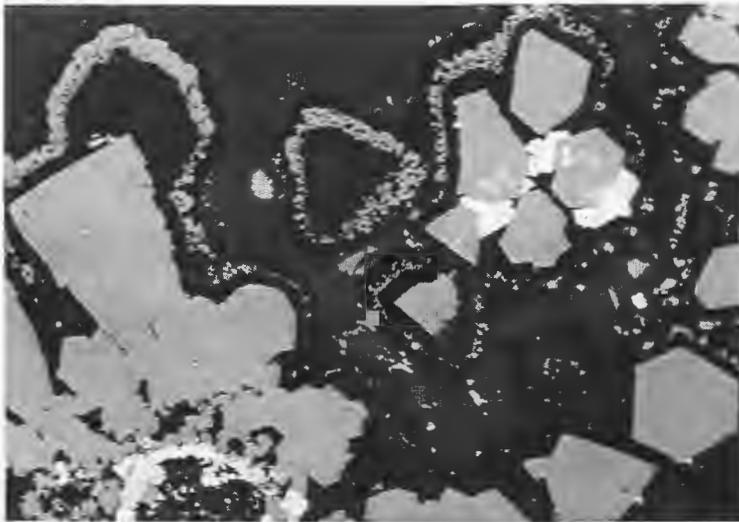


Abb. 77: Probe OLGA II - 53 GTVA. Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“, 3° 9,804' S, 150° 16,789' E, Wassertiefe 2 491 m.

Rhythmisch-konzentrischer bis radialer Pyrit (hellgrau, fast weiß) begleitet von etwas Schalenblende (mittelgrau) geht in Dendriten von Zinkblende (ebenfalls mittelgrau) über, die ihrerseits von Wurtzit (ebenfalls mittelgrau) überwachsen werden, der idiomorphe Entwicklung nach {0001} aufweist. Er wird seinerseits von rhythmischen Wechselfolgen von Opal-Gangart (dunkelgrau, fast schwarz) und Schalenblende überwachsen, wobei Opal-Gangart auch den Abschluß bildet. Reichlich natürliche Porenhohlräume (dunkelgrau).  
Anschliff, Vergr.: 120 x.

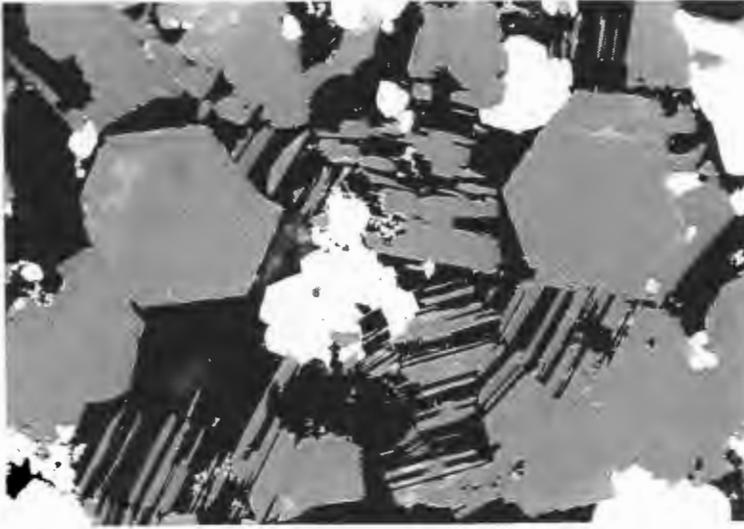


Abb. 78: Probe OLGA II - 22 GTVD. Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“, 3° 9,868' S, 150° 16,778' E, Wassertiefe 2 493 m.

Idiomorph tafelig nach {0001} entwickelter Wurtzit (mittelgrau, teilweise Innenreflexe) wird teilweise fein von Kupferkies (hellgrau, fast weiß) gesäumt sowie auch von körnigem Pyrit (ebenfalls hellgrau, fast weiß) umwachsen, der manchmal idiomorphe Ausbildung beobachten läßt und Hohlräume von Wurtzit ausfüllt. Gelegentlich läßt Wurtzit Zonarbau durch feine Unterschiede im Reflexionsvermögen sowie durch feinste Einschlüsse von Kupferkies erkennen. In Querschnitten von idiomorphem Wurtzit wird dessen dünntafelige Ausbildung besonders deutlich. Opal-Gangart, natürliche Porenhohlräume (beide schwarz, örtlich Innenreflexe).

Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 250 x.



Abb. 79: Probe OLGA II - 20 GTVA. Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“, 3° 9,894' S, 150° 16,776' E, Wassertiefe 2 482 m.

Idiomorph nach {0001} entwickelte Tafeln von Wurtzit (mittelgrau in verschiedenen Tönen, teilweise Innenreflexe) lassen durch Unterschiede im Reflexionsvermögen deutlich Zonarbau erkennen. Wurtzit enthält kleine Einschlüsse von Kupferkies mit feiner Entmischung von Chalkopyrrhotin (beide hellgrau, fast weiß, in Abb. nicht unterscheidbar), stellenweise durchziehen die Einschlüsse den Wurtzit auch orientiert in feinen parallelen Lamellen. Randlich wird Wurtzit von Opal-Gangart (schwarz) gesäumt. Natürliche Porenhohlräume (ebenfalls schwarz).

Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 1 000 x.

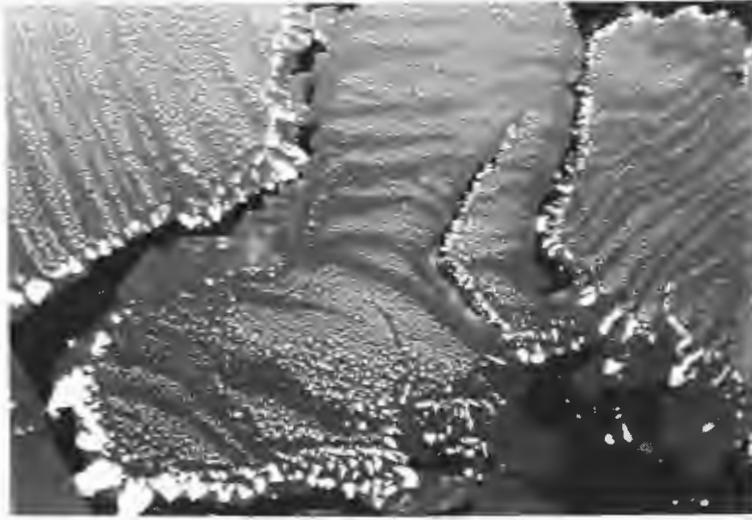


Abb. 80: Probe OLGA II - 42 GTVD. Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“, 3° 9,885' S, 150° 16,788' E, Wassertiefe 2 488 m.

Ausschnitt aus dendritischen Aggregaten von Zinkblende und Wurtzit (beide mittelgrau, örtlich Innenreflexe), die randlich idiomorphe Entwicklung aufweisen können und von Opal-Gangart (schwarz) gesäumt werden. Zonar enthalten die Aggregate reichlich fein- bis mittelkörnige Einschlüsse von Kupferkies (hellgrau, fast weiß). Natürliche Porenhohlräume (ebenfalls schwarz).

Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 250 x.

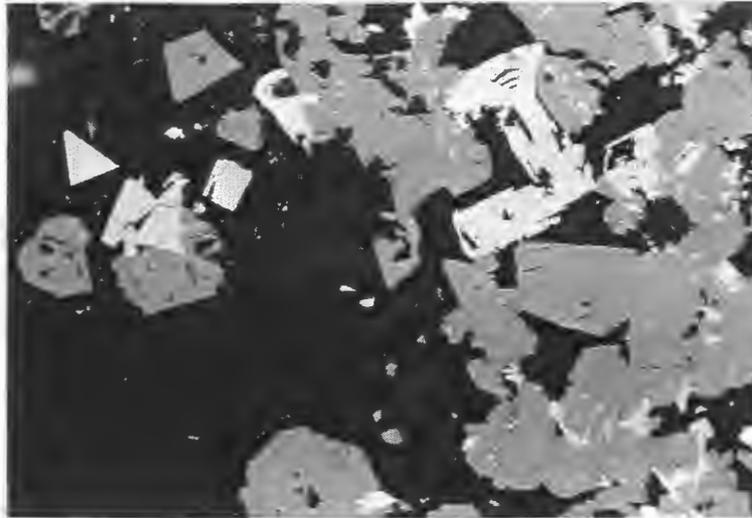


Abb. 81: Probe OLGA II - 13 GTVA. Hydrothermalfeld 2, 3° 9,453' S, 150° 16,064' E, Wassertiefe 2 490 m.

Idiomorphe Kristallaggregate von Wurtzit und Zinkblende (beide mittelgrau) enthalten zonar stellenweise feine Einschlüsse von Kupferkies (hellgrau, fast weiß) sowie randlich aufgewachsen öfters Bleiglanz (ebenfalls hellgrau, fast weiß) in grobkörnigen Kristallaggregaten bis Kristallskeletten, örtlich begleitet von Spuren von Kupferkies, alle letztlich abschließend dünn von Opal-Gangart (schwarz) gesäumt. Reichlich natürliche Porenhohlräume (dunkelgrau, fast schwarz).

Anschliff, Vergr.: 120 x.



Abb. 82: Probe OLGA II - 33 GTVA. Hydrothermalfeld 2,  $3^{\circ} 9,468' S$ ,  $150^{\circ} 17,037' E$ , Wassertiefe 2 472 m.  
 "Gestrickter" Bleiglantz (hellgrau, fast weiß) mit prächtig entwickelten Kristallskeletten parallel den Würfelkanten findet sich in natürlichen Poren bzw. Hohlräumen und in Opal-Gangart sowie örtlich randlich an das Bleioxid Plattnerit (rechte obere Bildecke) (alle schwarz, z. T. durch Innenreflexe aufgehellt).  
 Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 1 000 x.

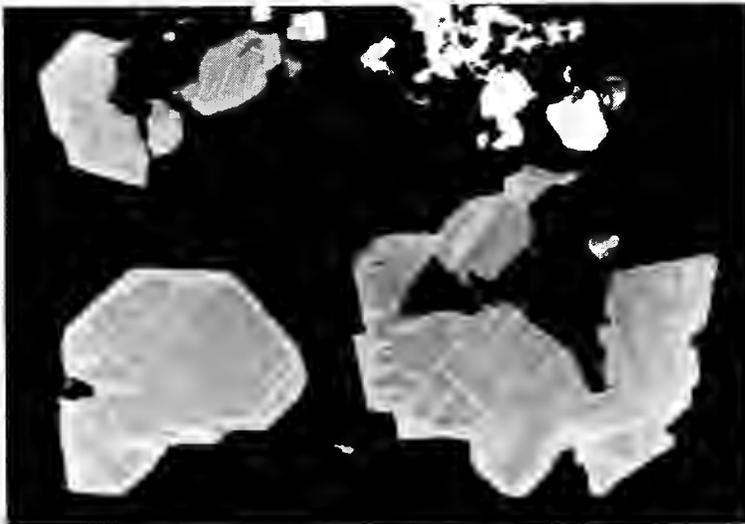


Abb. 83: Probe OLGA II - 20 GTVA. Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“,  $3^{\circ} 9,894' S$ ,  $150^{\circ} 16,776' E$ , Wassertiefe 2 482 m.  
 Idiomorph entwickelter Chalkopyrrhotin (hellgrau) weist Entmischung von Kupferkies (mittelgrau) in feinen Spindeln auf. Teilweise werden die Chalkopyrrhotin-Aggregate von Opal-Gangart (schwarz) gesäumt, stellenweise werden sie orientiert umwachsen von Zinkblende (ebenfalls schwarz). Örtlich finden sich kleine Kristallaggregate von Pyrit (hellgrau, fast weiß).  
 Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 1 600 x.

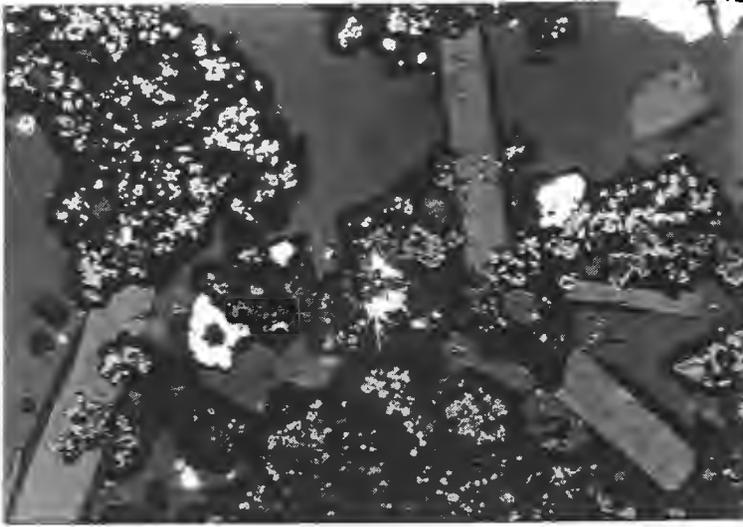


Abb. 84: Probe OLGA II - 23 GTVD. Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“, 3° 9,871' S, 150° 16,778' E, Wassertiefe 2 496 m.

Idiomorph tafelig entwickelter Baryt (heller dunkelgrau) wird dünn gesäumt von Opal-Gangart (schwarz). In den kolloidalen Massen von Opal-Gangart finden sich feintrhythmische, konzentrisch-schalige, kolloidale Massen von Birnessit (mehr einheitlich mittelgrau) und Todorokit (mittelgrau bis dunkelgrau, Reflexionspleochroismus). Pyrit, lokal begleitet von Markasit (beide hellgrau, fast weiß), zeigt stellenweise idiomorphe Entwicklung und enthält eine Pseudomorphose nach einem Arthropoden (Bildmitte). Reichlich natürliche Porenhöhlräume (dunkelgrau).

Anschliff, Vergr.: 75 x.



Abb. 85: Probe OLGA II - 23 GTVD. Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“, 3° 9,871' S, 150° 16,778' E, Wassertiefe 2 496 m.

Detail aus Abb. 84 mit Opal-Gangart (schwarz, teilweise durch Innenreflexe stark aufgehellte), darin stellenweise rhythmische, traubig-nierige bis konzentrisch-schalige Fällungen von Manganhydroxid, vorherrschend feinfaseriger Todorokit und etwas Birnessit (beide dunkelgrau in verschiedenen Tönen). In Opal-Gangart eingebettet liegt eine Pseudomorphose von Pyrit (hellgrau, fast weiß) nach einem Arthropoden, vermutlich eine Krebs-Larve und dokumentiert eindrucksvoll eine rezente Fossilisation.

Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 1 000 x.

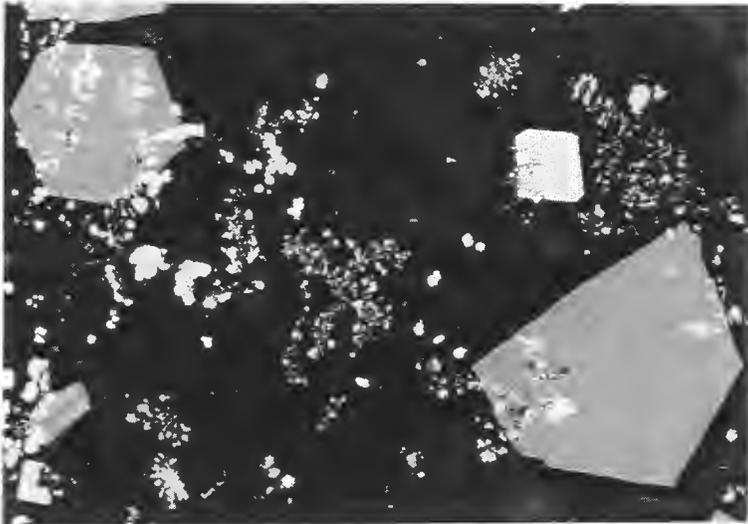


Abb. 86: Probe OLGA II - 13 GTVA. Hydrothermalfeld 2, 3° 9,453' S, 150° 17,064' E, Wassertiefe 2 490 m. Idiomorpher Wurtzit (mittelgrau, örtlich Innenreflexe) und idiomorpher Bleiglantz (hellgrau, fast weiß) werden randlich gesäumt von Opal-Gangart (dunkelgrau, fast schwarz). Die kolloidalen Massen von Opal-Gangart enthalten kleine Aggregate von Pyrit (ebenfalls hellgrau, fast weiß), der örtlich außerdem in kleinen „Himbeeren“ vorliegt. Wurtzit enthält neben reichlich Pyrit eine Spur Kupferkies (ebenfalls hellgrau, fast weiß). Im Bleiglantz ist örtlich gediegen Gold (weiß) als Einschlus zu beobachten. Reichlich natürliche Porenhohlräume (dunkelgrau).  
Anschliff, Vergr.: 75 x.

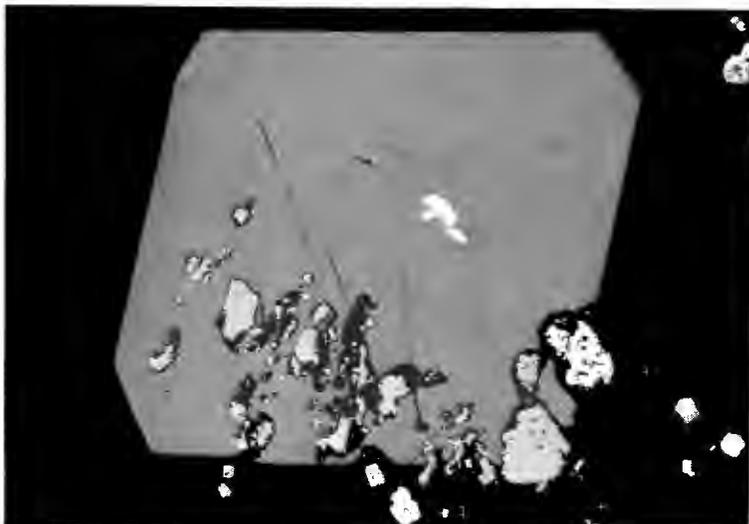


Abb. 87: Probe OLGA II - 13 GTVA. Hydrothermalfeld 2, 3° 9,453' S, 150° 17,064' E, Wassertiefe 2 490 m. Detail aus Abb. 86 mit idiomorphem Bleiglantz (mittelgrau), randlich gesäumt von Opal-Gangart (schwarz). Beide enthalten zahlreiche Einschlüsse von Pyrit (hell mittelgrau). Im Bleiglantz findet sich außerdem ein Einschlus von gediegen Gold (weiß, annähernd im Zentrum).  
Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 1 050 x.

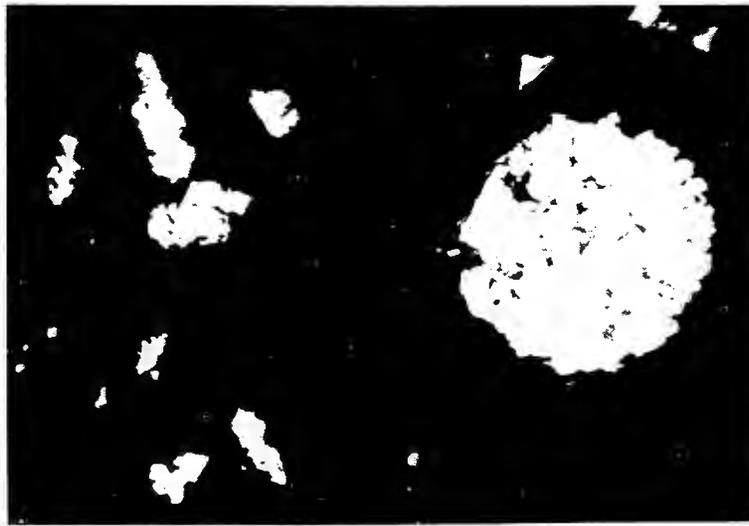


Abb. 88 a



Abb. 88 b

Abb. 88: Probe OLGA II - 25 GTVA. Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“,  $3^{\circ} 9,861' S$ ,  $150^{\circ} 16,791' E$ , Wassertiefe 2 489 m.

Basalt-Gangart (schwarz, Innenreflexe) enthält feine Kristallskelette von Magnetit (dunkelgrau, fast schwarz, in Abb. schwer zu erkennen) sowie größere Aggregate von Magnetkies (mittelgrau in unterschiedlichen Tönen - Reflexionspleochroismus) mit Kupferkies (heller mittelgrau), beide auch in einem Kügelchen, darin außerdem ein Fünckchen von gediegen Gold (hellgrau, fast weiß, in Abb. 88 a schwer zu erkennen). Im Detail (Abb. 88 b) zeigt dieses Sulfid-Kügelchen das Fünckchen von gediegen Gold (hellgrau, fast weiß, rechts von Bildmitte) an der Grenze von Kupferkies (hellgrau) zu Magnetkies (Spur dunkler hellgrau bis mittelgrau - Reflexionspleochroismus!), daneben sind einige Einschlüsse von Basalt-Gangart (schwarz) sowie gelegentlich kleine natürliche Porenhöhlräume (ebenfalls schwarz) anzutreffen.

Anschliff, Ölimmersion, Vergr. Abb. 88 a: 400 x,

Abb. 88 b: 3 100 x.



Abb. 89 a



Abb. 89 b

Abb. 89: OLGA II - OFOS 34 - 308 (Abb. 89 a) - 24 - 276 (Abb. 89 b). Hydrothermalefeld I „Wienerwald“, 3° 9,853' S, 150° 16,816' E, Wassertiefe 2 494 m. Konzentriert um eine offene, breitere und tiefe Kluft in Kissenlava finden sich zahlreiche geweihförmige Weichkorallen, einige Hornkorallen (*Gorgonaria spec.?*) sowie zwei koloniebildende Staatsqualen (*Siphonophoren*) und ein riesiger Kieselschwamm. Örtlich (Abb. 89 a, linke untere Bildecke) ist eine rotviolette Seegurke (*Holothurie*) anzutreffen. Die Lavakissen zeigen etwas Bedeckung mit z. T. hydrothermale Sediment.

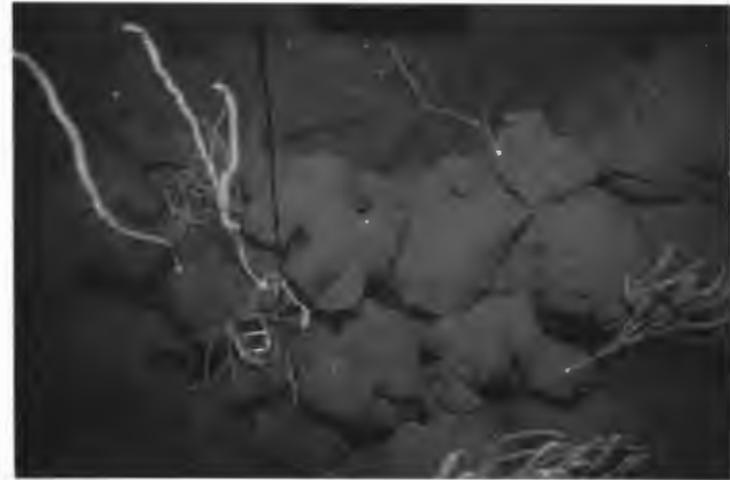


Abb. 90: OLGA II - OFOS 23 - 183. Hydrothermalefeld I „Wienerwald“, 3° 9,885' S, 150° 16,794' E, Wassertiefe 2 490 m. Gehäuftes Auftreten von geweihförmigen Weichkorallen und Hornkorallen (*Gorgonaria spec.?*) auf typischer Kissenlava. Gelegentlich finden sich anomure Krebse (*Munidopsis spec.*), örtlich eine Seeanemone (Aktinie).



Abb. 91: Hydrothermalefeld I „Wienerwald“. Bei normalem Atmosphärendruck noch (!) lebende Exemplare der schwarzen Schnecke *Olgaconcha tufari* L. A. BECK, 1991 n. gen. et n. spec. vom Besatz aktiver Schwarzer Raucher aus einer Wassertiefe um 2 500 m. Jede schwarze Schnecke zeigt einen durch die saure hydrothermale Lösung teilweise angelösten Apex. Auf einigen Schalen finden sich Exemplare der Napfschnecke *Olgasolaris tollmanni* L. A. BECK, 1992 n. gen. et n. spec.

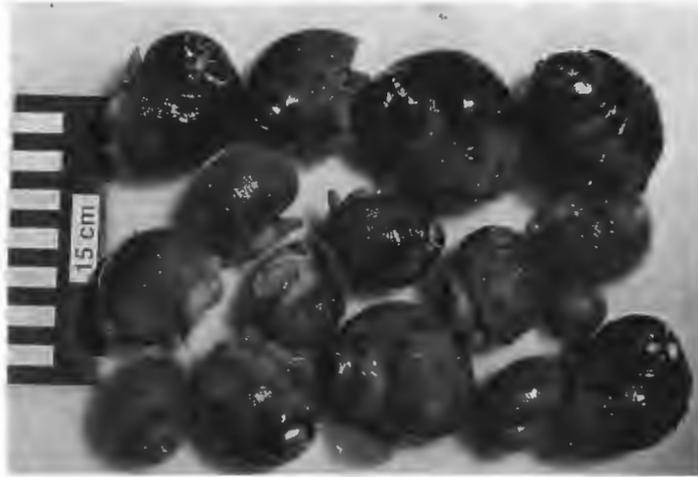


Abb. 92: Hydrothermalfeld I „Wienerwald“.

Bei normalem Atmosphärendruck noch lebende (!) Exemplare der „behaarten“ Schnecke *Alviniconcha cf. hessleri* OKUTANI & OHTA, 1988, vom Besatz aktiver Schwarzer Raucher aus einer Wassertiefe um 2 500 m. Jede „behaarte“ Schnecke zeigt einen durch die saure hydrothermale Lösung teilweise angelösten Apex.

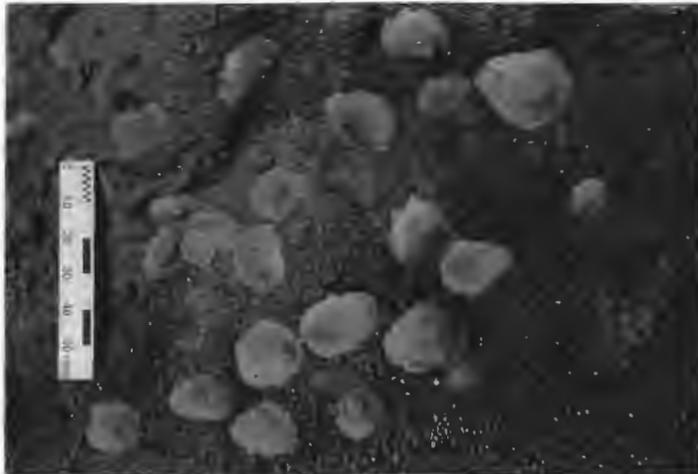


Abb. 93: Probe OLGA II - 57 GTVA. Hydrothermalfeld I „Wienerwald“, 3° 9,816' S, 150° 16,825' E, Wassertiefe 2 492 m.

Exemplare der Napfschnecke *Symmetromphalus hageni* L. A. BECK, 1992 n. spec., als Besatz eines aktiven Schwarzen Rauchers.

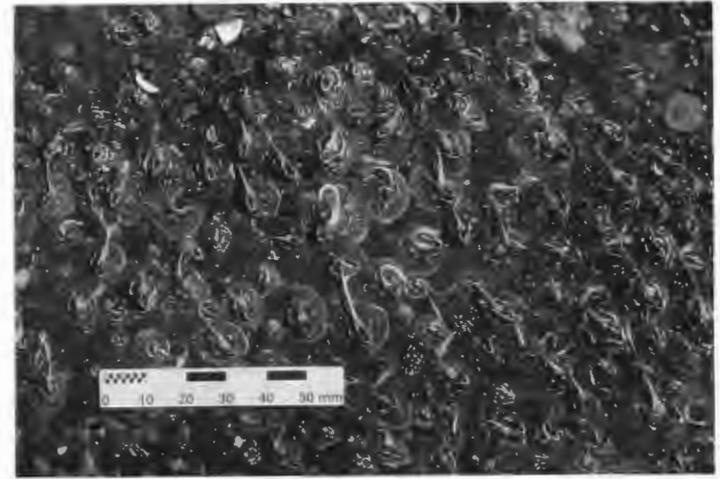


Abb. 94: Probe OLGA II - 17 GTVA. Hydrothermalfeld I „Wienerwald“, 3° 9,861' S, 150° 16,777' E, Wassertiefe 2 500 m.

Dichter Besatz von lebenden, z. T. kopulierenden Exemplaren der Seepocke *Eochionelasmus ohtai* YAMAGUCHI & NEWMAN, 1990, um einen aktiven Schwarzen Raucher.



Abb. 95: Hydrothermalfeld I „Wienerwald“.

Bei normalem Atmosphärendruck noch lebende (!) Exemplare der blinden Krabbe *Austinograea alaysea* GUINOT, 1989, vom Besatz aktiver Schwarzer Raucher aus einer Wassertiefe um 2 500 m.



Abb. 96: Probe OLGA II - 42 GTVD. Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“, 3° 9,885' S, 150° 16,788' E, Wassertiefe 2 488 m.

Feine Röhren von Meeresborstenwürmern (Polychaeten) als Besatz eines aktiven Schwarzen Rauchers.

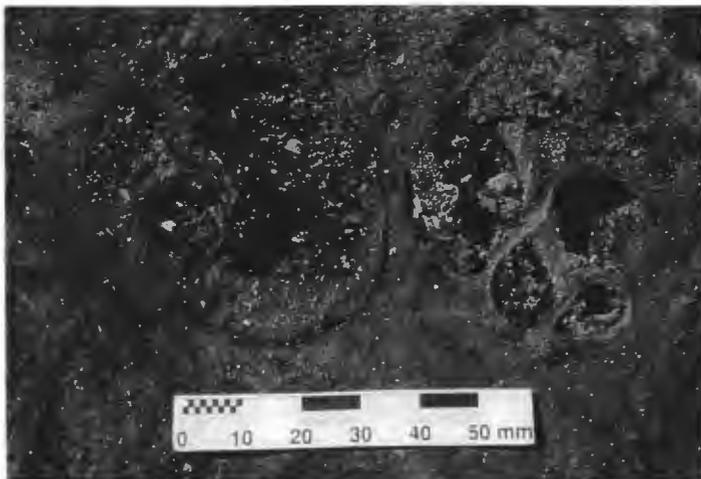


Abb. 97: Probe OLGA II - 16 GTVA. Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“, 3° 9,862' S, 150° 16,801' E, Wassertiefe 2 494 m.

Rezente fossilisierte Exemplare der schwarzen Schnecke *Olgaconcha tufari* L. A. BECK, 1991 n. gen. et n. spec., in einem zinkreichen Schwarzen Raucher.

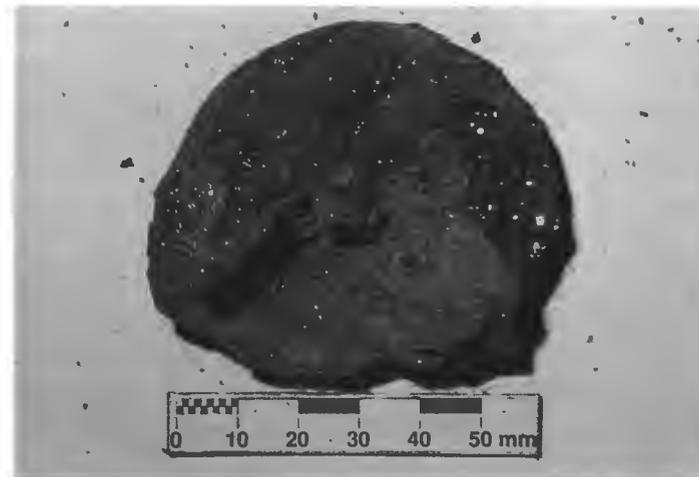


Abb. 98: Probe OLGA II - 15 GTVA. Hydrothermalfeld 1 „Wienerwald“, 3° 9,876' S, 150° 16,792' E, Wassertiefe 2 491 m.

Rezente fossilisiertes Exemplar der schwarzen Schnecke *Olgaconcha tufari* L. A. BECK, 1991 n. gen. et n. spec., aus einem zinkreichen aktiven Schwarzen Raucher. Besonders in einem Hohlraum finden sich reichlich Kristallaggregate von Kupferkies.

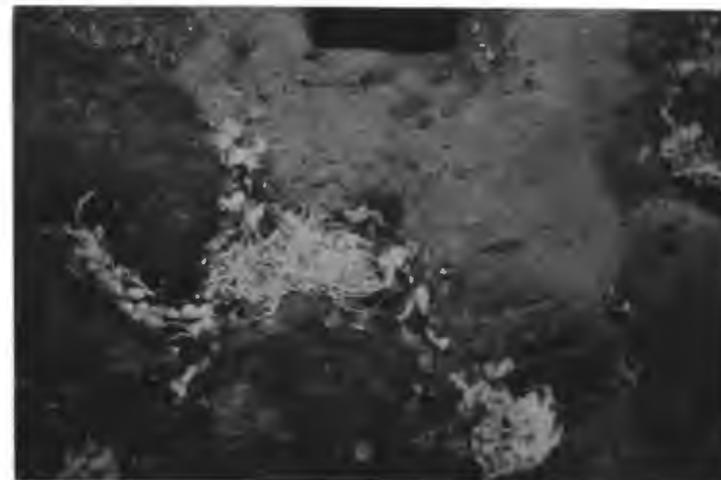


Abb. 99: OLGA II - OFOS 21 - 425. Hydrothermalfeld 4, 3° 22,27' S, 150° 2,16' E, Wassertiefe 2 189 m.

Kissenlava zeigt teilweise Anflug von hydrothermale Sediment und enthält in Zwickeln, in denen hydrothermale Lösung austritt, gehäuft Kolonien von Pogonophoren (*Ridgeia spec.*), mit denen sich auch einige rosafarbene Sessile Anemonen (n. spec.) finden.



Abb. 100: OLGA II - OFOS 21 - 422. Hydrothermalfeld 4,  $3^{\circ} 22,27' S$ ,  $150^{\circ} 2,16' E$ , Wassertiefe 2 183 m. Entlang einer Kluft in Kissenlava markiert eine Ansammlung von rosafarbenen Seeanemonen (*n. spec.*), begleitet von einigen Pogonophoren (*Ridgeia spec.*), den Austritt von hydrothermaler Lösung.

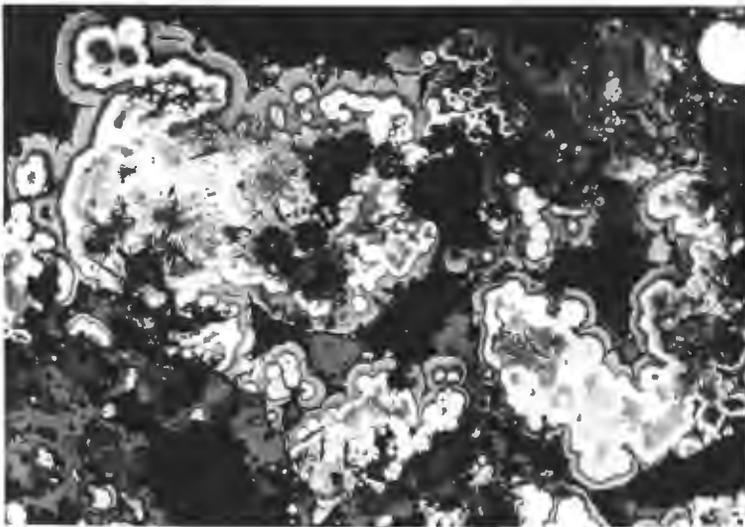


Abb. 101: Tiefseeberg Palimuro, Tyrrhenisches Meer,  $39^{\circ} 32,44' N$ ,  $14^{\circ} 42,06' E$ , Wassertiefe 631 m. Prächtig ausgebildete kollidale Massen, bestehend aus rhythmisch schaligem bis konzentrisch-schaligem Pyrit (hellgrau, fast weiß), Melnikovitpyrit (hellgrau bis mittelgrau) und „Zwischenprodukt“ (mittelgrau bis dunkelgrau) sowie randlich und in Zwickeln Schalenblende (ebenfalls mittelgrau). Die kolloidalen Massen enthalten stellenweise kleine idiomorphe Tafeln und Kristallaggregate von Baryt (schwarz). Gelegentlich treten im Melnikovitpyrit und „Zwischenprodukt“ Schrumpfungsrisse auf. Örtlich findet sich ein Pyrit-Sphäroid (rechte obere Bildecke). Gangart, reichlich natürliche Poren Hohlräume (beide ebenfalls schwarz).  
Anschliff, Vergr.: 85 x.

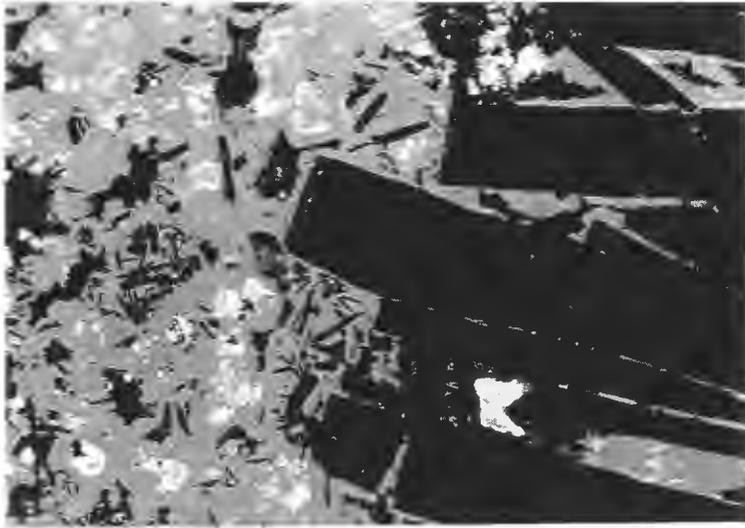


Abb. 102: Tiefseeberg Palimuro, Tyrrhenisches Meer, 39° 32,44' N, 14° 42,06' E, Wassertiefe 631 m.

Schalenblende (mittelgrau) enthält feinkörnigen Pyrit (hellgrau, fast weiß), örtlich auch in Sphäroiden, außerdem Bleiglanz (ebenfalls hellgrau, fast weiß), mit dem sie stellenweise in feiner, rhythmisch schaliger bis konzentrisch-schaliger Wechsellagerung anzutreffen ist sowie zahlreiche kleine idiomorphe Tafeln und Kristallaggregate von Baryt (dunkelgrau, fast schwarz). Bleiglanz bildet gelegentlich, lokal vergesellschaftet mit Covellin (ebenfalls dunkelgrau, fast schwarz) feinkörnige Hohlräumfüllungen in der Schalenblende und verheilt feine Risse bzw. Schrumpfrisse in dieser. Schalenblende füllt Zwickel im angrenzenden, grobblättrigen Baryt-Kristallaggregat und säumt, teilweise als dünner Intergranularfilm, die großen, idiomorph nach {001} entwickelten Baryt-Tafeln, und verheilt dabei einen Riß in einer gebrochenen Tafel. Peripher wird die Schalenblende teilweise ihrerseits fein von Bleiglanz gesäumt. Gangart, natürliche Porenhohlräume (beide schwarz).  
Anschliff, Vergr.: 65 x.

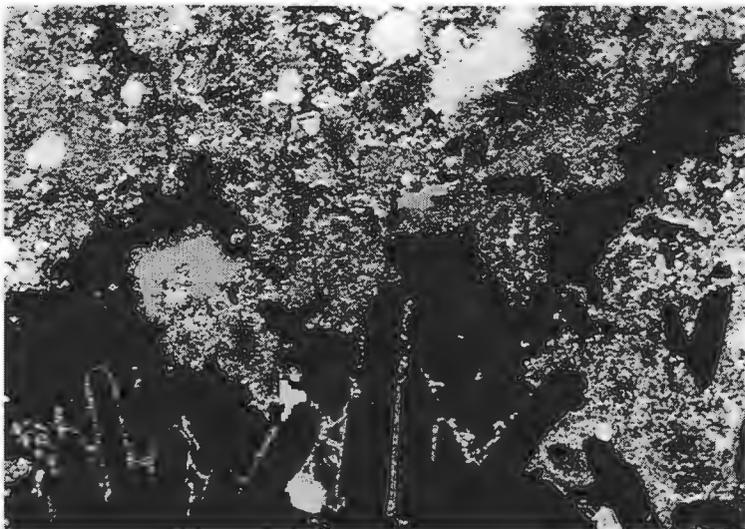


Abb. 103: Tiefseeberg Palimuro, Tyrrhenisches Meer, 39° 32,44' N, 14° 42,06' E, Wassertiefe 631 m.

Kristallaggregate von Baryt (schwarz) mit idiomorph nach {001} ausgebildeten Tafeln werden gesäumt von meist feinkörnigen, porösen Kristallaggregaten von Bleiglanz (hellgrau), die auch Zwickel in den Baryt-Kristallaggregaten füllen. Eingebettet in den Bleiglanz-Massen finden sich Pyrit (hellgrau, fast weiß) und Tennantit (mittelgrau), die beide idiomorphe Ausbildung aufweisen und von Bleiglanz gesäumt werden. Gangart, natürliche Porenhohlräume (beide ebenfalls schwarz).  
Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 130 x.



Abb. 104 a



Abb. 104 b

Abb. 104: Tiefseeberg Palinuro, Tyrrhenisches Meer, 39° 32,44' N, 14° 42,06' E, Wassertiefe 631 m.

Blasenförmige Sphäroide mit einem Zentrum, das von Gangart (schwarz) eingenommen wird und einer äußeren Schale, die aus Pyrit (hellgrau, fast weiß) besteht, weisen zahlreiche Risse auf, vorherrschend typische Schrumpfrisse, die hauptsächlich von Pyrit verheilt werden. Bleiglanz (hellgrau), meist in feinkörnigen, porösen Kristallaggregaten, füllt und verkittet stellenweise ebenfalls Schrumpfrisse in den peripheren Bereichen des von der Gangart eingenommenen Kerns der Sphäroide, nahe an der Grenze zur äußeren Pyrit-Schale sowie in dieser selbst. Bleiglanz lagert außerdem randlich an die Pyrit-Schale an, auch um deren Bruchstücke, verkittet diese teilweise und füllt Zwickel zwischen Sphäroiden. Im Detail (Abb. 104 b) ist besonders eindrucksvoll die Verheilung von typischen Schrumpfrissen im äußeren Gangart-Kern sowie in der angrenzenden Pyrit-Schale durch Pyrit und Bleiglanz zu erkennen, der besonders deutlich in feinkörnigen, porösen Kristallaggregaten Schrumpfrisse in der Pyrit-Schale füllt und randlich um diese sowie um deren Bruchstücke anlagert. Natürliche Porenhöhlräume (ebenfalls schwarz).

Anschliff, Ölimmersion, Vergr. Abb. 104 a: 65 x,

Abb. 104 b: 160 x.

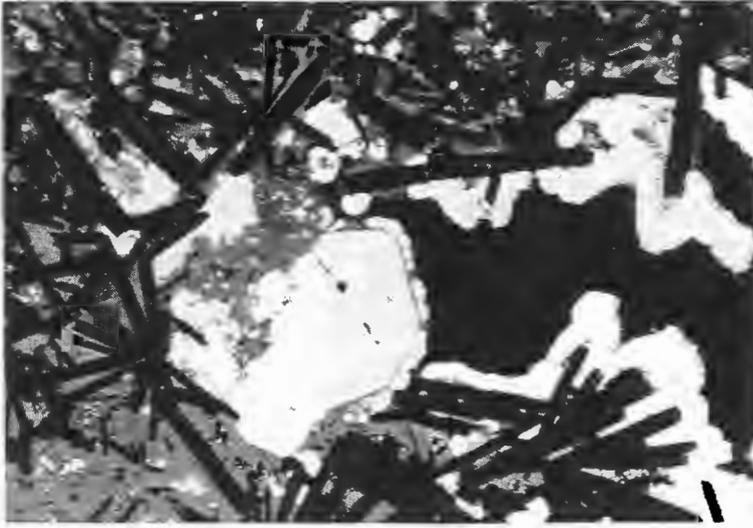


Abb. 105: Tiefseeberg Palinuro, Tyrrhenisches Meer,  $39^{\circ} 32,44' N$ ,  $14^{\circ} 42,06' E$ , Wassertiefe 631 m. Schalenblende (mittelgrau), begleitet von ein wenig Bleiglanz (hellgrau) und Pyrit (hellgrau, fast weiß), der örtlich Sphäroide bildet, besitzt reichlich Einschlüsse von Baryt (schwarz), der idiomorph tafelig nach  $\{001\}$  ausgebildet ist und füllt prächtig Zwickel in dessen Kristallaggregaten. Bleiglanz findet sich außerdem angewachsen in einem größeren, idiomorph begrenzten Aggregat. Dieses wird randlich, teilweise sehr dünn, von Schalenblende umwachsen, die ihrerseits wieder von Pyrit gesäumt wird. Dieser lagert auch direkt um Baryt-Tafeln oder um deren dünne Schalenblende-Säume („Filme“) an und füllt dabei obendrein Zwickel in Baryt-Kristallaggregaten. Gangart, natürliche Poren Hohlräume (beide ebenfalls schwarz).  
Anschliff, Vergr.: 65 x.

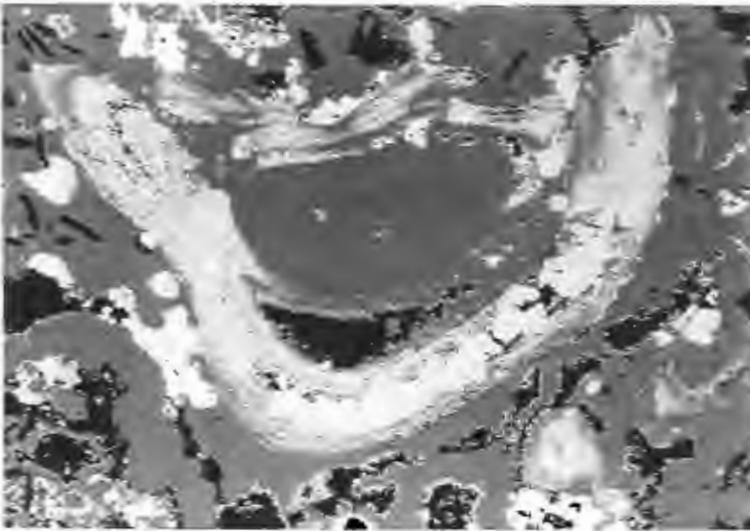


Abb. 106: Tiefseeberg Palinuro, Tyrrhenisches Meer,  $39^{\circ} 32,44' N$ ,  $14^{\circ} 42,06' E$ , Wassertiefe 631 m. Schalenblende (mittelgrau) weist zonar feine, rhythmisch lagige Wechselfolgen mit vorherrschend Bleiglanz (hellgrau) auf, die deutlich Verformung bis hin zur Faltung und Zerlegung bzw. Zerreißung zeigen („Sedimentäre Deformation“ bzw. „Sedimentäre Faltung“, „Slumping“). Bleiglanz wird in diesen Wechselfolgen von Pyrit (hellgrau, fast weiß) begleitet, der teilweise mit ein wenig Melnikovitpyrit (hellgrau bis hell mittelgrau) vergesellschaftet ist und mit diesem dann in Sphäroiden vorliegt. Pyrit findet sich außerdem in natürlichen Poren Hohlräumen (schwarz). In der Schalenblende ist gelegentlich Baryt (ebenfalls schwarz) anzutreffen, idiomorph nach  $\{001\}$  in Tafeln ausgebildet. Randlich an die Schalenblende und in deren Hohlräumen lagert feinkörniger Bleiglanz an und bildet stellenweise dünne Säume bzw. Überzüge.  
Anschliff, Ölimmersion, Vergr.: 85 x.

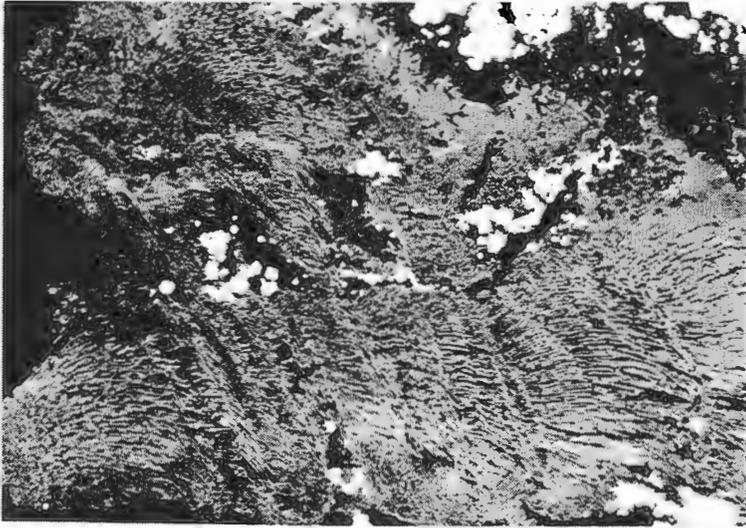


Abb. 107 a

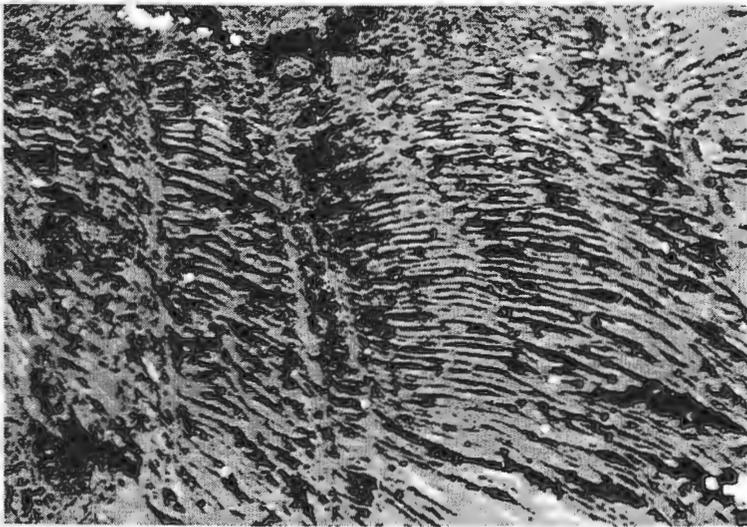


Abb. 107 b

Abb. 107: Tiefseeberg Palinuro, Tyrrhenisches Meer,  $39^{\circ} 32,44' N$ ,  $14^{\circ} 42,06' E$ , Wassertiefe 631 m.

Mikrobielle Matten, vermutlich Bakterien-Matten, sind vollständig verdrängt und pseudomorphosiert von Zinkblende und Schalenblende (beide mittelgrau), die das Zentrum einer hemisphärischen Bakterien-Matte mit Laminiierungen ähnlich Jahresringen sowohl im Querschnitt, als auch im Längsschnitt abbilden und erkennen lassen. Im Detail (Abb. 107 b) sind besonders deutlich die mattenbildenden, laminar ausgerichteten Fäden vorherrschend im Längsschnitt zu erkennen. Stellenweise findet sich in den Bakterienmatten mit Zinkblende und Schalenblende etwas Pyrit (hellgrau, fast weiß), der peripher teilweise auch in Kristallaggregaten vorliegt. Gangart, natürliche Poren Hohlräume (beide schwarz).

Anschliff, Abb. 107 a: Ölimmersion, Vergr.: 15 x,

Abb. 107 b: Luft, Vergr.: 35 x.



Abb. 108: Tiefseeberg Palinuro, Tyrrhenisches Meer, 39° 32,44' N, 14° 42,06' E, Wassertiefe 631 m.

Pyrit (hellgrau, fast weiß) enthält zahlreiche Einschlüsse von Baryt (schwarz), der idiomorph nach {001} ausgebildet ist und dessen Tafeln unterschiedliche Größe aufweisen, außerdem von Schalenblende (mittelgrau, rechte obere Bildecke), die stellenweise Sphäroide bildet sowie von ein wenig Bleiglanz (hellgrau, in Abb. kaum von Pyrit unterscheidbar).

Anschliff, Vergr.: 65 x.



Abb. 109: Veovača (Bosnien).

Kolloidale, rhythmische, traubig-nierige bis konzentrisch-schalige Massen von Pyrit (hellgrau bis weiß), der in diesen auch in Sphäroiden vorliegt, enthalten zahlreiche Einschlüsse von idiomorph nach {001} entwickelten Baryt-Tafeln (schwarz), von Gangart (ebenfalls schwarz), die gleichfalls Sphäroide bildet sowie von ein wenig Schalenblende (mittelgrau), die desgleichen in Sphäroiden vorliegen kann. Außerdem verdrängt Schalenblende gelegentlich Baryt-Tafeln und füllt Zwickel in den kolloidalen Massen von Pyrit.

Anschliff, Vergr.: 65 x.



# BARBARA-GESPRÄCHE

## Payerbach 1995

Geochemische Untersuchungen  
an Fluß- und Bachablagerungen  
in Niederösterreich

Dr. K. AUGUSTIN-GYURITS

*KURZFASSUNG*



*Anschrift der Autorin:*

*Dr. K. AUGUSTIN-GYURITS  
Geotechn. Inst., Abt. Geohydrologie  
BVFA-Arsenal Arsenal - Obj. 214  
A - 1030 Wien*

Barbara-Gespräche Payerbach 1995	Band 2	"Geogen - Anthropogen" "Hausmüllversuchsanlage Breitenau"	Seite 91- 93	Wien 1997
-------------------------------------	--------	--	--------------	-----------

## Geochemische Untersuchungen an Fluß- und Bachablagerungen in Niederösterreich

K. AUGUSTIN-GYURITS

### *KURZFASSUNG*

Im Rahmen der Bund-Bundesländer Kooperation beauftragte das Land NÖ die BFPZ Arsenal, Abteilung Umweltgeologie, Mineralogie und Gesteinsrohstoffe, mit der umweltgeochemischen Untersuchung der Bach- und Flußsedimente Niederösterreichs auf Haupt- und Spurenelemente zur Erfassung und Beurteilung geogener oder anthropogener Schadstoffbelastungen.

Die Erfassung der geogenen, natürlichen Untergrundwerte erfolgt durch die Haupt- und Spurenelementanalyse an der Korngrößenfraktion <0,18 mm wie bei den Untersuchungen zum Geochemischen Atlas Österreichs. Damit ist eine vergleichbare Fortsetzung dieses Kartenwerkes gegeben. Die bisher nicht beprobten geologischen Einheiten, Kalkalpen, Flysch- und Molassezone, sowie die tertiären Beckenfüllungen, werden im Rahmen dieses Forschungsauftrages erfaßt.

Zur Feststellung der anthropogenen Beeinflussung und der Erfassung umweltrelevanter Elemente wird die Korngrößenfraktion <0,04 mm analysiert. Diese Untersuchungen ermöglichen die Charakterisierung von Emissionsquellen und die Unterstützung und Ergänzung von Gewässergüteklassen. Weiters sind sie als Planungsunterlage für energiewirtschaftliche und ökologische Vorhaben verwendbar. Es wird eine Verknüpfung der Ergebnisse mit den Ergebnissen der bereits durchgeführten Bodenzustandsinventur Niederösterreichs, sowie mit den Analysenwerten der Waldbodenbestandsaufnahmen durchgeführt.

Die Analytik der Fraktion <0,04 mm ist zur Zeit in Bearbeitung. Ähnlich wie bei der 180 µm-Fraktion wurden hier 40 Elemente analysiert. Aus der Datenfülle wird hier das ÖK-Kartenblatt 105 vorgestellt, welches zum nächsten Thema der Arsenanomalie am Geochemischen Atlas überleiten soll.

*Die Diskussion zum Vortrag wurde mit jener zum Folgevortrag von R. GÖD gemeinsam abgehalten. Siehe Seite 101.*



# BARBARA-GESPRÄCHE

## Payerbach 1995

Die Arsenanomalie Feistritz/Wechsel, NÖ

R. GÖD

*KURZFASSUNG*



*Anschrift des Verfassers:*

*Dr. Richard GÖD  
BVFA-Arsenal  
Geotechnisches Inst., Stabstelle GTI  
Arsenal - Obj. 214  
Faraday Gasse 3  
A - 1030 Wien*

Barbara-Gespräche Payerbach 1995	Band 2	"Geogen - Anthropogen" "Hausmüllversuchsanlage Breitenau"	Seite 95 - 106 Abb. 1	Wien 1997
-------------------------------------	--------	--	--------------------------	-----------

## Die Arsenanomalie Feistritz/Wechsel, NÖ

R. GÖD

Der "Geochemische Atlas der Republik Österreich" (Thalmann, 1989) zeigt, verstreut über das gesamte Bundesgebiet, eine große Anzahl von Arsenanomalien in Bachsedimenten. Diese sind in vielen Fällen auf ehemalige Bergbautätigkeiten und somit auf bekannte Mineralisationen zurückzuführen, daneben treten aber auch Anomalien auf, deren Ursache unbekannt ist und die Gegenstand laufender Untersuchungen am geotechnischen Institut sind (Göd, 1994).

Die östlichste dieser markanten Arsenanomalien innerhalb des geochemischen Atlases findet sich auf Blatt 105 Neunkirchen, nördlich der Ortschaft Feistritz, etwa 5km östlich von Kirchberg/Wechsel und bedeckt eine Fläche von rund 10 km<sup>2</sup>. Dieses Gebiet ist bezüglich des Arsengehaltes von Böden auch in der Niederösterreichischen Bodenzustandsinventur 1994 indiziert.

Geologisch gesehen befindet sich das Untersuchungsgebiet im Bereich des unterostalpinen "Semmering - Wechselsystems" und wird - von räumlich verschwindenden Anteilen am Permo- Mesozoikum des Semmeringsystems abgesehen - ausschließlich von den Gesteinen der Grobgnaisseerie aufgebaut (Matura, 1986, 1993). Die entnommenen Bodenproben (Abb.1<sup>1</sup>) zeigen die nachfolgende Arsen-

verteilung: arithm. Mittel: 63 ppm, Median: 29 ppm, Min.: 3 ppm, Max.: 440 ppm. Es handelt sich um eine "Monoelement-Anomalie", häufige Begleitelemente des Arsen, wie beispielsweise Buntmetalle, fehlen.

Insgesamt 18 Proben weisen Arsengehalte > 50 ppm auf und übersteigen somit den

"Toxizitätswert" von 50ppm sensu Eikmann und Kloke (1988)

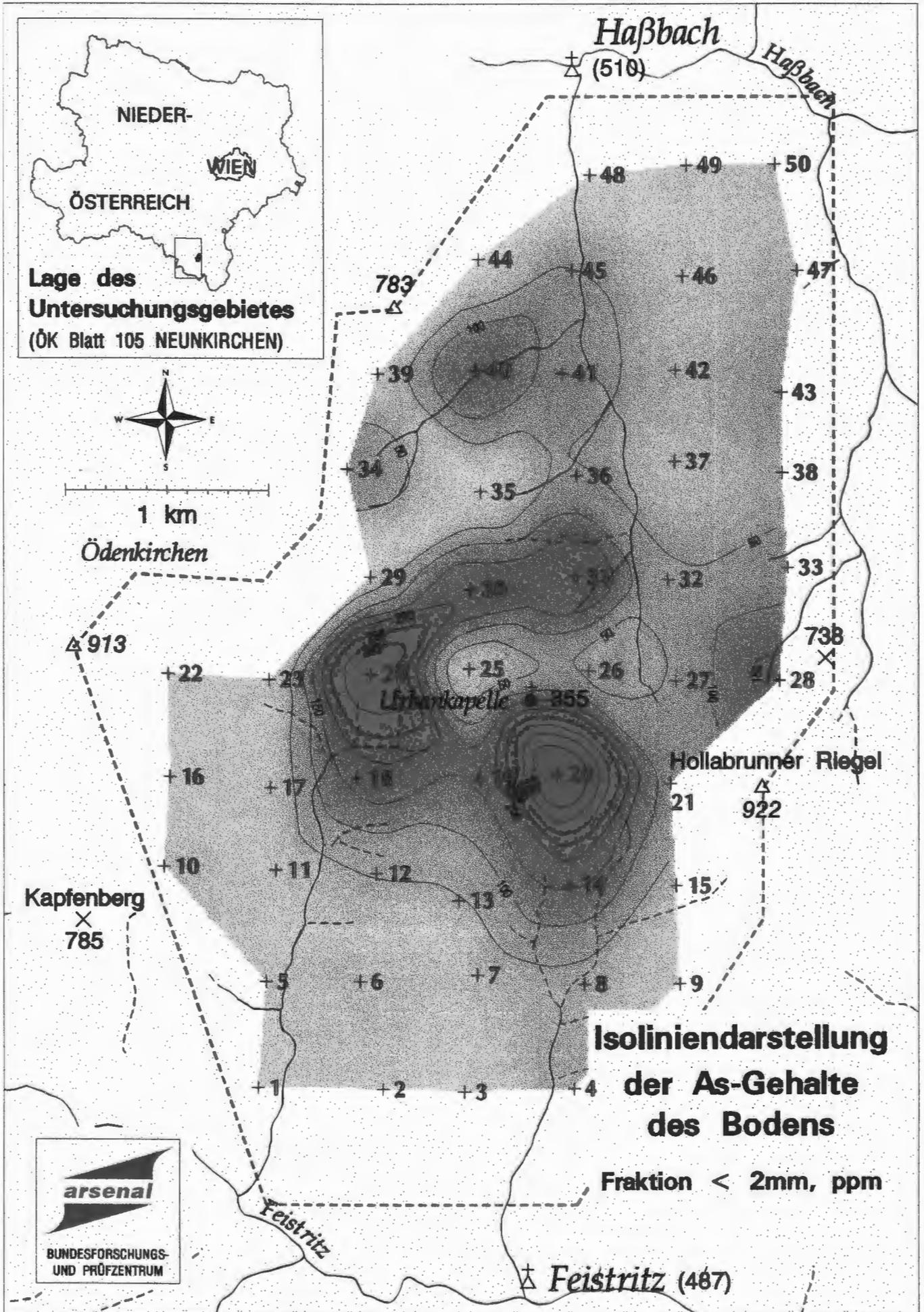
Die Arsengehalte sind auf eine natürliche Arsenkiesmineralisation zurückzuführen, die lediglich an einem Handstückes<sup>2</sup> studiert werden konnte: Der Arsenkies ist mehr/-minder s-parallel geregelt, die hypidiomorph bis idiomorphen Kristalle erreichen einige mm Länge. Es ist aufgrund des mikroskopischen Befundes anzunehmen, daß es sich bei den beobachteten Arsenkieskristallen um Mobilisate handelt. Neben dem Arsenkies ist als weiters Sulfid lediglich Pyrit zu erkennen. Das Verteilungsmuster der Bodenproben ist unregelmäßig und weist keine Vorzugsrichtung auf. Eine Korrelation hoher Arsengehalte mit tektonischen Elementen, wie sie das Luftbild erkennen läßt, scheint nicht zu bestehen (Abb.1).

Berücksichtigt man die räumlich ausgedehnte Verbreitung der an die Phyllite der Grobgnaisseerie gebundenen Arsenanomalien, wie sie der geochemische Atlas erkennen läßt - immerhin beträgt die Entfernung zu den vergleichbaren Anomalien des Raumes Mürz-zuschlag etwa 20 km - und verallgemeinert man den Befund dieser Studie, so ist anzunehmen, daß das Arsen zum syngenetischen Stoffbestand dieser lithologischen Einheit gehört.

Eine weitere Besonderheit des Untersuchungsgebietes stellen Blöcke einer grobkörnigen, stark limonitisierten Breccie dar, deren Einzelkomponenten im Maximum mehrere cm Durchmesser aufweisen und die durch limonitisierte Substanzen (u.a. Goethit)

<sup>1</sup>) Die Bodenprobenahme wurde vom Inst. für Bodenkunde, Univ. f. Bodenkultur vorgenommen

<sup>2</sup> Für das Überlassen des Handstückes sei Herrn HR Dr. P. Gottschling, NÖ LR herzlichst gedankt.



verkittet sind. Es handelt sich offenkundig um eine Hangbreccie. Die Breccie enthält 110 ppm As (!), was einen Hinweis auf arsenhaltige Hangsickerwässer darstellt.

Die Arsengehalte der örtlichen Gerinne (Anzahl der Wasserproben=14) betragen im (arithm.) Schnitt 20 ppb und übersteigen im Falle einer Probe, die räumlich mit den höchsten Arsengehalten in den Böden zusammenfällt, mit 78 ppb As den WHO-Grenzwert von 50 ppb.

## Literatur

- EIKMANN, Th. und KLOKE, A., 1988.  
Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-)Stoffe in Böden. In: Bachmann, G., Bodenschutz, Bd.1. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- GÖD, R., 1994: Geogene Arsengehalte außergewöhnlichen Ausmaßes in Böden, Nördliche Saualpe, ein Beitrag zur Diskussion um Grenzwerte von Spurenelementen in Böden. Berg- und Hüttenmänn. Monatshefte 139, 442-449
- MATURA, A., 1986: Bericht 1986 über geologische Aufnahmen im Kristallin des Wechselgebietes und der Buckligen Welt auf Blatt 105 Neunkirchen; JB. Geol. BA., 305-306
- MATURA, A., 1993: Kartenblatt 105 Neunkirchen, 1:50 000, Geol. BA, Wien
- NIEDERÖSTERREICHISCHE BODENZUSTANDSINVENTUR; Verfasser: Bundesanstalt für Bodenkultur Wien; Amt der NÖ Landesregierung, Abteilung VI/4, Wien 1994
- THALMANN, F., SCHERMANN, O., SCHROLL, E. und HAUSBERGER, G., 1989: Geochemischer Atlas der Republik Österreich 1: 1.000.000, Geol. Bundesanstalt Wien



## DISKUSSION :

## Geochemische Untersuchungen an Fluß- und Bachablagerungen in Niederösterreich

### Die Arsenanomalie Feistritz/Wechsel, NÖ

WIMMER: Ich muß mich noch einmal zur Funktion von Grenzwerten zu Wort melden. Ich glaube, es bedarf keiner Diskussion, daß Grenzwerte nicht von der Naturwissenschaft erfunden werden können. Grenzwerte brauchen eine Bewertungsbasis, die außerwissenschaftlich vorgegeben sein muß, alles andere wäre Biologismus oder Ökologismus. Das heißt, Grenzwerte müssen gesellschaftlichen Wertungsprozessen entspringen und die Gesellschaft ist als solche politisch legitimiert vorzugeben, was sie will.

Der von ihnen angesprochene Klärschlammgrenzwert regelt die Ausbringung von Klärschlamm auf Böden und sagt: Wir wollen nur so viele Schlämme auf Böden aufbringen, daß wir vorsorglich keine toxischen Auswirkungen befürchten müssen, auch nicht bei langfristiger Nutzung, und so, daß auch noch relativ viel Platz ist für sonstige Schadstoffeinträge. Die Bodengrenzwerte, auch die Klärschlammgrenzwerte, bezeichnen noch keine Grenze mit toxischen Effekten, sondern besagen, wir wollen viel Platz haben für andere Belastungsursachen und wir wollen möglichst gering kontaminierte Klärschlämme möglichst lange ausbringen können. Ich sehe es als durchaus legitim, solche Grenzwerte zu setzen und ich sehe auch den gesellschaftlichen Hintergrund als legitim an, auch wenn ein Boden aus natürlichen Ursachen höher belastet sein sollte. In diesem Fall bringen wir eben keinen Klärschlamm dort auf. Die zweite Kategorie von Grenzwerten, als "naturwissenschaftliche Grenzwerte" etwas schlampig angesprochen,

wären zum Beispiel die genannten EIKMANN - KLOKE-Werte, denen liegt auch ein Bewertungsmaßstab zugrunde: Es darf für eine empfindliche Spezies oder für den Menschen unter verschiedenen Annahmen noch kein negativer Effekt auftreten, also Sicherheit als oberstes Gebot. So ergeben sich Werte, bei denen negative Effekte nicht auftreten, das sind bei Arsen eben die angesprochenen 50 ppm.

Es wäre meiner Meinung nach ein Irrglaube anzunehmen, daß die Natur nicht Werte in beliebig größerer Höhe liefern kann, und diese nicht auch in dieser Natur toxisch wirken könnten. Nur hat sich die belebte Natur evolutionär auf diese geochemische Situation eingestellt. Es gibt genug Schwermetallzeigerpflanzen, es gibt auch in der Schweiz die "Totalpe", deren Belastung, soweit ich informiert bin, vom Arsen herkommt. Ich glaube, es spricht nichts dagegen, daß die Natur selbst Toxizität produzieren kann; für uns ist es schwer, diese viel anders zu beurteilen als anthropogene Effekte. Nur sollte man die beiden Dinge nie vermischen.

GÖD: Ich stimme dem zu, daß es natürlich legitimem politischem Interesse entspricht und daß es auch legitim ist, einen Grenzwert zu setzen. Ich glaube aber grundsätzlich, daß die Art, wie das geschieht, und vor allem der Bezug auf Totalgehalte völlig irrelevant ist, daher sind die 20 oder 50 oder 100ppm schlicht und einfach täuschend. Ich betone das deswegen so sehr, weil ich insbesondere im Kreis der Bodenkundler oft Aussagen höre,

die völlig irreführend sind. Ich kann mich an einen Vortrag erinnern, der irgendwo in Wien stattgefunden hat, wo jemand mit hoch erhobener Stimme von höchst belasteten Flächen gesprochen hat. Dabei ist es um 80 ppm Blei gegangen ist, und das in einem Gebiet, wo der geogene Grundwert ein Vielfaches betragen hat. Jeder gesetzliche Wert, der den Totalgehalt zum Maß nimmt, ist ganz grundsätzlich irrelevant. Und daher kann man sich den eigentlich schenken, es sei denn, man ist ein Rechtsanwalt und will etwas verdienen.

GOTTSCHLING: Bei der Urbani-Kapelle beträgt der Wert laut Bodenzustandsinventur 300 ppm Arsen.

SCHROLL: Ich möchte beim Arsen noch etwas dazusagen: Es gibt ja Spurenelemente wie etwa das Selen, die sind notwendig in einem bestimmten Bereich, zu viel und zu wenig ist gleich gefährlich für die Gesundheit des Menschen, das muß man auch noch dazusagen. Und auch dazusagen muß man, gerade das Arsen, das ist so ein Zwischending. Etwas Arsen ist sogar ein bißchen reizvoll. Sie wissen ja, früher hat man den Hittrach (Anm: Arsentrioxid, Arsenik) verwendet, erstens einmal für Pferde ein gewisse Zeit, zweitens gab es früher Arsenquellen, also Mineralwässer, die Arsen haben, die medizinisch genutzt worden sind. Man hat sie dann abgeschafft, weil man gesagt hat, um Gottes Willen, der Mensch wird mit soviel Arsen belastet. Aber man hat das nie nachgewiesen.

Es fehlt hier ja viel zu viel Wissen und Untersuchungen, abgesehen auf die Auswirkungen auf unseren biologischen und auf den Menschen selbst. Das heißt aus Unwissenheit wird dann manchmal etwas vorgeschrieben, was unter Umständen auch viel Geld kosten kann. Wir betreiben im Prinzip auch in Österreich viel zu wenig Forschung auf dem Gebiet, um neues Wissen zu erlangen. Wie mühsam es ist, so einen Forschungsauftrag zu erhalten, und auch eine Kooperation zwischen verschiedenen Wissenschaftlern zu erreichen, nicht nur Geowissenschaftler, auch Biowissenschaftler, davon kann der Kollege Göd ein eigenes Lied singen. Das sind komplexe Probleme und wir brauchen Zusammenarbeit.

Aber im Alltag ist es so, daß jeder sagt, mir gehört das Häusl, das mache ich alles selbst, ich bin geschickt genug dazu. Da muß ich sagen, wir brauchen Kooperationen über die Fachgrenzen hinaus, das müßte auch gefördert werden. Es müßte auch der Staat, wenn er daran Interesse hat, solche Dinge finanzieren und planmäßig etwas tun und nicht sagen, das kann man einsparen, da nehmen wir einen Wert, der uns gerade gefällt.

Das liegt auf der Ebene des Wissens des Politikers, des Wissens der Verantwortlichen, aber auch der Berater. Wie weit sind etwa im Bundesumweltamt die geogene Gehalte bekannt? Dort sind meist Biologen, die von dem keine Ahnung haben, und das Unwissen auch bei den Fachleuten spielt eine ganz große Rolle. Soweit es geochemische Arbeiten und relevante Studien betrifft, ist auch die Bodenkunde davon betroffen.

GÖD: Ich wollte ad hoc noch 2 Sätze sagen, bevor die anderen Diskussionsteilnehmer zu Wort kommen. Ich kann mich gut erinnern an die Tschernobyl-Geschichte. Da hat der damalige Kurzzeit-Familien- oder Gesundheitsminister, der Herr Kreuzer, buchstäblich über Nacht die Strahlungsgrenzwerte um den Faktor 2 heruntergesetzt und hat damit die doppelte Überschreitung gehabt wie damals der Rest der EG. Das war eine rein populistische Entscheidung ohne naturwissenschaftliche Deckung. Das nur am Rande.

RANK: Ich darf einen Satz dazu sagen. Es wurde damals in Tirol von Bundesseite aus ein Grenzwert für Salat festgelegt. Man hat in kürzester Zeit befunden, daß der Salat bereits vorher mehr gehabt hat. Da haben die Tiroler das von sich aus außer Kraft gesetzt. Insofern gebe ich Ihnen recht, es ist so gelaufen.

WIMMER: Ich bin kein Jurist und kein Politiker und komme seit mehr als einem Jahrzehnt aus dem Bereich der Umweltchemie. Es gibt eine Fülle von Sprachschwierigkeiten zwischen Wissenschaft und dem, was der Wissenschaft vorgelagert ist. Es konzentriert sich das Problem offensichtlich sehr stark auf das Unverständnis oder das mangelnde Verständnis, was Grenzwerte sein sollen. Ich kann natürlich nicht sagen, bei 50 ppm Arsen

im Boden fallen Sie tot um, oder so irgendwas, aber diese Gleichsetzungen bestimmen weitgehend die Meinung in der Öffentlichkeit, in der Zeitung, in der Diskussion. Der Grenzwert x wurde um 100 % überschritten, deshalb sind wir alle schon tot, wir wissen es nur noch nicht. Auf dieser Ebene ist es absoluter Blödsinn.

Aber es gibt eine legitime Ebene für Grenzwerte, und die heißt, Vorgabe eines politischen, eines gesellschaftspolitischen, eines auf demokratischem Wege ermittelten Zieles, letztendlich auf staatlicher Ebene, das wie immer lauten kann, zu dem man wissenschaftliches Material herantragen und Werte bestimmen kann. Diese Ziel könnte etwa heißen, wie gering muß der Zink-Gehalt in einem Gewässer in der fließenden Welle sein, damit keinen wie auch immer gearteten Viecherln irgendetwas passiert. Solche Werte kann man festlegen.

Grenzwerte haben immer eine bestimmte Funktion. Noch einmal: der von ihnen angezogene Klärschlammgrenzwert hat die Funktion, die Aufbringung von Klärschlamm auf Böden unter ganz bestimmten Gesichtspunkten zu regeln. Er ist nicht geeignet Böden generell im Hinblick auf ihre Nutzbarkeit oder ihre Entsorgung oder sonst irgendwas einer Regelung zuzuführen. Solche Grenzwerte gibt es meines Wissens in Österreich überhaupt nicht und es gibt sie in ganz Europa meines Wissens nicht auf einer gesetzlich definierten Ebene. Die Gleichsetzungen verfälschen. Selbstverständlich müssen sie nicht 2000 km<sup>2</sup> Landwirtschaft in Österreich verbieten, weil sie mehr als 50 oder 100 oder was auch immer ppm Arsen im Boden haben. Ich wollte darauf hinweisen, daß diese Gleichsetzungen einfach nicht korrekt sind, weil die Grenzwerte eine andere Funktion haben.

GÖD: Einen Satz dagegen: Ich behaupte, daß jeder Grenzwert, der auf dem Totalgehalt beruht, als solcher unsinnig ist.

SCHROLL: Ich möchte nur kurz ergänzen, ich glaube demokratische Grenzwerte halte ich für falsch, den Ausdruck alleine schon. Denn die Demokratie ist eine, möchte ich sagen, sehr schlechte Form der Wahrheitsfindung. Sie hat

sicher die beste Form, die wir haben, aber im Prinzip muß man sich langsam erst einfinden durch These und Antithese bis man vielleicht zur Wahrheit als Synthese findet. Man sieht ja dann die Wahrheit bei der Demokratie. Ein Politiker, der recht hat, da sagt man, der hat recht gehabt, man kann es mit Gewalt durchsetzen, aber ich glaube, wir müssen viel mehr dazu kommen, auch in Österreich, daß wir mit der naturwissenschaftlichen Ratio zu denken beginnen, also mehr Naturwissenschaft in unsere Gesellschaft einfließen lassen. Wir sind sowieso noch ein Volk der Kelten mit Druidenglauben und ähnlichem.

WIMMER: Arsen kann ein Karzinogen sein, es hat auch positive Effekte auf die menschliche Gesundheit, positive Effekte auf die tierische Gesundheit.. Wenn sie eine alte Kuh haben, die nicht mehr trächtig wird, dann geben sie ihr ein Pulver, das der Tierarzt verschreibt, und da sind ganz gewaltige Mengen an Arsen drinnen.

Arsen ist ein klassisches Umwelt-Karzinogen, d.h. die Exposition kann zu einer bestimmten Anzahl von Krebsfällen in der Expositionsperiode führen. Sie produzieren mit einem bestimmten Umweltgehalt Arsen eine wie auch immer große Anzahl Tote, in der Regel eine sehr geringe Anzahl, vielleicht einer in 70 Jahren bei lebenslanger Exposition. Diese Herleitung, welcher Grenzwert im Mikrogramm, Milligramm, in welcher Größenordnung auch immer, in welchem Umweltmedium, korrespondiert mit Effekten wie z.B. mit statistischen Krebstoten. Damit heißt die gesellschaftliche Frage, wie viele Krebstote wollen wir aus chemischen Verbindungen haben, und die kann die Naturwissenschaft nicht beantworten. Die Naturwissenschaft kann nur über Epidemiologie Aussagen geben zwischen Gehalten in der Umwelt und Effekt. Deshalb können Grenzwerte nur gesellschaftlich vorgegeben werden, nach welcher Prozedur auch immer.

TUFAR: Ich wollte folgendes sagen, darf ich ein bißchen widersprechen. Ich bin in Wien in die Mittelschule gegangen bis zur Matura und da haben wir gelernt und ich hoffe, daß das noch stimmt, daß man mit dem Arsen schon

sehr frühzeitig pragmatisch umgegangen ist und Grenzwerte vorgegeben hat, und es war ja bekannt, daß es die Hittrachpest gegeben hat. Arsen war im vorigen Jahrhundert, noch vorher weit verbreitet. Sie haben etwa nahe bei Bruck/Mur einen Arsenbergbau am Straßegg. Da wurde wirtschaftlich Arsen abgebaut, abgeröstet und Hittrach wurde verkauft, einerseits um Erbschaften zu regeln, andererseits als Dopingmittel. Die Holzfäller haben es genommen, die Bergleute haben es genommen usw. Wir haben in der Mittelschule gelernt, in der alten k.k. Monarchie in Wien hat es ein Gesetz gegeben, daß in der Reichshaupt- und Residenzstadt Schweine nicht sofort geschlachtet werden durften, sondern sie mußten drei Tage im Schlachthof unter staatlicher Kontrolle warten und dann hat man auf Grund der Entzugserscheinungen gewußt, die haben mit Arsen gedopt oder nicht. Die damaligen medizinischen Methoden waren sicher nicht so schlecht, daß sie bei Hittrachgebrauch nicht herausbekommenen hätten, daß man Krebs bekommen haben. Bitte ein bißchen Vorsicht, wenn sie sagen, Arsen ist ein Karzinogen, denn man mußte immer mehr und mehr essen, daß es überhaupt wirkt. Meines Wissens ist nicht bekannt, daß Arsenesser Krebs bekommen hätten.

Die andere Sache ist, und da möchte ich ihnen auch sehr für ihren Vortrag danken, daß sie hier im Wechselgebiet eine Arsenkieslagerstätte haben, das Puchegg bei Vorau mit sehr viel Arsenkies, da ist auch das Gold drinnen, und gar nicht weit, einen Steinwurf von hier, das ganz paradoxe kleine Arsenvorkommen in Gipslagerstätte des Myrthengrabens, da haben sie jede Menge verschiedener und seltener Arsenminerale.

GÖD: Hier ist auch offensichtlich aneinander vorbeigesprochen worden. Ich möchte noch eine Bemerkung machen. Ich bin nicht gegen das Fixieren eines Grenzwertes, ich halte das für legitim. Aber ein Grenzwert mit einem Absolutgehalt eines Gesteins, der ist Unsinn. Wenn Sie heute sagen können, falls in der Küchenzwiebel so viel Arsen drinnen ist, dann ist das gefährlich, dann lasse ich mir das einreden. Aber wenn es sich um eine völlig inerte

Verbindung handelt, dann ist etwa der Nickelgehalt völlig irrelevant, da können Nickelgehalte von ein paar tausend ppm drinnen sein. Erst dann kann man von einer möglichen Toxizität sprechen, wenn man es im Biokreislauf wirklich erfassen kann. Alles andere ist irrelevant. Das ist was ich sagen wollte.

HAUSBERGER: Ich möchte die Ergebnisse von einem Europrojekt kurz vorstellen und zwar in Richtung Arsen. Das war ein Bodenzustandsprojekt Köflach, wo 350 Proben gemacht worden sind. Das Projekt ist aufgegeben, aber noch nicht offiziell abgenommen. Aber ich möchte dazu ergänzen, mit dem Arsen kann man fast die Geologie eines Gebietes nachbilden und es ist insofern interessant, daß in der Grossau der Wertmedian ca. 13 ppm beträgt. Es handelt sich um eine Vollanalytik und in der Reihe waren Werte über 20 ppm und durchaus statistisch voll abgesichert und mit Maximalwerten von 43 ppm, wobei man im Vergleich dazu sagen kann, daß etwa im Koralmkristallin auch sehr viele Werte statistisch gut abgesichert sind und der Median 3,6 ppm beträgt. Das wären die zwei Extreme. Das Projekt ist abgewickelt worden von Prof. BLUM und Dr. BERGER und initiiert von Dr. THALMANN, die Analytik ist vom Arsenal durchgeführt worden.

MÜLLER: Es gibt sicher Fälle, wo Arsen-schlucker mehrere Gramm Arsen eingenommen haben. Man weiß ja aus dem Mittelalter und früher, daß man sich so an das Arsen gewöhnt hat, daß sie nicht mehr vergiftet werden konnte. Also prophylaktisch war das gegen Meuchelmörder und die haben dann gesagt, da müssen wir schon was besseres nehmen.

Nun noch zu den Grenzwerten. Ich glaube, ich habe ganz am Anfang schon betont, daß dieser ..... *akkumulation* tatsächlich jetzt ein Potential vorzeigt. Ich habe so und so viel ppm irgendeines Elementes drinnen und das kann jetzt je nach Verbindungsform entsprechend extrem toxisch sein und durch den Stoffwechsel oder durch die Zellwände aufgenommen werden. Vor 20 Jahren haben die Wasserkundler von "Belastung" gesprochen und dann wurde plötzlich "Verschmutzung"

daraus, und wenn sie nachsehen, auf dieser großen blauen Karte steht immer nur "belastet", und ich würde sagen, das Wort "Last" bewerte ich einmal neutral. Wenn ich einen 2-Zentnersack Mehl auf Sie lege, dann ist das eine schwere Last, sollte das aber Marilyn Monroe sein, dann würden sie das als süße Last empfinden. Last ist also nicht gleich Last.

Bei den Grenzwerten müßte der nächste Schritt kommen, daß man sagt, jetzt müßte man die Frage der Bioverfügbarkeit bewerten. Aber wofür? Ist das für Pflanzen, ist das für Tiere und letztendlich für den Menschen toxisch? Und jetzt kommt noch was dazu, ist es jetzt verfügbar und wie ist es mit einem späteren Eintrag ins Grundwasser, das ist wieder eine ganz andere Geschichte, und ich glaube, mit jenen Parametern kann man das gar nicht beschreiben, sondern man muß von der Metallkonzentration ausgehen und dann systematisch Untersuchungen machen, um das festzustellen.

Das ist glaube ich das, was wir versuchen sollten zu betreiben, und ich habe am Anfang den Schwerspat als Kontrastmittel bei der Röntgenaufnahme erwähnt. Barium ist hochgiftig, aber den Baryt können Sie kiloweise essen und Sie werden nicht belastet. Ich glaube übrigens, ich war der einzige, der eine große Portion Neckarschlamm vor ungefähr 500 Leuten mit Genuß verzehrt hat. Da war einmal eine Anhörung, was macht man mit dem hochbelasteten Neckarschlamm. Den wollte man auf eine Deponie in der Schwäbischen Alb bringen. Gerade vorher war das Gebiet im Rahmen von Regenerierungsmaßnahmen sauber gemacht worden und jetzt sollten vom Neckar 100 km hoch Lastwagen dahin fahren und die Schlämme ablagern. Ja, sagten die Gegner des Projekts, und was ist, wenn man die Deponie abdeckt und jetzt kommt das Gras drauf und jetzt kommen die Schmetterlinge. Ein Professor hat soviel von diesen Schmetterlingen gesprochen, ich konnte mir das nicht mehr anhören und sagte, wenn ich Neckarschlamm hätte, ich würde den vor Ihren Augen essen. Aber ich habe vergessen, daß draußen von grünen Demonstranten eine

Fuhre Schlamm hingekippt worden war, und plötzlich war es ruhig und man servierte mir Neckarschlamm und einen Teller dazu, und ich fragte, könnte ich auch etwas zum Trinken haben und habe laut schmatzend diesen Teller noch ausgekratzt und das war die einzige Lösung um diese Hysteriker zur Ruhe zu bringen. Es ist gut gegangen, es ist nichts passiert. Ich habe nicht das Cadmium gefürchtet, sondern etwas ganz anderes, und ich habe mich beeilt, schnell mit dem Auto nach Hause zu kommen. Also das nur zum Thema Verfügbarkeit.

HACKENBERG: Wir haben noch zwei Arsenlagerstätten in der näheren Umgebung, und zwar eine Fahlerzlagerstätte mit Arsenmineralisation im Silberberg bei Gloggnitz, die seit dem 16. Jahrhundert abgebaut worden und eine feine, kleine Arsenkieslagerstätte am Kohlberg bei Pottschach. Auch in Begleitschiefern der Sideritlagerstätten kommt Arsenkies vor und mit dem Siderit bricht auch immer wieder zum Teil arsenhaltiges Fahlerz ein. Arsen ist also hier in der Gegend weitverbreitet und auch im Abraum sind sicher erhöhte Arsengehalte.

Ich möchte noch etwas zur Toxizität des Arsens hinzufügen. Es gelten an sich 0,01 g Arsenik als letale Dosis und geübte Arsen schlucker konnten 0,5 g bis dreimal wöchentlich zu sich nehmen. Dabei kam es zwar zu Irrtümern bei der Dosis, aber von Krebs bei Arsen schluckern ist eigentlich nichts bekannt, obwohl diesem Brauch noch bis in unser Jahrhundert gehuldigt wurde.

Friedrich VOLDERAUER, der letzte große Gewerke des größten ostalpinen Arsenbergbaus in Rotgülden im Lungau hat eine Farbe erzeugt, eine Arsenfarbe, "Wiener Grün", mit der Papiertapeten eingefärbt worden sind. Die waren Billigware, und diese Tapeten sind in Wien in den Kellerwohnungen angebracht worden. Durch das feuchte Mauerwerk hat sich Arsenwasserstoff gebildet und der ist hochtoxisch. Da gab es zahlreiche Tote, vor allem eben bei den unteren Einkommensklassen, im Substandardbereich. Das war dann übrigens auch das Ende der Arsenikproduktion. Mit diesen Beispielen

nöchte ich zeigen, daß die Gefahr des Arsens als mögliches Karzinogen doch eher bedeutungslos ist, da das Kurzzeitrisko einer akuten Vergiftung weit höher zu bewerten wäre.

SCHROLL: Damit das Thema ein anderes wird, darf ich noch die Frau Dr. Augustin etwas fragen. Das ist ja eine wunderschöne Arbeit, die da in Niederösterreich geleistet worden ist. Wird das auch publiziert oder verrottet das irgendwo ?

AUGUSTIN: Nach Abschluß der Arbeiten und des Berichtes, die ja vom Land Niederöster-

reich zum Teil finanziert wurden, wird es vom Land NÖ publiziert werden.

GOTTSCHLING: Es ist nicht nur vom Land sondern auch vom Wissenschaftsministerium zu gleichen Teilen finanziert worden und wir haben natürlich die Absicht es zu publizieren, aber es ist ja noch nicht fertig.

HAUSBERGER: Ist es dann geplant, das in einem bestimmten Zeitabstand wieder zu wiederholen ?

GOTTSCHLING: Vorläufig nicht.

*Diskussionsbeiträge von:*

*HR Dr. P. GOTTSCHLING*  
*NÖ Landesreg. Baudirektion*  
*Operngasse 21*  
*A - 1040 Wien*

*Michael HACKENBERG*  
*Bergbaumuseum Enzenreith*  
*A - 2640 Enzenreith*

*Prof. Dr. G. MÜLLER*  
*Inst. f. Sedimentforschung der*  
*Universität Heidelberg*  
*D-69112 Heidelberg*

*HR Dr. D. RANK*  
*Geotechn. Inst., Abt. Geohydrologie*  
*BFPZ-Arsenal - Obj. 214*  
*A - 1030 Wien*

*Prof. Dr. E. SCHROLL*  
*Haidbrunnngasse 14*  
*A - 2700 Wiener Neustadt*

*Univ. Prof. Dr. W. TUFAR*  
*Philipps-Univ. Marburg,*  
*Fachbereich Geowissenschaften*  
*Hans-Meerwein-Straße*  
*D-35032 Marburg/Lahn*

*Dipl. Ing. Dr. J. WIMMER*  
*Oberösterreichische Umwelthanwaltschaft*  
*Stifterstraße 28*  
*A - 4020 Linz*

# BARBARA-GESPRÄCHE

## Payerbach 1995

Schwermetallgehalte in Fluß- und Seeablagerungen als  
Spiegelbild der historischen Entwicklung  
Weltweite Beispiele - Entsorgungsfragen

G. MÜLLER



Payerbach,  
24. November 1995

*Anschrift des Verfassers:*

*Prof. Dr. German MÜLLER  
Universität Heidelberg  
Inst.f.Sedimentforschung der  
D-69112 Heidelberg*

# Schwermetallgehalte in Fluß- und Seeablagerungen als Spiegelbild der historischen Entwicklung

## Weltweite Beispiele - Entsorgungsfragen

G. MÜLLER<sup>1</sup>

Ich verdanke meine Arbeitsrichtung zwei Zufällen. Vor etwa 30 Jahren, 1963/64, gab es das Bodensee-Forschungsprojekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft, das war eigentlich das erste interdisziplinäre Forschungsprojekt, und dazu das glücklichste, das sich mit einem Wasserkörper, dem Bodensee, beschäftigte. Österreich, Schweiz und Deutschland waren daran beteiligt und es ging damals darum, daß man erkannte, daß der Bodensee umzukippen drohte. Er war im Begriff voll eutroph zu werden und damit wäre die Entnahme von Trinkwasser erschwert. Heute werden über 5 Mio Einwohner von SW-Deutschland vom Bodenseewasser versorgt und das end-of-the pipe liegt bereits vor meinem Wohnort, also 10 km von Heidelberg entfernt. Man weiß, wenn irgendetwas mit dem Grundwasser passiert - Nitratprobleme gibt es schon - wird man einfach die Pipeline ein paar km weiter legen und ist damit über 200 km von ihrem Beginn entfernt, sodaß der Bodensee unser wichtigstes Wasserreservoir ist.

Gleich vorweg, man hat für 800 Mio DM Kläranlagen gebaut und das war das erste internationale Abkommen überhaupt, bei dem sich alle drei Anliegerstaaten verpflichteten, zunächst in den größeren Städten die Kläranlagen mit einer dritten Reinigungsstufe zu versehen. Das wurde zwangsweise durchgeführt und tatsächlich haben diese Maßnahmen

gegriffen. Es hat sich zunächst ein Niveau gebildet bei 80-90 Mikrogramm Phosphor pro Liter, ein bißchen auf und ab, und jetzt, seit Mitte der 70er-Jahre, geht der Phosphatgehalt im Bodenseewasser zurück und hat bereits die 30 µg/Liter-Grenze wieder unterschritten.

Die ersten Messungen über Phosphat hat man in den 50er-Jahren gemacht und hat 20 Mikrogramm/Liter festgestellt; die Konzentrationen ist dann angestiegen auf 80, 90 µg und es drohte nach oben auszubrechen. Das hätte die volle Eutrophierung des Bodensees bedeutet. Bestimmte Teile, z.B. der Untersee, waren immer schon eutroph seit 40, 50 Jahren. Jetzt hätte etwas passieren müssen, daß der Bodensee nicht wieder eutroph wird, zumindest was die Biomasse betrifft, Das Hydroplankton gedeiht ja entsprechend der Zulieferung von Phosphaten, auch von Stickstoffverbindungen. Aber Stickstoff ist eigentlich immer im Überfluß da, das ist also kein entscheidender Faktor, das ist der Phosphor.

Wenn jetzt also diese Grenze, bei der die Eutrophierung angefangen hat, unterschritten wird, müßte es eigentlich schlagartig besser werden (Bitte, Sie wissen selbst, daß solche Dinge nicht schlagartig vor sich gehen. Es meinen immer nur die Politiker, daß man den Hahn zudreht und morgen ist es besser). Aber es ist folgendes passiert: die Biomasse, die auf dem Grund des Bodensees, ist zwar immer noch dieselbe ist, aber das Artenspektrum hat

<sup>1</sup> *Anm. der Redaktion: Dieser Artikel wurde nach einer Tonträgeraufzeichnung geschrieben; nicht rekonstruierbare Abschnitte sind hervorgehoben. Möglicherweise können dennoch einzelne termini technici oder Namen mißverstanden worden sein. Wir bitten in solchen Fällen um Verständnis.*

sich total geändert. Die ganze Biologie stellt sich wieder um in Richtung auf Oligotrophierung. Ganz oligotroph will man ja nicht werden, im letzten Jahrhundert haben sogar Limnologie-Professoren gefordert, man möge die Gülle direkt in den Bodensee einleiten, damit die Fische besser gedeihen. Sie wissen, die Rheinanke, das ist der berühmte Bodenseefisch, war bereits in der halben Zeit, also nach einem Jahr geschlechtsreif, und das hat man jetzt mit den Waschmittelposphaten erreicht, die Fischer haben sich darüber gefreut. Jedenfalls war es so, daß man am Bodensee den ersten Beweis hat, daß eine Maßnahme tatsächlich greift.

Ein ähnliches Problem, das werden wir nachher ein bißchen in den Mittelpunkt stellen, ist ja die Elbe. Von der Elbe, die von Tschechien her über das Sandsteingebirge schließlich durch Dresden, vorbei an Magdeburg, und dann entlang der ehemaligen Zonengrenze fließt, wußten wir, daß sie schon seit Jahrzehnten katastrophal belastet war mit allen möglichen Schadstoffen, insbesondere mit Quecksilber und Cadmium. Jetzt stellt sich die Frage, was passiert, wenn wir dort den Hahn abdrehen, und sie werden sehen, zunächst ist nichts passiert, es ist sogar noch schlimmer geworden. Immerhin, seit ein bis zwei Jahren ist auch dort eine wesentliche Besserung eingetreten. Nicht mit allem, und das sind auch wieder Dinge, die ja hier im Mittelpunkt stehen sollen.

Wie können wir feststellen, daß sich ein Zustand gebessert oder verschlechtert hat? Da bieten sich natürlich die Sedimente ganz hervorragend an, weil da eben ein Kalendarium ist, und in jeder Schicht, vorausgesetzt, es wurde abgelagert, können wir einfach durch Messungen der Schadstoffe feststellen, wieviel waren jetzt, vor 50, vor 100, oder sogar vor Mio.Jahren drin, wie weit sind wir heute, und wie ist der Unterschied. Das ist ja die Frage, die Unterscheidung zwischen geogen und anthropogen. Was hat der Mensch gemacht, und wir denken hierbei immer nur an die letzten 100 bis 150 Jahre Industrialisierung. Aber wir wissen, daß bereits der Silberbergbau in Deutschland im Mittelalter Schad-

stoffemissionen geliefert hat, sogar aus pharaonischer Zeit, wo eben auch schon Erze geröstet wurden, können feinste Spuren gefunden wurden. Und ich kann ihnen dann nachher das neueste, die Entwicklung des Bleigehaltes im Grönlandeis, berichten.

Für diese Dinge können wir jetzt eine Chronologie bekommen und sagen, aha, das Blei, das ist vor 3000 v.Chr. noch nicht meßbar. Aber so um 1700 fängt es an an zu steigen und dann kommt die Hauptentwicklung, die bis 1965-70 geht. Dasselbe finden wir in den Sedimenten, und wenn wir jetzt sagen können, das ist für das Blei der Höhepunkt, und wenn wir fragen, warum, dann müssen wir sagen es ist hauptsächlich das Benzinblei. Es ist immer wichtig den Pfad festzustellen. Irgendwo entsteht ein Schadstoff, sei es als Abfall bei der Gewinnung, z.B. von Erzen bei der Aufarbeitung, bei der Verarbeitung und natürlich bei der Metallurgie und was passiert, wenn das Material, wie z.B. verzinkte Wasserleitungen in das Haus eingebaut wird und es gibt Reaktionen mit dem Wasser und der Schadstoff kommt in den Klärschlamm oder vorher in den Fluß. Dabei passieren Dinge, die sich in der Natur auch abspielen, aber viel viel langsamer und nicht in diesen Konzentrationen. wir können also durchaus aus solchen technischen oder kommunalen Geschichten etwas lernen für die allgemeinen Geochemie. Das sind geochemische Kreisläufe, es kann aber auch einseitig gerichtet sein und das ist die Aufgabe der Umweltgeochemie die sie jetzt bereits z.T erfüllt und noch zu erfüllen hat und da liegen ja auch die Chancen für Geologen anstellungsmäßig irgendwo einen Posten zu finden. Es ist kein Zufall, daß zwei meiner Leute auf diesem Gebiet tätig sind, einer ist der Chef einer 150.000 - Einwohner - Kläranlage geworden, der andere ist bei Böhlinger der oberste Umweltschützer.

Da ist ein Bild aus einem Buch von Winkler, der hat auf dem Titelbild eine Skulptur abgebildet, die 1702 am Rande des Ruhrgebietes von einem Künstler geschaffen und an einer Kirche aufgestellt worden ist und man hat ein Photo von 1908 und 1969 gemacht. Zwischen 1702 und 1908 ist praktisch nichts geschehen.

Der Faltenwurf der Figur, alles ist noch vollständig erhalten, es gibt Bewachsungen mit Moos, Flechten, aber wie gesagt, alle Feinheiten, achten sie etwa auf die Fingerglieder, sind noch erhalten. 1969 sehen Sie, daß die Skulptur praktisch völlig zerfallen ist. Das heißt also, daß wohl zwischen 1908 und 1969 etwas geschehen sein muß, was diese Sandsteinskulptur zerstört hat. Gut, hier am Rande des Ruhrgebietes, ist es ganz klar, die hohe Dichte der Industrie, und wir wissen heute es ist das Dioxyd, das Schwefelsäure bildet, und die Gesteine zerstört. Damit hat man das abgetan und ist damals noch nicht auf die Idee gekommen, daß diese Zerstörung dieses Kunstwerkes eigentlich auch etwas damit zu tun haben könnte, daß etwas geschieht, was den Menschen auch zumindest schädigen könnte.

Gleich ein weiteres Bild dazu, eine Chorweilerfigur, die in Marbach in Württemberg steht, weit ab von jeder Industrie. Wir sehen die Aufnahme links um 1900 gemacht und die andere 1984. Hier sehen wir nun genau die selbe Erscheinung. Sie wissen, daß sich heute eine ganze Reihe von Wissenschaftlern mit der Bausteinverwitterung beschäftigen, die natürlich in den letzten 100 Jahren überhaupt erst extrem eingetreten ist. Links auf dem Bild sehen wir so gut wie keine Zerstörung und rechts ist praktisch von der Mutter Gottes und dem Jesuskind nichts zu sehen. Vom Gewand ist nur mehr in einer etwas windabseitigen Position der Faltenwurf da. Das ist ein sichtbares Zeichen dafür, daß in diesen letzten 100 Jahren doch gewaltig etwas geschehen ist.

Der Schweizer Limnologe ZÜLIK, der heute eine Fabrik für Meßgeräte für die Limnologie im St.Gallener Kreis betreibt, hat für uns eine bahnbrechende Arbeit geschrieben. Er hat 1954 bei dem altbekannten Limnologen JAK eine Dissertation geschrieben "Sedimente als Ausdruck des Zustandes eines Gewässers". Es war noch keine Rede von Schwermetallen, Pestiziden, Dioxinen und Furanen, und was weiß ich noch alles. Er hat die Alpenseen und Voralpenseen untersucht. Mit einer damals schon phantastischen Technik hat er Sedimentkerne gewonnen und hat festgestellt,

wenn wir von unten nach oben gucken, daß in diesen Sedimentkernen zumindest etwas auffällt, das sind die Farbänderungen, die hier drinstecken. Sie sehen hier, beim Greifensee zum Beispiel, wir haben hier hellgraue Farben, dann wirds plötzlich dunkel und wir sehen vor allem eine Fangilaminierung und dasselbe gilt beim Zürichsee, da kommt das nicht so deutlich raus, daß vorher relativ ungeschichtete helle Sedimente plötzlich in Dunkelsedimente übergehen, die noch dazu sehr gut geschichtet sind. Wenn sie gut geschichtet sind, bedeutet das ja fehlende Bioturbation d.h. wir haben Sedimente, die jetzt natürlich anoxisch sind, die aber auch schon zur Zeit der Ablagerung Verhältnisse hatten, daß sich freiwillig irgendwelche Tiere dort nicht gern aufgehalten haben. Er hat daraufhin abgeleitet, daß man kann also jetzt die Eutrophierung, die Haupteutrophierung, mit Jahreszahlen versehen kann. Damit hat er also diese Sedimente als Indikatoren für Umweltbelastung nehmen können und wir können das erstens für alle Schadstoffe anwenden, die nicht wasserlöslich sind, zweitens für die persistenten, die sich quasi weder durch Fotooxydation noch durch irgendwelche biologische Attacken, also bakterielle Angriffe zerstören oder umwandeln lassen. Und das ist also die Voraussetzung. Jetzt wissen wir es, gibt eine ganze Reihe dieser Stoffe, das sind vor allem die Schwermetalle. Das zweite ist gerade jetzt durch Tschernobyl wieder aufgefrischt, das ist die Geschichte mit den künstlichen Radionukliden, die kriegen wir fast zu 100 % in den Seeablagerungen in Flüssen, in Sedimenten wieder. Dann haben wir die Gruppe der, ich nenn das mal die Pestizide, DDT, oder Dieldrin, Altrin oder alle möglichen Verbindungen, die man verwendet hat für Pflanzenschutz, ferner die Riesengruppe der chlorierten Kohlenwasserstoffe, die PCPs, Pentachlorphenole. für Saatgutbeize usw. Hierzu gehören auch die Dioxine und Furane, die ja jetzt auch, würde ich sagen, eine übertriebene Rolle spielen. Und das ist eine gewisse Hysterie, wenn man wieder einen Schadstoff hat, von dem nicht so weiß. Das ist vielleicht eine Vorsichtsmaßregel, daß man das

jetzt so beachtet, aber ich würde meinen, daß das hier vielleicht negativ ist.

Nehmen wir die Gruppe der Kohlenwasserstoffe, denken wir an den Golfkrieg. Obwohl vorauszusehen war, daß da keine großen Schäden entstehen würden, denn Erdöl ist zumindest ein natürliches Produkt, und es gibt seit Jahrmillionen, beinahe Jahrmilliarden Jahren Bakterien, die sich freuen, wenn sie Erdöl als Nahrungsmittel bekommen. Es war Sauerstoff vorhanden und hohe Temperaturen gab es auch. Wir wissen heute, was auch diese Kommission festgestellt hat, daß es eine Uferregion mit einer völlig verölten Zone gibt, die aber schon hart, asphaltähnlich geworden ist, und es gibt keine wirklich bedeutenden Schädigungen. Selbst damals, als die AMOCO CADIZ auf Fels gelaufen ist und 100.000 to. Erdöl ausgelaufen sind, waren natürlich die sichtbaren Folgen, die Vögel, die verölen und jämmerlich zugrunde gehen oder auch was diese Biologie lokal zerstört hat, furchtbar. Aber es ist so, daß dort bei Erdöl zumindest keine, ich würde sagen, gentechnische Schäden entstehen und daß niemals eine ganze Population, eine Species dadurch ausgelöscht werden kann. Das ist der Unterschied zwischen den natürlichen Kohlenwasserstoffen und den Produkten, die daraus gewonnen werden, Benzin, Heizöl, Dieselöl usw. Also da können wir etwas beruhigter sein. Aber es gibt Gebiete, z.B. im Wattenmeer, dort wäre es eine Katastrophe, wenn Öl in größerer Menge auslaufen würde. Dessen Sedimente sind in anoxischen Verhältnissen und dort ginge eben der Abbau sehr, sehr langsam vor sich, nicht, wie an der Oberfläche, daß die leicht flüchtigen Bestandteile des Öls verdunsten, die schwereren sinken ab usw. Das ist also eine Schadstoffgruppe, die wir im Sediment finden aber deren Bedeutung ist nicht so groß.

Dann vielleicht noch die letzte Gruppe, die man erwähnen muß, das sind die sogenannten polyzyklischen, aromatischen Kohlenwasserstoffe. Die akkumulieren sich praktisch 100% im Sediment, wenn in sie irgendwo in das restliche System gebracht worden sind. Dazu gehört das Benzoren, das ja als krebserzeugender Stoff bekannt ist. Die Raucher bekom-

men davon Lungenkrebs, und es ist erwiesen, daß bei einer Maus, wenn man die Haare wegrasiert und nur einen Tropfen Benzoren aufbringt, binnen kürzester Zeit die Entstehung eines Tumors beobachtet werden kann. Warum werden polyzyklische Aromate in den Sedimenten angereichert, überhaupt in den Feststoffen? Deren Löslichkeit ist derart gering, daß das Sediment jetzt die Falle ist, die Senke, und das scheint zunächst positive. Das war auch erstmals unsere Philosophie, daß die Sedimente Senken für Schadstoffe verschiedenster Art seien und damit könnte man jetzt beruhigt schlafen gehen und sagen, das ist ja prima. Dann holen wir alle diese Stoffe aus dem Wasser heraus und dann ist es ja gut, denn es ist im Sediment. Aber jetzt kommt es, diese Sedimente können wieder Quelle von diesen Schadstoffen sein. Bei Schwermetallen ist das gar kein Problem, da brauchen wir nur das Sediment aufwirbeln - die meisten Sedimente sind jetzt anoxisch, sind als Sulfide gebunden - und dann passiert es, daß z.B. das Cadmium eine völlig andere Bindungsart eingeht, jetzt löslich ist, ins Wasser gelangen kann und daß dadurch lokal große Schwermetallkonzentrationen in das Wasser abgegeben werden. Im Wasser ist dann wieder das Plankton, die Fische und schließlich kommt es vom Fisch in den Menschen.

Das ist das klassische, berühmte, böse Beispiel Minamata in Japan, wo ja viele Fischerfamilien an Quecksilbervergiftung erkrankten und starben. Was war passiert? Aus einem Betrieb in der Nähe des Minamata-Flusses ist quecksilberhaltiges Abwasser in die Minamata-Bucht geflossen, im Sediment akkumuliert und im Sediment haben die Bakterien angefangen, dieses Quecksilber in Methylquecksilber umzubauen. Methylquecksilber ist um hunderttausend Mal toxischer als normale Quecksilberverbindungen. Methylquecksilber als organische Quecksilberverbindung kann die Zellwände durchdringen. So ging das Quecksilber aus dem Sediment als Methylquecksilber ins Wasser, dort hat das das Phytoplankton quasi aufgenommen. Dieses wird z.T. gefressen vom Zooplankton und die Fische fressen wiederum dieses. Die Fische gelangen zum Menschen und der Mensch ißt

die Fische und da dort Fischerfamilien sind, arme Leute, die Fisch morgens, mittags und abends essen und das jeden Tag, immer wieder, kam es zu katastrophale Zustände. An dieser jämmerlichen Krankheit sind an die 100 Personen gestorben, bis man tatsächlich erkannte, und das hat sehr lange gedauert, daß das die Abwässer dieses einen Betriebes waren. Diese Minamatakrankheit war überhaupt erst der Auftrag, daß die Wissenschaftler sich fragten, was denn mit den Schwermetallen los sei.

Der zweite Fall betrifft mit Cadmium. Damit hätten wir gleich die zwei wichtigsten toxischen Metalle. Er hat sich auch in Japan zugetragen, doch das könnte genau so im Erzgebirge passieren, oder in Österreich, hier haben Sie ja auch Blei-Zinklagerstätten, die Cadmium führen, und alte Bergbaue.

Dort gibt es Haldengebiete, die von einem Fluß durchflossen sind. Durch Oxidation hat sich in den Halden schwefelige Säure aus Sulfiden wie Pyrit gebildet. In den Halden kam auch Zinkblende vor und das in dieser enthaltene Cadmium wie Zink selbst sind extrem anfällig gegen saure pH-Werte. Cadmium bekommen sie schon in Lösung bei pH6, bei 5 und 4 bekommen sie Cadmium ganz leicht in Lösung. Diese Säure hat jetzt das Cadmium herausgelöst und aus diesem Fluß ist nun Cadmium in gelöster Form in die Reisfelder gelangt, die unmittelbar am Ende dieses Bergbaugesbietes gelegen sind. Die Menschen dort haben nicht nur den Reis gegessen, sondern die haben auch das Wasser getrunken. Sie mußten erliden, daß das Knochengerüst zu schrumpfen anfing. Das war jene groteske Krankheit, die man zu deutsch die Aua-Aua-Krankheit oder Autsch-Autsch-Krankheit nannte. Warum? Sie können sich vorstellen, daß das Schrumpfen des Knochengerüsts mit schrecklichen Schmerzen verbunden ist. Auch dort sind über 100 Leute gestorben. Dort weiß man allerdings, daß es also nicht allein das Cadmium war, sondern daß noch spezifische Vitaminmängel mit anderen Ernährungsfaktoren zusammengekommen sind. Aber immerhin, diese beiden Fälle, Cadmium und Quecksilber, und ihre negativen

Wirkungen auf den Menschen sind dokumentiert.

Wenn wir solche Untersuchungen machen, muß man manchmal die Kollegen fragen, wofür macht ihr das eigentlich, denkt ihr daran, daß letztendlich die Zielgruppe der Mensch ist? Tiere und Pflanzen möchte ich hier nicht bagatellisieren, aber ich glaube immer wieder ist entscheidend, wie weit kann so ein Schadstoff zum Menschen gelangen, wie sind die Transportwege. Das sind die Punkte, die man sich merken sollte, warum hier bei Schwermetallen untersucht wird.

Hier noch ein klassisches Foto: WIBKOV hat bereits 1925 Sedimentkerne aus dem Zürichsee entnommen; 1928 hat er die klassische Arbeit im limnischen Bereich publiziert, in der ein Sedimentkern beschrieben wird. Im Zürichsee schlägt, wie sie der angefügten Zeitskala entnehmen können, etwa ab 1890 die helle Sedimentation in eine dunkle um. Es wird dann wieder ein bißchen besser; danach haben wir die Probenahme durch Herrn STURM, einen Österreicher, der bei der EUROWAG in Zürich ist. Er hat festgestellt, die sich die beiden Kerne anschließen lassen, und hier haben wir ein Bild vor 1984. Was ist hier passiert? Wir sehen das Umkippen des Zürichsees 1890/94. Warum kam es dazu? Es ist durch den Zürichsee ein Damm mit einer Straße gezogen worden und man hat quasi den Wasserkörper isoliert. Es gab nicht mehr die Fluktuation, die Strömung, und so hat sich die Eutrophierung entwickelt.

Wir können absolut auf das Jahr genau eine Sedimentchronologie betreiben, das ist eben etwas, was als Nebenprodukt an der Arbeit abgefallen ist. Jetzt sind die in Frankreich im Massiv central durch Schichtzählung schon auf 140.000 vor heute gekommen und es gibt ja auch Kraterseen, die es seit hunderttausenden von Jahren gibt. Da steckt als Neben- oder Hauptprodukt Klimageschichte drinnen. Sie haben dort Sonarzyklen und alles mögliche. Das ist ein ganz neuer Zweig jetzt der Geowissenschaften, erstmals hat man Ereignisse datieren können, und es zeigt sich daß diese Sedimentchronologie eigentlich die exakteste ist, weil sie immer Sommer/Winter,

Sommer/Winter usw zählen können. Und das hat eigentlich der ZÜLIK seinerzeit gemacht.

Das wäre also jetzt die Grundlage. Wenn wir jetzt aus diesem Sediment eine Schicht herausnehmen, dann wissen wir, ob sie von 1900, 1940, 1980 usw. stammt. Sie sehen hier die Abstände immer größer werden, d.h. also zwischen 60 und 80 ist er doppelt so groß wie zwischen 1900 und 1920. Das hängt einmal mit der Kompaktion zusammen, aber auch die Sedimentationsrate hat sich geändert. Im Bodensee können wir das besonders gut feststellen, auch die Vergrößerung der Sedimentationsrate durch die Zunahme von organischer Substanz, aber auch neuerdings, vielleicht kann ich dazu ein paar Worte verlieren, plötzlich durch die autochthonen Calcitfällungen im Obersee. Zusätzlich zu den 2 Mio Tonnen, die der Rhein bringt an tetrakischem Material, haben wir jetzt noch durch die Eutrophierung etwa 400.000 Tonnen Calcitbildung im See selbst. Wieder einmal eine sensationelle Geschichte, denn normalerweise sind wir in der Geologie gewohnt, daß Prozesse ja doch nicht über Jahre und Jahrzehnte verlaufen, normalerweise sind das ja säkulare Prozesse, die man erst dann in hunderten oder tausenden von Jahren merkt. Jetzt bei den Eiszeiten und Wärmezeiten müssen wir auch wieder dazulernen, aber hier haben wir dann Beispiele, daß innerhalb von 30 Jahren sich das gesamte Sedimentationsverhalten eines für Mitteleuropa großen Sees total verändert hat. Jetzt sind wir gespannt, was passiert, wenn die Reoligotrophierung stattfindet, vielleicht können wir dann beides noch in ein Diagramm zeichnen, da müßten wir noch 30 Jahre älter werden, dann geht das sicher noch. Ich muß mich heute im wesentlichen auf die Schwermetalle beschränken, aber unsere Untersuchungen gehen natürlich auch auf die anderen Schadstoffgruppen.

Das war also der Auftakt, daß wir 1972 die erste Beprobung der Sedimente der wichtigsten Flüsse der damaligen Bundesrepublik machten und hier nehmen wir nun ein Detail, das praktisch sozusagen auch in der Technologie eine ganz minimale Rolle spielt. Kobalt ist kaum anthropogen, aber daran dachten wir

damals gar nicht. Sie sehen hier einfach mit der Breite des Striches, die absolute Konzentration. Da sehen wir, daß die einzelnen Flüsse sich unterscheiden, sie sehen die Elbe hat insgesamt in diesen Sedimenten die niedrigste Kobaltkonzentration, die Donau hat eine mittlere und die Weser hat eine stärkere, der Rhein selbst insgesamt auch eine niedrige, der Neckar eine mittlere. Das heißt also, hier drückt sich eigentlich der geogene Background aus. Beispielsweise dieser Nebenfluß der Weser, der dicke Balken, das ist die Diemel, die entwässert ein Gebiet, in dem der Kupferschiefer ansteht. Kupfer, Nickel und Kobalt sind natürlich dort mit dem Kupferschiefer assoziiert, es gibt natürlich auch Bergbau mit den zugehörigen Halden, aber hier haben wir vorwiegend eine geogene Konzentration, die sich jetzt vielleicht insgesamt auch hier in der Weser, finden läßt, sodaß wir also insgesamt höhere Konzentrationen haben. Aber wir sehen keine, sie sehen also wie konstant das in der Elbe geht. Wenn wir jetzt ein anderes Extrem zeigen, das Cadmium 1972, dann ist das vollständig anders. Da sehen wir, daß eigentlich keiner der Flüsse, mit Ausnahme niedriger Cadmium-Konzentrationen im Oberrheingebiet, die auch schon ein Mehrfaches über dem Background liegen, damit belastet ist. Dann steigt es an und dann hatten wir seinerzeit schön gelb den Neckar, der hatte mit Abstand die höchste Konzentration im Sediment. Vor allem tritt es ab einem bestimmten Punkt auf, das war eine Pumpquelle, ein Betrieb der BASF, die in Besigheim an der Enz, das ist ein Nebenfluß, Pigmente hergestellt haben mit Cadmium, Cadmiumsulfid, und da sind eben die übrigen Abfälle in den Neckar gewandert und die sind auch heute noch im Neckar, zum großen Teil in den Staustufen, weil in den Staustufen ja akkumuliert wird, und das ist immer noch das Problem, daß wir an die 2 Mio Tonnen hochgradig belastetes Cadmiumsediment im Neckar haben. Bei jedem größeren Hochwasser wird wieder aufgeschlämmt.

Jetzt muß ich ein bißchen ausgreifen. Wir sehen bei der Elbe, daß das Sediment sozusagen schon mit hohen Konzentrationen hier ankam, daß ab dem Raum Hamburg die Ver-

dichtung war und nach dem marinen Bereich abnimmt. Das haben wir damals gefunden, und bei allen Metallen. Die Holländer hatten beim Rhein ähnliches im Mündungsgebiet festgestellt. Übrigens waren die Holländer die ersten, die Schwermetalluntersuchungen an Sedimenten machten, denn denen sind die Kühe gestorben, die auf den eingeteichten Flächen, die noch vom Rhein überschwemmt waren, geweidet haben, und die haben gesehen, je näher wir an die See kommen, umso weniger wird es dann. Die hatten damals vermutet, es könnte ein bakterieller Prozeß sein, manche Bakterien können bestimmte Metalle aus dem Sediment herausholen und im Wasser würden die sich dann finden. Aber unsere Untersuchungen haben gezeigt, daß die Konzentration der Metalle sowohl in diesem Bereich als auch im Wasser gleichzeitig abnimmt. Also konnte diese Theorie nicht stimmen, da man es sonst im Wasser hätte finden müssen.

Da kam uns zum Glück eine sehr wichtige Arbeit von ROCKWEED vom Woodstone-Institut in die Hand. Der hat festgestellt, daß entlang der Ostküste der Vereinigten Staaten, von Neufundland bis Florida, das Meer die Flüsse hinein invadiert und ein Sedimenttransport nicht vom Fluß in das Meer stattfindet, sondern vom Meer in den Fluß. Das ist natürlich nur eine Bruttogeschichte. Natürlich wird auch ausgetragen, aber es wird mehr eingetragen, netto ist ein Flußaufwärtstransport festzustellen. Warum? Nach der letzten Eiszeit, so vor 18.000 Jahren, war ja der Meeresspiegel noch um 100 Meter tiefer als heute. Der Meeresspiegel steigt an. Vorher ist eine Menge hinaus transportiert worden und jetzt kommt der umgekehrte Prozeß, jetzt invadiert das Meer in die Flüsse hinein und genau dasselbe haben wir bei der Elbe festgestellt.

In der Zwischenzeit ist auch Liktolmineralzusammensetzung(?) untersucht worden, es ist also bewiesen, daß ein Stromauftransport stattfindet. Dazu kommt, daß in der Elbe jedes Jahr 2 Mio Tonnen Baggerschlamm aus dem Hafen herausgeholt werden. Damit wird ein Loch geschaffen, und der marine Bereich noch

stärker eingeladen hier reinzumarschieren, und wir haben heute in Hamburg diese scharfe Grenze über nur ein, zwei Kilometer, wo drastisch die Schwermetallkonzentrationen abnehmen durch den Stromauftransport. Das ist, glaube ich, eine ganz wichtige Geschichte. Hier im Inland spielt das keine Rolle, aber überall dort, wo der Meeresspiegelanstieg das verursacht hat, müssen wir erwarten, daß stromauf transportiert wird. Das war also damals die Erkenntnis.

Nun ging es darum diese Werte allgemeinverständlich für Verwaltung und Politik zu machen. Gerade bei Schwermetallen kann man ja sagen, wenn ich den Background kenne, den geogenen Background, dann kann ich ja vergleichen und feststellen, wieviel ist jetzt drin und bilde einen Quotienten und kann dann sagen, das ist der Belastungsgrad. Von TUREKIAN/USA und WEDEPOHL in Göttingen sind Untersuchungen gemacht worden, und wir nehmen also den Wert aus der Literatur zunächst einmal von Turekian und Wedepohl für den sogenannten "average shale" (das ist später dann leider übersetzt worden mit Schiefer. Das hat nichts damit zu tun. Shale ist, wenn überhaupt, Tonstein. Slate wäre also das echte metamorphe Gestein und shale ist nicht metamorph). Wenn man zunächst diese Werte nimmt und mit dem den Faktor 1,5 multipliziert, dann hat man etwa den Streubereich in fossilen Sedimentgesteinen, tonigen, phyllitischen Sedimentgesteinen und kann sagen, das ist mein Nullwert, das ist praktisch unbelastet. Jetzt nehme ich die Verdoppelung dieses Betrages, dann komme ich in die Klasse 1. Wenn ich wieder verdopple wieder in die Klasse 2, Klasse 3, 4, 5, 6. Die Klasse 6 ist nach oben offen.

Die Farbgebung ist natürlich von der Gewässergütekartierung der Limnologen abgeguckt Sie können auch an die Verkehrsampeln denken: blau ist der Zustand des Wassers, wenn es rein ist. Grün, da dürfen sie noch fahren. Bei gelb kommt das berühmte "Achtung" und orange und rot sind die Stoplichter. Ich glaube, das ist rübergekommen, daß, wenn jemand heutzutage rot sieht, sagt man, er schnappt ein oder aus oder irgend-

etwas geschieht dann. Das war die Geschichte und der Index der Geoakkumulation. Der hat ganz einfache Formeln, aber dann wird es komplizierter, wenn man die Formeln nimmt. Diese Verdopplung geht nach dem Logarithmus 2: die gemessene Konzentration dividiert durch geogener Background mal 1,5 Logarithmus 2, dann habe ich den Zahlenwert und dann immer die Klassen, die sich ableiten.

Das war eine Untersuchung die wir bereits 1979 am Rhein gemacht haben, vom Bodensee her. Sie sehen hier die verschiedenen Metalle, Nickel, Kobalt, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Zink, Blei, Cadmium und da sehen wir nun sehr interessante Dinge, daß sich bis zur Einmündung des Neckars eigentlich noch alles im unteren Bereich abspielt, daß aber mit Einmündung des Neckars das Cadmium plötzlich von der Klasse 3 zwei Klassen überspringt und nach 5 kommt. Ich habe schon angedeutet, daß der Neckar damals der am stärksten mit Cadmium belastete Fluß war. Zwei Klassen heißt also zweimal noch eine Verdoppelung des Wertes. Sie sehen, Cadmium bleibt in der Klasse 5 und dort, wo die Ruhr einmündet, dort haben wir jetzt die Klasse 6. Warum? In Duisburg gab es damals die Duisburger Kupferhütte, der größte metallherstellende Betrieb, der auch Abfallstoffe aufgearbeitet hat. Dort gab es eine ausgesprochene Punktquelle von Cadmium, Neckar und Duisburg haben dazu geführt, daß der Rhein die deutsch-holländische Grenze mit der Klasse 6 passiert hat. In Holland kam noch etwas dazu, sodaß in Amsterdam, Rotterdam die Konzentrationen erschreckend hoch waren.

Dort muß man jedes Jahr 20 Mio Tonnen Sediment ausbaggern, um überhaupt die Häfen befahrbar zu machen. Was hat man dort mit dem cadmiumbelasteten Sediment gemacht? Man hat ein Loch in der Nordsee gegraben, hat einen Sandteich drumherum gemacht und bringt nun die mittelbelasteten, nicht die ganz schwer belasteten, hinein und wartet, bis Petrus eine Sturmflut schickt und das Ganze rausgeht. Bis zum Jahr 2000 werden da etwa 20 Mio Tonnen da drin zwischengelagert. Bis dahin wissen wir ja was wir machen und bis dahin wird es zwischengelagert.

Für die ganz stark hochbelasteten gibt es Deponien, die unbelasteten vergräbt man in der Nordsee. Das war ja überhaupt der Usus, daß man sowohl von Hamburg (2 Mio. Tonnen) aus als auch von Rotterdam (20 Mio. Tonnen) Sediment in die Nordsee gefahren und verklappt hat. Das ist längst nicht mehr möglich. Das war also die Situation 1979. Nur unsere Freunde, die Engländer, die verklappen immer noch ihren Klärschlamm. Das Wort Sauerei ist zwar nicht wissenschaftlich, aber das ist eine Sauerei. Gerade da hat man den höchsten Eintrag, den man überhaupt machen kann. Das schert die nicht, EG ist schön, und Verklappen ist billig. Also wird dort weiterhin nichts Gutes angerichtet.

Mit Nickel und Kobalt ist praktisch nichts. Das sind Metalle, die eben im Vergleich zu anderen Metallen in Relation zum Naturvorkommen wenig im anthropogenen Bereich, gebraucht werden.

Der Main war damals der Hauptverschmutzer. Sie sehen, daß bei Quecksilber, Zink und Blei sich der Main um eine oder zwei Stufen angereichert hat. Und ab hier dann die hohe Belastung des Rheins. Das war die Situation. Sie wissen vielleicht, daß in den 70er-Jahren der Rhein als die majestätischste Kläranlage Europas bezeichnet wurde. Es war sicher die Situation, daß um 1970 herum eben diese Belastungen an Schadstoffen am allerhöchsten waren.

Nun das nächste, was die Chronologie aufzeigt: wir hatten 1972 gemessen, hier den Rhein, Elbe, Weser, Ems und hier der Neckar und die Donau. Sie erinnern sich noch an die Punktquelle des Neckars mit Klasse 6, die Einmündung der Ems, die Verdünnung auf 4 usw. Da gabs praktisch nur Klasse 4 bis 6. Wenn wir die Situation 1985 ansehen, so ist diese sehr stark unterschieden.

Gehen wir wieder einmal an die Donau. Wir finden praktisch nur noch bei Ingolstadt, da gibts eine bekannte Automarke, eine Erhöhung. Dann bleiben wir aber in dem relativ niedrigen Bereich und dasselbe gilt natürlich hier beim Neckar von 6 nach 4. Es ist auch beim Main besser geworden, besonders hier bei der Ems. Auch bei der Weser. Aber nicht hier bei der Elbe. Bei der Elbe haben wir

immer noch hier diese hohe Belastung, das hing natürlich damit zusammen, daß seinerzeit hier bereits große Mengen an Cadmium waren.

Nun zum Neckar. Seinerzeit war etwas passiert, was eigentlich unmöglich war. Es wurde, nachdem längst bekannt war, daß besonders in der Staustufe unterhalb dieses Betriebes riesige Konzentrationen an Cadmium in den Flußsedimenten waren, das Baggergut als wertvoller Dünger den Bauern angeboten. Ich frage Sie, gibt es Bauern, die nichts nehmen, wenn es umsonst ist und gut sein soll? Ein Gärtnermeister hatte hier ein ca. 4 ha großes Stück Land, eine blühende Gärtnerei, und hat 40 cm Neckarschlamm draufbringen lassen, das kostete ja nichts, war also wertvoll. Was passierte? Schon im nächsten Jahr mußte die Ernte vernichtet werden, weil das gesamte drauf Angebaute, das ganze Gemüse, hochgradig mit Cadmium belastet war. Er hat etwa 20 Jahre pro Hektar 5.000,- Mark Entschädigung bekommen. Vielleicht hat er dadurch mehr verdient als durch die Arbeit in der Gärtnerei. Das ist natürlich nicht hochgepielt worden, auch nicht, daß wir praktisch das Ministerium gewarnt haben, diesen Baggerschlamm zu verwenden. 30.000 Tonnen hat man aufgebracht. Es gibt auch andere Gebiete dort, die sind in der Zwischenzeit stillgelegt, Brachland, wo dann Schilf und Gras wächst, das aber nie mehr beweidet wird.

Das war der absolut klassische Fall. Unmittelbar unterhalb des Einleiters waren die Konzentrationen von Cadmium mit 200 Microgramm/Liter im Neckarwasser absolut weltweiter Rekord, das war mehr als das 50-fache des für Trinkwasser erlaubten. Trinkwasser ist seinerzeit aus diesem Bereich des Neckar ohnedies nicht entnommen worden. Gut, könnte man sagen, es reicht schon, daß das Gemüse versaut ist, aber in diesem Fall ist kein Trinkwasser entnommen worden. Das war seinerzeit die Grafik, die wir gemacht haben, das ist also die Situation. Aber es kommt zu einer terrestrische Nahrungskette. Wir haben hier das Sediment, das wird ausgebagert, das wird von den Bauern in den Boden eingebracht, es geht in die Pflanzen,

von den Pflanzen zu den Tieren und natürlich über die Pflanzen und die Tiere in den Menschen. Der noch direktere Pfad wäre, daß das Cadmium über das Grundwasserfiltrat in das Leitungswasser gerät, da muß man sagen, das wäre hier in Deutschland und sicher auch in Österreich nicht möglich, weil die Überwachung des Trinkwassers so konsequent und so gut ist, das kann man ausschließen. Aber denken sie an unterentwickelte Länder, gerade jetzt haben wir das Beispiel in Rußland, dort wird das Trinkwasser einer Stadt direkt aus dem Fluß genommen. Ein bißchen wird durch den Sand gefiltert, dort kennen wir auch hohe Metallkonzentrationen. Es ist das erste Mal, daß die Russen das auch selber sagen dürfen.

Der andere Weg wäre der "Minamata-Weg" gewesen - Schadstoff aus dem Sediment geht in das Plankton, das Plankton wird vom Fisch gefressen, geht vom Fisch zum Menschen. Der direkteste wäre über das Wasser selbst. Auch durch Überflutung haben wir Untersuchungen gemacht, daß gleich bei welchem Fluß, der Überflutungsbereich nicht ganz so hoch wie die Sedimente selbst aber immerin doch stärker belastet ist. Jetzt ist die Frage, soll man ein Setzbecken schaffen, was geschieht dort, gibt es eine Schädigung, wenn man zumindest Weideland daraus macht, usw. Das sind Dinge, die jetzt untersucht werden müssen.

Nehmen wir jetzt als Beispiel Quecksilber, weil beide Metalle eine Rolle spielen. Hier die Situation flußabwärts 1972 und der Vergleich wieder mit den 80-er Jahren. Da sehen sie, daß die schöne blaue Donau dunkelblau geworden ist, d.h. Null, keine Quecksilberanomalie, im Vergleich zum Geogen des Neckar. Und auch beim Rhein sind praktisch nur mehr blaue Farben vorhanden, dasselbe gilt für die Ems und die Weser, aber nicht bei der Elbe. Wir wußten das schon 1972/1985, daß die Elbe die höchste Belastung an Schwermetallen bringt, besonders an Quecksilber und Cadmium.

Warum ist in Westdeutschland der Quecksilbergehalt so schnell heruntergegangen? Die Ursache des Eintrags waren in erster Linie die

Betriebe, die mit der sogenannten Chlor-Alkali-Elektrolyse Kochsalz in Natrium und Chlor zerlegt haben, zur Natronlauge- und Chlorgasherstellung. Das Chlorgas brauchte man für die PVC-Kunststoffherzeugung, die Natronlauge ist eine Hauptchemikalie der Industrie überhaupt, zum Laugen, zum Aluminium herstellen usw. Die Trennung erfolgte durch die sogenannte Amalgammethode, das Quecksilber wurde gebraucht um sich mit dem Natrium zu verbinden, ein Natrium-Quecksilberamalgam zu bilden, und das Chlor das wurde dabei freigesetzt. Später hat man dann wieder das Natrium vom Quecksilber getrennt und es kam eben dazu, daß riesige Mengen an Quecksilber in die Umwelt gelangten.

Das ist das Problem, daß die DDR bis zur Wende hatte, daß dort im Raum Bitterfeld, Buna, im Raume Halle, die chemische Industrie gelegen war, die noch diese Chlor-Alkali-Elektrolyse verwendet hat unter völliger Mißachtung der Menschen, die dort gearbeitet hatten. Ich würde es wünschen, daß Sie einmal dort in so einen Fabrikationsraum hineinkommen, dort tropft das Quecksilber von den Decken, kommt aus den Fensterrahmen heraus und im Keller haben Sie quadratmetergroße Pfützen von etwa 100 kg Quecksilber und Sie können diese Räume überhaupt nur betreten, wenn Sie Schutzanzüge und Atemschutzgeräte haben. Selbst aus Maschinenteilen, die wir mitgenommen haben, Sie werden es nicht glauben, aus dem gediegenen Eisen, aus dem Stahl ist nach wenigen Tagen im Labor Quecksilber herausgekommen. Wir haben festgestellt, daß bis zu 7 mm das Quecksilber in feinste Haarrisse - das war kompaktes Metall - eingedrungen war, d.h. selbst 1000 t Maschinenteile müssen entsorgt werden, die kann man nicht irgendwo deponieren. In diesen Hallen ist wirklich in einer menschenverachteten Weise mit den Beschäftigten umgegangen worden. Das Quecksilber war dort immer das Problem.

Ich möchte jetzt bei der Elbe weitermachen. Die Elbe ist der wichtigste Punkt, den wir jetzt untersuchen. Gleich nach Wende kamen von allen möglichen Institutionen des damaligen Westdeutschland, die ja ob der Belastung

Bescheid wußten, hunderte Anträge an das Umweltbundesamt zu den verschiedensten Aspekten. Dann hat sich ergeben, daß man jene Gruppe aussortieren konnte, die sich vor allem mit der Frage der Schwermetalle in der Elbe und in ihren Zuflüssen beschäftigte. Denn wenn in der Elbe so viel enthalten ist, dann muß es von irgendwo herkommen. Da gab es eine Gruppe aus Freiberg/Sachsen, die bereits auch vor der Wende geochemische Untersuchungen gemacht hat, eines der renommiertesten Institute für Umweltgeochemie, die waren sofort bereit mitzumachen. Dann war die sächsische Akademie der Wissenschaften, die hatte eine kleine Gruppe, die sich zunächst mit den Restseen aus dem Braunkohlenbergbau beschäftigt hatte. Und es gab Verbindungen zwischen Hamburg und Freiberg, Prof. KNÖCHL und wir selbst hatten auch Interesse. Es gab vorerst eine kleinere Gruppe, die zunächst einmal die Zwickauer Mulde untersucht hat. Ich zeige das dann gleich auf der Karte, wo diese Flußsysteme sind. Im 2. Jahr hat sich eine zweite Gruppe gebildet, die jetzt auch die Saale, dann die schwarze Elster und Havel und Spree und und untersuchen wollten, immer in 3-Jahresprogrammen. Jetzt haben sich praktisch eine Kombination von westdeutschen und früheren ostdeutschen Instituten dieser Fragen angenommen, auch Tschechen sind dabei, und man kann wirklich sagen, daß das jetzt die gründlichsten Untersuchungen sind mit den definier-testen Ergebnissen sind und daß wir über das Untersuchungsgebiet weit mehr wissen als wir über jedes andere Einzugsgebiet in der Bundesrepublik.

Sie haben vor sich den Artikel liegen, der sich mit der Schadstoffsituation der Elbe beschäftigt, mit Farbbildern, Darstellungen der Konzentrationsangaben in Farbe, das ist natürlich nicht nur für den Politiker wichtig, daß man sofort sieht, wo ist etwas, wie groß sozusagen die dicken Brocken sind. Das ist also das Elbe-Projekt, also die Elbe mit ihren Zuflüsse.

1972 haben wir unsere erste Untersuchung bei Weser und Elbe im Bereich der Bundesrepublik Deutschland vorgenommen und darauf ist im Hamburger Abendblatt Bezug genommen.

Das ist die Zeitschrift, die am 9.1.1973 die Schlagzeile hatte "Die Elbe ist vergiftet". Da waren wir zunächst einmal betroffen, denn als Wissenschaftler würde man diese Ausdrucksweise nie wählen. Ein Journalist hat die Arbeit gelesen und hat daraus gemacht "Die Elbe ist vergiftet". Das hat uns zunächst einmal den Haß der Kollegen eingebracht. Wir haben gesagt so und soviel erhöht/konzentriert, aber das Wort "vergiftet" haben wir nie gebraucht. Wir haben allerdings gesagt, daß große Auswirkungen auf die Flora und Fauna zu erwarten sind und genau das hat man festgestellt. Die Elb-Aale und die Kaulbarsche waren hochgradig mit Quecksilber vergiftet und die Elb-Fischerei mußte seinerzeit eingestellt werden. Vielleicht gab es nur 10 Elb-Fischer, aber ihre Existenz war trotzdem kaputt. Sie können auch heute noch keine Elbfische essen. Das war damals der Aufhänger. Da hat sich dann unsere Untersuchung angeschlossen. Jetzt steht also die Elbe als gesamtes zur Diskussion.

Ein paar Daten: Auch ein Einzugsgebiet in Österreich ist minimal daran beteiligt, die Lainsitz. Ich glaube nicht, daß sie mit Schadstoffen beteiligt ist. Hier liegt das Erzgebirge und hier gibt es hunderte alte Bergbaue, dort gibt es Fabrikanlagen, metallurgische Betriebe, die größte Bleiaufarbeitungsschmelze in Freiberg, da sind die Bleiabfälle von ganz Europa hingekarrt worden, und viele andere mehr.

Die Mulde, hier Freiburger Mulde, hier die Zwickauer Mulde, ist ein weiteres Einzugsgebiet. Auf der anderen Seite kommt die schwarze Elster, die kommt aus dem Braunkohlengebiet her. Dann kommt die Saale, die sogar nach Bayern herübertagt und dort gibt es einen bayerischen Betrieb mit Chrom, so daß hier die Trinkwasserversorgung mit Chrom hochbelastet ist. Also war es nicht nur die DDR allein. Dann kommt die Havel, die ein riesen Einzugsgebiet mit flachem Land hat, und dann die Spree, die dann in die Elbe münden. Das wäre also das Einzugsgebiet. Die Flußlänge beträgt etwa 1.100 km, die Fläche ist rund 150.000 Quadratkilometer. Das ist also die Geographie und was wir jetzt vor uns haben, ist die Elbe selbst.

In der Veröffentlichung sehen Sie diesen oberen Teil. Wenn man Vergleiche machen will, wäre es sinnlos das Sediment zu untersuchen, so wie man es gerade heraus nimmt, einmal hat man im Greifer noch Sand und Kies drinnen, einmal mittelkörniges, dann wieder feinkörniges Material. Es ist eine Übereinkunft, daß alle die Fraktion kleiner 20 $\mu$ -Meter nehmen, das ist im Prinzip die Spätfraction, die sich nachher als Sediment abgesetzt hat. Damit haben wir überhaupt eine Bezugsmöglichkeit, sonst können wir nicht vergleichen. Leider wird das noch nicht überall gehandhabt, in der Nordsee haben die Engländer das Sediment in toto genommen, auch den Kies, da haben sie nachher praktisch Nullwerte gehabt, dann haben sie feinere Fraktionen genommen und bekamen Werte um 300mg, die Engländer haben wieder andere Größen genommen und so weiter. Das war nicht sehr positiv zu bewerten. Wir haben für die Elbe festgelegt, und jetzt auch für andere Flüsse, daß jeder gezwungen ist, die Fraktion kleiner 20 $\mu$ , also 0,02 mm zu nehmen.

Noch einmal die Situation: hier ist die Staatsgrenze, das ist schon Tschechien und wir finden hier im Oberlauf Quecksilberkonzentrationen um 15 mg pro kg, dann gehts wieder runter, die Moldau bringt nicht allzu viel und hier kommt nun etwas. Die Bilina, dieses kleine Flößchen in der Nähe der Grenze, die bringt nun sehr hohe Quecksilberkonzentrationen ins Sediment. Das ist von einem Betrieb der chemischen Industrie. Dann nimmt es wieder ab, geht zurück und wir sehen die Mulde, diese erwähnte Mulde, und die Saale, beide kommen aus dem Gebiet der Fabriken mit der Chlor-Alkali-Elektrolyse. Da steigen die Konzentrationen enorm an und marschieren hier in zwei Wellen nach Hamburg. Zur See hin kommt die Verbindung durch das aufwandernde Material und sie sehen, daß wir in unseren Messungen Oktober 1992 bis 35 ppm Quecksilber hatten, der geogene Background ist 0,4.

Nun ist interessant, daß fast genau 1 Jahr später hier von unseren Kollegen eine Schwebstoffbeprobung durchgenommen worden ist. Man kann das nicht genau vergleichen, denn

der Schwebstoff ist ja etwas, was transportiert wird, also weiterwandern kann. Außerdem hatten wir keine Zeit umzuzeichnen. Es mußte die Kilometrierung auf gleich gebracht werden, da an der Landesgrenze nach Tschechien die km stromaufwärts und ab deutscher Grenze stromabwärts gezählt werden, außerdem stimmt es um 800 m nicht, aber das sind Dinge, die international geregelt werden müssen.

Wenn wir uns das Diagramm ansehen, so bemerken wir in Tschechien im Oberlauf auch die erhöhten Werte im unmittelbaren Einzugsgebiet der chemischen Fabrik, die geringe Erhöhung durch die Moldau, auch diesen Peak und eben noch die Bilina. Die Bilina hat damals 120 ppm bei unserer Messung gebracht, hier waren es nur noch knapp 100 ppm. Aber der Peak ist derselbe und nun ist etwas sehr interessantes, daß sich jetzt dieser Peak hier noch einmal zeigt und ich sage, das sind die Schwebstoffe. Von dort an folgt eine rapide Abnahme. Die Saale hat zwar noch höhere Konzentrationen, die Mulde schon nicht mehr, wir sehen, daß sich das jetzt auf 5-6 ppm bewegt und dann kommt die Geschichte mit dem marinen Sedimentmixing, dort ist zu erwarten, daß es wieder viel, viel weniger ist. Das heißt also, wenn wir sagen, daß das etwa Schwebstoffe sind, daß in einem Jahr schon dort die tschechische Belastung noch da ist, noch sehr stark da ist, sind aber jetzt bereits durch den Rückgang der Mulde diese zwei Wolken in den Hamburger Hafen gewandert. Wir hatten jetzt 3 Hochwässer und da hat sich bei den Hochwassermessungen gezeigt, daß die Konzentrationen um 5/6 ppm vorhanden sind.

Was war, bevor wir jetzt das feststellten, wie sieht das hier aus? Es gibt eine Meßstelle, die schon vor der Wende eingerichtet worden ist, nämlich bei Schnackenburg, wo die Elbe die ehemals deutsch - deutsche Grenze überschritten hat. Dort hat man eine Sedimentfalle gebaut, wo tatsächlich der Schwebstoff aufgefangen wird. Hier hat man die Jahresfrachten der mittleren Schwermetallkonzentrationen gemacht und wir wollen hier die Geschichte der Jahresmittelwerte in ppm von 1988 bis

1994, da war die Wende dazwischen, betrachten.

Wir sehen, daß Cadmium bis 1991 angestiegen ist, und erst 1992 zeigt sich eine leichte Abnahme. Bei Quecksilber sind noch bis 1991, also lange nach der Wende, die Konzentrationen angestiegen. Erst ab 1992 geht es zurück. Merkwürdigerweise zeigt sich bei Arsen eine Zunahme, die allerdings nicht sehr gravierend, aber festzustellen ist. Die anderen Elementen zeigen eigentlich das klassische Bild. Bei Kupfer bis 1991 Zunahme, dann Abnahme, dasselbe gilt für Chrom, für Blei, für Nickel.

Wirklich aktuell ist die Frage der Zu- und Abnahmer für den Hafen von Hamburg, wo diese 2 Mio Tonnen Sediment ausgebagert werden müssen, das kostet eine Haufen Geld und niemand weiß, wohin man das Material tun soll. Vorher hat man es in die Nordsee verkappt, das geht nicht mehr, und jetzt geht ein Streit einher, es muß deponiert werden. Zunächst hat man für 137 Mio Mark eine Anlage gebaut, die nichts anderes macht, als aus dem Baggerschlamm den Sand abzutrennen, sozusagen den Feinanteil. Man hat eine riesige Hydrozyklone- und Aufstromklassierungsanlage errichtet. Jetzt stehen von den 2 Mio Tonnen Baggerschlag 1 Mio. Tonnen Sand zur Verfügung, den man für Bauzwecke oder sonst etwas verwenden kann oder für Uferböschungen und Landschaftsbau. Das andere ist der Feinanteil, in dem die Metallkonzentrationen doppelt so hoch sind. Das gibt es jetzt einen großen Streit: die Länder haben sich bereit erklärt einen Teil zu nehmen und Deponien zu machen, jetzt sind die Bürgerbewegungen im Gange und die sagen, den Giftschlick wollen wir nicht. In Ostfriesland gibt es in 3000 m Tiefe einen Salzstock, dort könnte man es einbringen. Da gibt es Bewegungen ohne jeden Sachverstand. Was spricht dagegen, das in einem Bergwerk unterzubringen? Aber der Widerstand ist da und das ist das Problem. Die Stadt Hamburg ist mächtig interessiert, daß die Schwermetallkonzentrationen bald abnehmen, damit das Problem von dort weg ist. Der Baggerschlamm ist jetzt schon sehr, sehr teuer. Das ist die Problematik, die dahintersteht.

In der Publikation haben Sie das Ergebnis unserer Sedimentmessungen, rechts- und linksstromig gemessen, und Sie sehen, es gibt da leichte Verdriftungen. In einem breiten Strom ist das so, daß es durchaus eine Rolle spielt, ob man ein seichtes Ufer oder ein Steilufer hat. Nach der Einmündung des Main in den Rhein zwischen Wiesbaden und Mainz erfolgt bis zu fingerhoch keine Vermischung der beiden Ströme. Der Main fließt nach rechts rein, und sein Wasser fließt parallel zum Rheinwasser. Erst durch Unebenheiten im Untergrund, wo die Strömungsgeschwindigkeit differiert, kommt es zur Vermischung. Das ist übrigens für jüngere Geologen ganz wichtig, sich stets bewußt zu sein, daß unsere Querschnittprofile immer wahnsinnig überhöht dargestellt werden. Der Fluß ist 7 m tief und das Profil ist 20 cm breit und 5 cm hoch. Aber in anderem Maßstab ist das überhaupt nicht zu zeichnen.

Zurück zur Elbe. Sie sehen hier beim Cadmium einen riesigen Peak, auch bei den anderen Metallen, und zwar ist das ein Flößchen namens Tribisch. Diese Tribisch entwässert praktisch das Bergbauggebiet von Freiberg. Da ist also ein Abwasserkanal, der in diesen Fluß eingelagert worden ist und entwässert, und man weiß, so eine Pumpe kann man stilllegen. Wie sie sehen, bei Blei und bei Zink, überall da gibt es einen raschen Peak, aber insgesamt ist die Menge doch nicht so groß, daß etwas passiert. Sie sehen flußabwärts die Konzentrationserhöhung und die Beurteilung, daß noch sehr hohe Grade an Belastung vorliegen.

Geochemisch interessant wäre es, ein Bezugselement, aus dem geogenen Background zu nehmen, und wir kennen den geogenen Background dort, das ist das Erzgebirge. Wir haben dort Arsen, Cadmium, Zink, Nickel, also praktisch alle Elemente in den verschiedenen Gangsystemen und dort haben wir ganz sicher ganz andere geogene Backgrounds als in der Literatur angegeben. Das ist jetzt eine ganz wichtige Sache, daß in den verschiedenen Einzugsgebieten die Backgrounds ermittelt werden.

Dazu sucht man einen See im fraglichen Einzugsgebiet, in dem man kontinuierliche Sedi-

mentation hat, die man nicht nur bis 1800, sondern, wenn möglich, bis ins Mittelalter oder besser noch bis vor Christi Geburt zurückverfolgt, denn dort ist kein relevanter Bergbau mehr anzutreffen. Man hat also im Erzgebirge Wasserspeicherseen angelegt im 14., 15. Jahrhundert, und dort kann jetzt die Chronologie errichtet werden. Für die folgenden Darstellungen muß man im Auge behalten, daß wir für die aus dem Flachland kommenden Gewässer, also gerade die Havel und Spree Backgrounds aus der Literatur haben, während aus der Mulde sind praktisch nur gesammelte Konzentrationen bekannt.

Wir haben noch eine andere Möglichkeit die Anreicherungsfaktoren zu berechnen, indem wir die Elemente untersuchen, von denen wir wissen, daß sie vom Menschen nicht in irgendeiner Weise hineingebracht worden sind. Solch ein Element ist das Lithium. Und hier sehen Sie am Lithium, daß vom Ursprung der Elbe rechts und links dieselben Konzentrationen im Sediment sind. Kleine Peaks zeigen an, daß lithiumhaltige Glimmer vom Riesengebirge besonders erosionsanfällig sein mögen. Das Verfahren der Lithiummessung haben wir mit Erfolg angewendet. Das Lithium können Sie parallel zu den Schwermetallen messen und unabhängig von den I.G.O. einfach Koeffizienten bilden.

Bei den Böden, wir haben 651 Proben im Rhein-Neckar Raum untersucht, zeigte sich, daß das Lithium ganz hervorragend für diese Zwecke geeignet ist. Sie können auch Aluminium messen, aber Aluminium ist zweideutig, das können Tonmineralien sein, das können Feldspäte sein, es ist schon nicht mehr so gut. Das sei nur als Hinweis, wenn man solche Analysen durchführt, daß man auch mal so ein Element mitmißt, das kostet ja nichts und man erhält doch interessante Auskünfte.

Die Methodik der Analyse ist genau genormt, wir arbeiten mit dem Königswasseraufschluß, der ja in Deutschland durch die Klärschlammverordnung für Schwebstoffe, Feinstsedimente und Klärschlämme vorgesehen ist. Wir mußten uns daran halten, und es hat sich bewährt. Es zeigte sich, daß die Unterschiede zum Gesamtaufschluß oder zur Röntgenfluores-

zenzmethode, wo Sie Gesamtkonzentrationen bekommen, nur sehr geringfügig sind. Was sie also mit Königswasser nicht aufschließen können, das wäre noch silikatisch gebunden, die Unterschiede sind gering.

Sie können aber in Einzelfällen sehr groß sein. Ich habe ein Beispiel von China, wo wir einen Fluß untersuchten, der von einer riesigen Kupfermine kommt und dort ist es so, daß z.B. der Chalkopyrit dort in Quarz eingeschlossen ist und mit Königswasser können sie natürlich nicht Quarz auflösen. Da gibts es schon gravierende Unterschiede.

Auch das Beschränken auf die 20 Mikrometer-Fraktion bringt natürlich gewisse Unschärfen, man muß das ganze Sediment ansehen und oft ist so, wenn sie in einem Bergbaugebiet sind, daß Sie die hohe Belastung auch schon im Sand haben können, wenn sie dort eben das Mineral enthalten ist. Der Bodentransport spielt ja keine Rolle in unseren Flüssen, etwa 5 %, max. 10 % sind Bettfracht und 90 oder 95 % Suspension. Die schönen Deltabildungen, auch im Bodensee, die täuschen darüber hinweg. Man sieht das Delta und den Sand der abgelagert wird, im Bodensee allerdings auch schon nicht mehr, die Schweizer holen ja den ganzen Sand und Kies heraus, ehe er in den Bodensee kommt. Die Schwebfracht, die weitertransport wird, die ist die Hauptsache.

Königswasser-Aufschlüsse haben alle, da gibt es von der Fa. Bero in Düsseldorf den Bero-Test, da kann man gleichzeitig 20 Aufschlüsse machen, am Abend werdeb sie angesetzt, am nächsten Morgen sind diese 20 Proben zur Analyse fertig. Das geht sehr, sehr gut, sodaß die Werte danach wirklich miteinander vergleichbar sind. Bei Ihnen in Österreich ist es wahrscheinlich auch ähnlich.

Ich glaube die Veränderung der Geochemie, der obersten dünnsten Schicht auf der Erde, die zeigt, was in den letzten 100 Jahren passiert ist, das bringt die Natur fertig. Das ist sicher etwas drastisch, gerade Cadmium ist das Metall, daß sich im Vergleich mit anderen Metallen am stärksten jetzt anthropogen angereichert hat.

Zu dieser Cadmiumgeschichte, die wir vorhin besprochen haben, muß ich anmerken, damals gab es keine entsprechenden Vorschriften und auch der Wissensstand war noch nicht entsprechend. Minamata und das Jintzu-Delta waren ganz frisch und erst danach sind diese Gesetze sicher mit viel Ächzen und Stöhnen durchgekommen und jetzt haben wir sie.

Woanders gibt es diese Gesetze nicht, und sehen wir uns beispielsweise China an, die Umgebung der Hili-Coppermine. Im Gebiet selbst, in dem jetzt der Bergbau stattfindet oder die Verarbeitung, dort sind die Schäden in der Natur deutlich auszumachen, verschiedene Arten sind völlig ausgestorben. Beim Menschen selber kennen wir dort keine Untersuchungen, die etwas berichten. Das hängt aber auch damit zusammen, daß sich dort die Ökologie und Ökonomie noch sehr beißen, nach wie vor gilt die Auffassung, daß jeder neue rauchende, qualmende Schornstein ein großer Erfolg ist. Das war ja auch bei uns so nach dem Krieg, daß jede industrielle Anlage, Hauptsache, daß es sichtbar ist, wenn es raucht, ein Fortschritt war. Das ist also die Hili-Coppermine jetzt. Wir haben dort die Backgroundwerte und auch die historischen Belastungen. datiert. Man kann das parallel mit der Abbaurate des Erzes in Beziehung bringen.

Ein anderes Problem in China ist für den größten Fluß den Jangtsekiang, daß dort an einem Nebenfluß die größte DDT-Fabrik der Welt liegt. Bei uns in Europa ist die Anwendung von DDT verboten, leider war lange genug die Fabrikation nicht verboten. Wir haben für die Drittländer DDT hergestellt und haben das verkauft. Die Chinesen sagen, diese DDT Ersatzstoffe, die HCH's, können wir uns nicht leisten. wir machen DDT. Um das DDT herzustellen braucht man erst einmal Chlorgas. Also haben sie eine riesige Chlor-Alkali-Elektrolyse mit Quecksilber aufgebaut, die Abwässer werden einfach eingeleitet, sie sind jetzt mit Quecksilber hoch belastet. Dazu der Abfall von DDT. Wir haben also dort eine Kombination von zwei der bösesten Gifte, dem Quecksilber als Zellgift und dem DDT als

Nervengift, das über die organische Substanz angereichert wird.

Was hat man gemacht? In den Anfängen, als wir so die ersten Kontakte hatten, da tat man sehr geheim, sie sagten, die Lösung haben wir jetzt, wir haben einfach in diesen Zufluß zum Jangtse frisches Sediment geschüttet und jetzt ist alles ungefährlich. Wir sagten ihnen, sie mögen noch warten. Bei DDT kann das ja noch einigermaßen gehen, aber das Quecksilber hält sich nicht an die Regel. Sie bekommen diese speziellen Bakterien, die das Quecksilber in Methylquecksilber umwandeln und in noch schlimmerer Form nach oben bringen. Das ist also die Situation an diesem Nebenfluß.

Dann gibt es jetzt im Norden von China noch eine Quecksilbergeschichte, die auch damit zusammenhängt. Dort ist man noch weit entfernt irgendwelche Maßnahmen zu ergreifen, daß also statt der Chlor-Alkali-Elektrolyse andere Verfahren verwendet werden, die sind aber natürlich teurer. Das sind Fragen, die mit der Ökonomie zu tun haben, die jetzt gewaltig boomt, aber für Umweltfragen gibt es keinerlei Möglichkeiten. Die Sache geht jetzt über die UNESCO. Wir haben gehört, daß bei diese Hili-Coppermine eine japanische Gruppe tätig ist, natürlich wollen die ins Geschäft einsteigen. Die hätten nun Untersuchungen gemacht. In den Betrieb kommt man ja nicht hinein, es ist unmöglich Daten zu bekommen von der Fabrik, die die Sauerei macht, auch den staatlichen Stellen, also der Akademie der Wissenschaften. Die UNESCO sagt, wir bestehen darauf, sonst geben wir kein Geld mehr, die Beteiligten sagen, wir haben es ja getan, aber wir schaffen es nicht, daß wir an einem Tisch zusammenkommen. Das sind die Probleme, daß man in einer totalitären Regierung diese Umweltfragen einfach nicht hoch bringen kann, obwohl, daß muß man sagen, bei den Wissenschaftlern ist das Bewußtsein absolut da. Und es wird publiziert. Das ist der erste Fortschritt, es gibt auch einen Austausch, wir bekommen dann chinesische Wissenschaftler nach Heidelberg, die dann analytische Arbeiten bei uns machen. Vor ein paar Jahren waren das noch ausgekochte Parteibonzen, die

von Wissenschaft keine Ahnung hatten, jetzt bekommen wir junge Leute, und wir merken, daß die alten Kader schön langsam aussterben.

In Rußland haben wir ein Projekt, das läuft jetzt 3 Jahre. Das ist das erfolgreichste Projekt, daß jemals mit Deutschen und Russen zusammen gebracht wurde. Kooperation mit Gewässerkundegebiet war geplant. In Moskau, an der Oka, wurde eine Besprechung durchgeführt. Nun die Oka hat ein 50 % größeres Einzugsgebiet als die Elbe, hat 50 % mehr Wasserführung als die Elbe und hat nur 2/3 der Bevölkerungsdichte. Sehr wichtig ist das Stadtgebiet von Moskau. Wir haben 3 Jahre hintereinander eine Beprobungskampagne gemacht. Es gingen 2 Leute von uns hin. Wir haben ähnlich wie für die Elbe, den Neckar, den Rhein diese erste geochemische Karte der Flüsse gemacht. Es kommt heraus, daß die Oka selbst ein sehr sauberer Fluß ist, daß aber einige Nebenflüsse, die im Norden von Moskau vorbeifließen wie die Klyazma sehr hoch belastet sind, vor allem mit Cadmium. Das Problem ist jetzt erkannt. Die Stadt Wladimir nimmt das Trinkwasser mehr oder weniger ungefiltert aus dem Flußwasser. Die Moskwa selbst ist hoch belastet, da kommt dann der Verdünnungseffekt zum Tragen, wo die Moskwa in die Oka fließt; dann gibt es eine große Lokomotivfabrik, dort finden wir auch wieder alle schönen Dinge. In Blej ist eine Fabrik, die Bleikristall herstellt und solche Geschichten. Interessant ist als absolute Punktquelle ein kleiner Zufluß, die Upar, da liegt Orel und dort ist die große Kalschnikov-Fabrik, die ja auf Hochtouren arbeitet. Sie wissen ja, 52 Länder beziehen ihre Schnellfeuergewehre von Kalschnikow. Dort haben sie also praktisch alle Metalle, die es gibt, dort sind sie auf Maximum und dann kommt der Verdünnungseffekt. Bei der weiten russischen Verteilung können wir viel, viel besser als bei uns einer Pumpquelle folgen, sie sehen das da, Klasse 6, dann 5, 4, 3, 2, 1. Das können sie genau verfolgen. Bei uns gibt es ja immer wieder einen kleinen Stinker dazwischen, der das wieder verändert. Dort haben wir also tatsächlich die Abfolge und das ist für die Russen eine Sensation, daß man diese Dinge das erste Mal beim Namen nennen kann und

das geht jetzt. Das Forschungsministerium stellt Mittel zur Verfügung, daß das ein Atlas wird und das ist eine sehr erfreuliche Geschichte. Jetzt wissen wir, wo gezielt welche Bereiche noch untersucht werden müssen.

Wechseln wir den Kontinent und gehen wir zum Amazonas. Sie haben vielleicht gelesen, in bestimmten Gebieten wird dort nach Gold gegraben. Das ist nicht irgend ein Bergbau in unserem Sinne, dort sind "Repose", ich würde das übersetzen mit "kleinmaßstäblicher Bergbau". Was immer das auch bedeutet, es sind Private, die dort Goldwaschen, einzeln oder mit Familie, oder Kooperative, das sind 15 bis 20 Personen, oder mit einem Padrone, der die Leute anheuert. Die haben Schulden bei ihm, weil sie dort hinfliegen müssen und dort im Camp wohnen und das Geld haben sie nicht.

Man hat nun gesagt, diese Quecksilbersache ist furchtbar gefährlich, die Leute werden vergiftet. Ich war ein paarmal dort in den Lagern. Dort sind Tuberkulose, Malaria, Trinken und Prostitution, Aids, andere Geschlechtskrankheiten plus Tropenkrankheiten, allgemeine Entkräftung ein Faktor, den ich mit 95% bewerte und die Quecksilbergeschichte höchstens mit 5%. Und da auch nur bei den Leuten, die jetzt wirklich beim Anquicken stehen. Das Gold und der Sand werden mit Quecksilber übergossen, die rösten die das ab verbrennen es. Ich mußte schleunigst zurück als ich meine Fotos gemacht hatte, denn ich stand mitten in einer Quecksilberwolke. Das macht denen nichts aus. Die ganze Geschichte mit dem Einatmen könnte man völlig vermeiden, wenn man stattdessen eine Destille nehmen würde. Man gibt das Amalgam rein, erhitzt das und am Überlauf braucht man nur überkühlen, es scheidet sich das Quecksilber ab und sie können das Quecksilber zurückgewinnen. Das tun die aber nicht, weil sie sagen, wir wissen ja nicht was da passiert, vielleicht geht da auch Gold raus. Das ist tatsächlich unglaublich; man kann denen nicht glaubhaft machen, daß das Gold drinnen bleibt. Das müßte ein gläsernes Gefäß sein, dann würden sie es vielleicht sehen und glauben. Aber so stehen sie dabei mit dem Schweißbrenner und einem Löffel und

stochern herum, zerteilen diesen Amalgamklotz und zum Schluß haben sie das pure Gold. Das wird sofort genommen und abgewogen. Pro Jahr werden dort 100 Tonnen Quecksilber auf diese Weise zum Teil in die Luft gejagt, zum Teil bleibt es schon auf diesen Tischen, wo sie arbeiten.

Unsere Frage war, was passiert mit dem Quecksilber? Da zeigte sich nun etwas interessantes. Das meiste von diesem Quecksilber wird jetzt an die Schwebfracht gebunden. Wird über den Nebenfluß in den Hauptfluß, das ist der Rio Tapajos, der ist etwa fünfmal so groß wie der Rhein, als Nebenfluß führt er schon ca. 2.500 Kubikmeter bei Niedrigwasser, 20.000 bei Hochwasser und das geht dann runter. Dieser Tapajos hat, bevor er in den Amazonas mündet, eine Aufweitung. Er bildet also so eine Art See und dort kommen die Schwebstoffe zum Absatz. Dort haben wir wieder genau dasselbe wie in den anderen Fällen. Wir haben plötzlich vor einem Background, der übrigens für Quecksilber viel niedriger ist als bei uns, das Einsetzen der Peaks, und die Abbautätigkeit können wir feststellen. Die absoluten Konzentrationen gehen aber nur bis 1 ppm, was jetzt im Vergleich zur Elbe wahnsinnig wenig ist, aber wir wissen noch nicht, ob die Mobilisierung eintritt. Immerhin gibt es dort ernste Berichte, daß auch in Fischerfamilien Zeichen von Quecksilbervergiftung auftreten. Am 17. Februar fahren wir für 10 Tage wieder hin und nehmen Proben. Das ist sozusagen die Erfahrung, daß dort ein Transport des Quecksilbers über große Entfernungen stattfindet, und daß dann praktisch in diesem Fall nichts in den Amazonas geht, weil vorher quasi über diese Ausweitung absedimentiert wird. Das ist die Situation. Der Brasilianische Staat, ich glaube, Brasilien ist das viertgrößte Goldexportland, sagt, ihr dürft kein Quecksilber verwenden, aber es wird trotzdem gemacht. Aber pro Jahr 100 t Quecksilber, das geht in die Staatskasse. Ein spezifisches Quecksilberproblem, gemacht durch die unsinnige Anwendung und die noch unsinnigere Technik des Röstens. Wenn sie davon in der Zeitung lesen, von Greenpeace ist das ziemlich übertrieben worden, wenn sie wissen, wie es den Leuten dort gesundheitlich

geht ohne Quecksilber, daß man mit 25 Jahren stirbt. da brauchen sie kein Quecksilber dazu. Wichtig ist noch, daß der Background dort ein ganz anderer ist. Dort sind wir also unter 0,1 mg/kg und das hängt mit dem brasilianischen Schild zusammen, der durch die tropische Verwitterung tiefgründig verwittert ist, und da sind eben bestimmte Elemente schon vorher rausgelöst worden.

Wichtig ist, je kleiner das Einzugsgebiet desto variabler wird der I.G.O. sein, weil dann praktisch eine einzige Gesteinsart den geogenen Background bestimmt. In der Türkei haben wir das untersucht, sind die Sedimente geogen mit Chrom belastet. In diesen Ultrabasiten sind eben Chromitvorkommen, also haben wir Chromit auch im Sediment. So gibt es also für einzelne Gebiete weit höhere Konzentrationen, die nichts mit der Industrie zu tun haben, sondern bereits geogen sind.

Der Trick der Immobilisierung für Schwermetalle mit Ausnahme des Chroms ist der, daß wir ein anoxisches Milieu aufrecht erhalten. Die Metalle liegen, mit Ausnahme des Chroms, es bildet kein Sulfid, als Schwermetallsulfide vor. Die Löslichkeit der Schwermetallsulfide ist absolut mit 10 hoch minus 21 anzusetzen. (irgendeine Zahl, ob sie hoch minus 27 oder so nehmen spielt schon keine Rolle mehr), die ist also tatsächlich zu vernachlässigen.

Wir haben jetzt gerade eine Reihe von Porenwasseruntersuchung; in der Regel sind immer, wenn anoxische Verhältnisse vorherrschen, die Schwermetallkonzentrationen im Porenwasser weit niedriger als im überstehenden Wasser. Das heißt, es findet eher vom Wasser her ein Transfer vom Wasser ins Sediment statt und nicht vom Sediment ins überstehende Wasser. Allerdings das gilt nur, solange Sie das Sediment in Ruhe lassen und nicht resuspendieren. Das ist im Neckar die Problematik. Ab 50 cm sind im Sediment die Altsedimente, die haben bis zu 180 ppm Cadmium, was macht man? Wir haben Untersuchungen, ich habe auch Dias da, daß zeigt, wenn ich das Metall, das in sulfidischer und organischer Form vorliegt, aufwirble mit Sauerstoff, dann geht das plötzlich in die verfügbare Form über. Gerade das

Cadmium macht diese Geschichten. Wenn ich ein Depot habe, wo ich 100 % sicher bin, daß es also anoxische Verhältnisse sind, dann wären die Metalle dann sicher, weil keine Sulfidlöslichkeit gegeben ist.

Die primäre Bildungsart kann schon einmal an Tonmineralien sein, es können aber auch eigene Partikel sein. Noch extremer ist es, daß eine organische Substanz das Schwermetall gebunden haben könnte, die spezifische Oberfläche der Humidstoffe ist ja noch viel größer, da gibt es dann Gelatbildung dazu, dann haben wir vor allem Bindung an Eisenhydroxyd, bestimmte Metalle, Chrom, Nickel, Kobalt, die Eisenmetalle gehen bevorzugt, Kupfer geht bevorzugt, dann organische Substanz; das weiß man inzwischen, das kann man generell sagen. Bei Quecksilber ist es so, daß Quecksilber an Humidstoff bevorzugt gebunden wird. Aber im Sediment, wenn wir aus dem Hafen in Hamburg einen Sedimentkern ziehen, finden wir das Quecksilber als Sulfid vor. Das wäre natürliche Immobilisierung, die aber nur konstant so bleibt, wenn man den pH nicht ändert. Künstlich würde man dann, wenn es um Böden geht, praktisch immobilisieren durch Überführung des Metalls in Sulfide und dann allerdings darauf achten, daß der pH nicht absinkt. Das kann man z.B. machen, indem man Kalk dazugibt, denn so lange Sie Kalk als Puffer haben, bleibt der pH-Wert über 6. Wenn es unter 6 geht, fängt das Cadmium an sich aufzulösen.

Eine ganz neue Sache, die eigentlich ganz vernünftig klingt: wenn sie in Böden, die schwermetallbeladen sind, einfach Kompost zugeben - der muß aber durchgereift sein - binden diese höher molekularen kompostorganischen Verbindungen die Schwermetalle. Das heißt, wird jetzt im Boden irgendein Schwermetall freigesetzt, dann ist das nur momentan, es geht zuerst an die organische Substanz und nicht an die Pflanze. Das haben viele Untersuchungen ergeben. So bleibt die Summe des Schwermetalls im Boden konstant, aber es kann nicht in die Wurzel gehen weil es zunächst an die Humidstoffe gebunden wird.

Dann gibt es noch die Methode, daß man Pflanzen anbaut, die die Schwermetalle akku-

mulieren, sie kennen vielleicht das Galmeiveilchen. Es gibt heute Pflanzen, die in der Asche bis zu 5 % Zink und bis zu 1 % Cadmium haben. Für alle anderen Metalle gibt es das, aber leider gibt es keine für Quecksilber. Jetzt ist natürlich die Frage, die Asche bleibt uns, was machen wir mit den Pflanzen nachher. Das ist sekundär. Man kann also einem Ackerboden bestimmte Schwermetalle entziehen, allerdings läuft das bald asymptotisch, erst geht es schnell herunter und dann erreichen sie doch die Grenzkonzentrationen. Es ist ein riesiger Aufwand und nur in kleinem Maßstab durchführbar, aber mit viel Geld erreicht man alles.

Zurück zur Karte. Einer der wichtigsten Zuflüsse der Elbe ist hier die Mulde. Sie sehen bei Cadmium nur wenige Stellen gelb, das gesamte Einzugsgebiet im Erzgebirge ist rotfarben, übermäßig stark belastet mit Cadmium. Das ist die ganz wesentliche Quelle, die wir hier haben und es kommt dazu, daß ausgerechnet noch an der Zwickauer Mulde ein Betrieb war, in dem für militärische Zwecke Cadmiumbatterien hergestellt worden sind. Dort wurde elementares Cadmium aus dem Ausland angekauft und durch Umwandlung Cadmiumschwamm hergestellt. Das ist eine Pumpquelle, und dazu noch die hohen Konzentrationen in den Erzen, wobei eine Halde ja nicht mehr echt geogen ist. Warum wird das nicht besser? Aus den Gruben- und Stollenwässern kommen jetzt riesige Mengen an Cadmium und Schwermetallen heraus. Das Grubenwasser sind sauer, haben einen pH-Wert von 2, die kommen raus und wenn sie sich mit Sauerstoff und anderem Wasser mischen, können wir feststellen, daß es Flockenbildung gibt. Weil die Gruben stillgelegt sind, steigt das Wasser an, läuft über und daher kommen dann die wesentlichen Pumpquellen für Cadmium. Dort müßte man eine Fällungsstation machen. Ich weiß nicht, wie es hier in Österreich mit Grubenwässern steht, die Gruben, die in Betrieb sind, werden bewirtschaftet, und da wird man es nicht zulassen, daß die Wässer sich in Flüsse bewegen. Aber wie sieht es mit stillgelegten aus. Im Erzgebirge haben wir das Problem,

daß man jetzt etwas mit den Grubenwässern machen muß.

Eine Geschichte noch zu dieser Mulde: da gibt es einen künstlichen Stausee, der ist gebaut worden, um aus einer Braunkohlengrube eine Erholungslandschaft zu machen, und man kann nur sagen, es ist ein Glück, daß es diesen Mulde-Stausee gibt bei Bitterfeld, nachdem die Mulde gereinigt ist, noch bevor die Abwässer reinkommen. In dem sind jetzt 90-95 % des Sedimentsmaterials abgelagert. Wir haben hier mittlere Konzentrationen von Cadmium, das Sediment selbst hat 100ppm, die Fraktion kleiner  $2\mu$  200ppm. Beim Arsen haben wir hier max. in der Feinfraktion über 400 ppm, beim Zink 1000 ppm und hier nicht aufgezeichnet bei Uran auf über 100 ppm. Das war der Hauptanteil in diesem Einzugsgebiet.

Es war mir selbst auch nicht bekannt, daß über Jahrzehnte hinweg die damalige DDR der drittgrößte Uranproduzent der Welt war. Man denkt sonst immer an Canada und Rußland. Aber dort ist systematisch abgebaut worden und man hat man dort auch Uran gewonnen. Im Elb-Sandsteingebirge hat die ganze Landschaft im Untergrund saure, uranhaltige Wässer, die irgendwann ins Grundwasser und in die Elbe kommen werden. Durch massives Einpumpen von Säure hat man vor Ort die Lösung gemacht und uns bleibt jetzt das Problem.

In den Flüssen wird jährlich gemessen wird und es zeigt sich, daß es bereits mit allen Konzentrationen von Jahr zu Jahr zurückgeht. Normalerweise macht man solche Messungen nur alle paar Jahre, aber hier ist es sehr wichtig, daß sich ein Erfolg einstellt und daß die Maßnahmen, die man ergriffen hat, kontrolliert werden und greifen.

Da ist jetzt die Saale. Da sehen wir jetzt, wo das Quecksilber herkommt. Das ist hier Halle und hier liegt Merseburg. Hier dieses Dreieck, hier kommt das Quecksilber, das mit Klasse 4 noch in die Elbe einmündet.

Einen Sprung nach China: der Kupferabbau Teching ist wohl zur Zeit der zweitgrößte Tagebau der Welt. Dort werden zur Zeit pro Tag zwischen 60.000 und 100.000 Tonnen

Kupferkies abgebaut, werden transportiert und zerkleinert. Das gibt einen Anfall von 100 % tail liquors und man hat Reservoirs aufgebaut, .... **nicht rekonstruierbar** ....., das ist noch die Methode, daß 1000 Chinesen mit Tragekisten, an der Seite das verwitterte Gestein ablagern, und dann geht es weiter. Die Kupferkonzentration ist 0,3 % und wenn die Elektrizität ausfällt, das passiert dort sehr oft, dann werden die tail liquors nicht in die Teiche geleitet, sondern in den Fluß.

Das ist alles unvorstellbar groß. China erzielt bereits den Eigenbedarf an Kupfer, das Ziel ist natürlich, zu exportieren. In den anderen großen Kupferbergbauen, da wird ja jetzt dauernd gestreikt, es gibt Probleme. Hier könnte China der größte Kupferproduzent der Welt werden. Wir waren seinerzeit im Zuge des UNESCO-Programmes dort, das heißt, bezahlt wird es 100% von Deutschland. Von Taching, dem Bereich der Kupfermine, fließt ein Fluß in den Mojang-Fluß. Dieser Mojang-Fluß geht schließlich in den Pojang-See, der wiederum in den Jangtse entwässert. Nun muß man wissen, daß dieser Pojang-See der größte Trinkwasserspeicher und das beste Fischereizentrum Chinas ist. Als wir mit den Chinesen das besprachen, sagten die, ja, wir müssen die Umweltbelastung hier in diesem Bereich untersuchen. Doch dies ist nicht notwendig, das wissen wir, da ist nichts mehr zu machen. Wir müssen sehen, wie wird das Kupfer transportiert, was passiert in dem See und was in dem Überschwemmungsgebiet.

Nun kommt noch hinzu, daß auch an anderen Zuflüssen Blei-Zink-Minen liegen, und im Fluß selber wird noch Gold gewaschen, mit der Amalgam-Methode. Sie können sich vorstellen, wie das dort zugeht. Wir haben dort riesige Körper, die abgebaut werden (Kupferkies ist das wichtigste Begleitmineral) die in der Verwitterungszone schon so oxydiert sind, daß saure Lösungen überall stromabwärts gehen, die werden dann in besonderen Teichen wieder aufgefangen und gelangen auch direkt in den Fluß.

Wir haben hier den Loang-Fluß, der die Wässer aufnimmt, hierhin fließen die Wässer vom oxidierten Erzkörper, von den Halden

ohne weiter Behandlung hinein, und hier ist das berühmte Temit-Reservoir, von dem auch etwas ausläuft. Der pH-Wert wechselt zwischen 2,4 und 2,6, das ist also Schwefelsäure. Riesenseen sind das, braun gefärbt und da sind über 2-3g Gesamteisen gelöst, z.T. auch zweiwertiges Eisen. Mangan ist nicht soviel drinnen, aber sie sehen Aluminium in Lösung und Kupfer mit 120 mg/kg.

Die tüchtigen Chinesen haben sich in privaten Gruppen und Familien, zusammengetan, haben eine ganz einfache Pumpe und pumpen jetzt aus diesen "Essigreservoirs" das braune Wasser hoch. Sie haben Treppchen gemacht, in diese füllen sie Eisenschrott. Den ganzen Tag laufen sie nur herum und bewegen den Schrott. Der überzieht sich dann mit elementarem Kupfer - in der Schule haben wir das auch gemacht mit Eisennägeln in der Kupferlösung - und sie machen das beste Geschäft. Sie rütteln das, daß immer eine frische Oberfläche entsteht und sich das Kupfermetall am Eisen abscheidet, und das verkaufen sie. Das wäre die einfachste Gewinnung, das könnte man von der Regierungsseite her auch großtechnisch machen, aber das ist noch nicht drinnen. Nur der Kleinkapitalismus, der arbeitet jetzt schon. Die holen also hier das Kupfer heraus, und diese Soße, die fließt da in den Fluß selbst.

Wir sehen im Loangfluß diesselbe Konzentration. Hier in Farbe dargestellt der Index der Geoakkumulation, den sie jetzt schon kennen. Wir haben die Korngröße auch noch aufgetragen und da sehen sie ab einem bestimmten Punkt daß Kupfer von grün ind gelb geht und hier bereits knapp an orange dran ist. Nach oben geht es wieder zurück, aber wir sehen deutlich eine Entwicklung, den Beginn des Bergbau, dann intensiver, 30.000 Tonnen, dann 60.000 Tonnen und jetzt sind wir etwa bei 100.000.

Hier die klassische Entwicklung, daß wir hier schon 200 km stromaufwärts die hohen Kupferkonzentrationen, sie sehen es geht bis 0,1 %, haben. Bei Zink ist die Entwicklung ähnlich, Blei spielt keine Rolle, aber bei Cadmium, ich sagte ja, daß in einem der Nebenflüsse eine Zink-Mine, wo das Cadmium

anfällt, liegt. Aluminium nehmen wir als das Bezugselement mit. Das ist also jetzt 2/3 stromabwärts, und wenn wir jetzt unmittelbar an die Mündung des Pojang gehen, ist die Verdünnung schon viel wesentlicher, aber wir sehen immer noch dasselbe Bild, hier wieder bezogen auf die Korngröße, daß sich das Kupfer sich von 0 auf 1 bewegt, auf 2 und hier die Klasse 3 erreicht. Also dasselbe Bild, hier nur stärker abgeschwächt. Dasselbe sehen wir auch bei Zink hier, d.h. wir haben immer noch eine Erhöhung, um mindestens 2 Klassen, wenn wir jetzt das Bild vom Pojang selbst sehen, das war den Chinesen leider lange nicht bewußt.

Das ist jetzt die Situation im See selbst, da sehen wir, daß praktisch insgesamt zwar die Verdünnung noch größer ist, aber immerhin wir sehen, daß auch hier eine Zunahme zu verzeichnen ist, daß mindestens eine Verdoppelung bis Vervierfachung der Konzentrationen eingetreten ist, beim Kadmium noch etwas stärker. Diese Untersuchungen waren vor 3 Jahren und wir sind gespannt, was jetzt passiert, nachdem die Produktion weiter erhöht worden ist. Inzwischen sind auch bioökologische Studien durchgeführt worden.....**nicht rekonstruierbar....**

## DISKUSSION :

## Schwermetallgehalte in Fluß- und Seeablagerungen als Spiegelbild der historischen Entwicklung

### Weltweite Beispiele - Entsorgungsfragen

**KALLENBACH:** Blau ist ja die Farbe der Hoffnung und wenn Sie diese Farbe für die geringste Belastung gewählt haben, so soll dies ein Zeichen sein, an Umweltfragen nicht nur negativ heranzugehen, dort wird ja immer Pessimismus an den Tag gelegt. Und Sie gehören zu den Wissenschaftlern, die bereits einen Optimismus austrahlen, d.h., Sie zeigen, daß bereits mit einigen sinnvollen Eingriffen tatsächlich eine Wendung zum Besseren eintritt, und das dürfte eine sehr große Hoffnung für die Zukunft sein. Damit können wir in die Diskussion eintreten, ich darf um Wortmeldungen bitten.

**HENRICH:** Ich habe eine Frage zum Bodensee und zum Rhein als Zufluß des Bodensees. Wie ist denn die Qualität des Rheins oberhalb des Bodensees und was macht die Trinkwasserqualität des Bodensees aus ?

**MÜLLER:** Wir haben selbst vor 30 Jahren zum erstenmal in Lustenau mit Hilfe der österreichischen Rheinbauleitung einen Doktoranden eingesetzt, der täglich Wasserproben genommen hat, auch Sedimentproben, und in der Zwischenzeit ist die Qualität des alten Rheinwassers gleich gut geblieben. Es war lediglich ein Anstieg der Chloridkonzentration von 2 auf 5 ppm zu verzeichnen, das ist lächerlich; der Nitratgehalt ist gering gestiegen, aber insgesamt ist die Qualität sehr gut.

**HENRICH:** Ist es richtig, daß der Verlauf des Rheins im Bodensee deutlich sichtbar ist?

**MÜLLER:** Ja, das ist der berühmte Rheinbrech an der Rheinmündung. Zunächst hat der

Rhein nach der Schneeschmelze kaltes Wasser, 6-7 Grad nur, während das Oberflächenwasser des Bodensees bereits auf 16-17 Grad aufgewärmt ist. Dazu ist der Alpenrhein mit Schwebstoff hoch beladen und man kann also, das hat man damals auch analytisch gemacht, die Einzugsgebiete an der Farbe erkennen. Sie können dann wirklich sehen, auf den Zentimeter genau, wie sich der Rheinstrom hineinschiebt in die Wassermasse des Bodensees. Und alles Material, das er mitbringt, Plastikflaschen, Wurzeln, Baumstämme, das bildet einen Saum, daß also die Stelle wo der Rhein in den Bodensee hingeht, tatsächlich markiert ist. Das Tiefenwasser des Bodensees liegt ja das ganze Jahr über bei 5°C und erst im strengen Winter kommt es zur thermodynamischen Zirkulation. Das Oberflächenwasser, das kann bis 25, 26°C erreichen,

Dort gibt es die gefährlichen sogenannten "Saiches", die entstehen können. Man hat gemessen - das waren Heidelberger Physiker -, daß hier riesige, stehende Wellen entstehen, und es kann Ihnen passieren, daß Sie als Schwimmer von 24°C plötzlich auf 4°C kommen. Das könnte einen Herzschlag bedeuten. Das sind also solche Wellen, wo das Tiefenwasser etwas hochgedrückt wird und sich dann langsam wieder absenkt.

Die Entnahmestelle für die Trinkwasserversorgung im Bodensee liegt in 50 m Wassertiefe und ist mit einem riesigen Monitorprogramm versehen, da sind Kameras, die unten die Einsaugöffnung zeigen, wobei sich Muscheln gerne auf das Rohr absetzen. Alle

halben Jahre kommt dann ein Taucher, geht runter und putzt dieses Sieb ab. Dann wird das Wasser hochgepumpt auf den .....*berg* und dann geht die Bodenseewasserleitung bis Stuttgart und weiter bis fast vor meine Haustüre. Wir brauchen sie noch nicht, aber in dem Moment, wo bei uns Wassernotstand wäre, würde man einfach den Anschluß an die Bodensee-Wasserversorgung bekommen - ein hervorragendes Wasser, Härtegrade 7-8 und Nitrat sehr niedrig. Das ist beinahe eine Medizin.

FRAGE: dt.Akzent(?): Warum ist eigentlich die Kalkfällung erhöht bei einer Eutrophierung, das hatten sie am Anfang?

MÜLLER: Das ist praktisch die Geschichte mit dem Bikarbonat, die nur in Abwasserseen passiert, wie dem Bodensee. Da haben wir eine hohe Kalziumkonzentration. Die gesamte Phytoplanktonmasse - es gibt diese Algenblüten und da beobachtet man, wie weiße Wolken entstehen - entzieht schlagartig CO<sub>2</sub>, dann wird die Löslichkeit durch Calzit so herabgesetzt, daß sich plötzlich Calzit bildet und es bildet sich jetzt eine neue Fazies. ....*tw.* nicht rekonstruierbar:

Im Flachwasserbereich und im .....*see*, da hatten wir immer schon einen Untersee, da gibts ja diese ganzen .....*gewächse*, wir haben Caraceen(?), und diese .....*knollen*. Da haben sich bis zu 30 cm große Stromatolithe gebildet. Also Süßwasservorkommen vom Bodensee ist schon ganz gewesen. Aber im Obersee können sie sehen, daß die Entkalkung vor sich geht und das ist vielleicht das Interessante, daß das tatsächlich ..... für CO<sub>2</sub> ist. Es ist eine Senke, daß durch Eutrophierung die Kalkfällung einsetzt.

FRAGE: Im Bodensee sollen über 4.000 Benzinmotor-betriebene Boote und Schiffe fahren. Ist das nicht auch wesentlich für die Verschlechterung?

MÜLLER: Nun, es gibt sogar 30.000. Wir waren gutachterlich, sozusagen gerichtskundig tätig. Man hat diese ganze Geschichte völlig falsch aufgezogen. Man will ja eigentlich wegen der Ruhe und dem Erholungswert des Bodensees verhindern, daß tausende Boote bei

schönem Wetter durcheinanderbrummen und Lärm machen. Das mit der Lärmsache hat man nicht durchgekriegt und da kam auf die Idee daß man sagt, was passiert, die Zweitakter-Motoren sind ja Dreckschleudern. Nun, in der Zwischenzeit gibt es reines, pflanzliches Zweitakteröl. Also gilt die Argumentation eigentlich nicht mehr. Es sind keine Kohlenwasserstoffe mehr in diesem Sinne. Jetzt hat man gesagt, es sind die Sedimente, da sammelt sich das. Da haben wir gemeinsam mit den Schweizer Kollegen kontrolliert und es zeigt sich, der durch die Flüsse eingebrachte, also der "Auto-Kohlenwasserstoff", ist ja hundertmal mehr als selbst 1000 Motorboote liefern, selbst die Uferstraße geht um den See herum und wird abgewaschen. Das spielt keine Rolle, sodaß es also kein Grund ist. Dann hat das Gericht folgendermaßen entschieden: wir sehen ja ein, daß es ein Hunderstel ist, aber das genügt auch schon, um Motorboote zu verbieten, da ja nicht abgestritten werden kann, daß von den Motorbooten auch etwas kommt, und das genügt für die Rechtsprechung. Das ging dann durch alle Instanzen. Es hat Jahrzehnte gedauert bis man ein Schutzzone für Motorboote gemacht hat. Die Straße von Ludwigshafen nach Überlingen ist die meistbefahrene Straße des Gebietes, im Sommer sind in jeder Richtung 50.000 Auto. Die Straße geht direkt an der Entnahmestelle vorbei und jeder schiebt die Schuld auf den anderen.

SCHROLL: Was können wir tun, um diese naturwissenschaftlichen Erkenntnisse in die Praxis umzusetzen, letztlich auch in die politische Praxis. Es geht ja letztlich alles über Regulierungen des Staates. Wir haben ja ein Negativbeispiel, die alte DDR, die kommunistische Gesellschaft, die ja ausgesprochen naturwissenschaftlich-technologisch ausgerichtet war. Auf der anderen Seite waren da hervorragende Wissenschaftler, Geochemiker, wie zum Beispiel *HEIM(?)*, der als erster in den Flußwässern Analysen aus Schwermetallen durchgeführt hat. Auf der anderen Seite gab es Leute wie in Freiberg *LEUTWEIN*, die alle diese Schweinereien publiziert haben, und der politisch damals fast unter die Mühle gekommen ist, z.T. ist ihm das als Sabotage ange-

rechnet worden. Das ist eine Frage, die wir aufwerfen müßten. Es kostet ja gerade in der Umweltpflege alles Geld, und es gibt vernünftige und auf der anderen Seite unvernünftige Maßnahmen. Meiner Meinung nach werden gerade auf diesem Sektor viele Milliarden hinausgeschmissen, wo wir heute sparen müßten.

MÜLLER: Sie haben völlig recht. Ich glaube, das hängt mit der Berufszusammensetzung unserer Bundestagsabgeordneten zusammen. Wenn ich unsere nach Berufen gruppiere, dann finde ich 48 % Beamte, 30 % Studienräte und es sind praktisch keine Naturwissenschaftler, keine Chemiker, kaum ein Ingenieur dabei. Und dort werden aber Entscheidungen getroffen und diese sind oft sehr unsinnig.

Ein Beispiel die Schwermetalle betreffend: Im südlichen Deutschland gibt es echte Grenzwerte, keine Richtwerte, sondern Grenzwerte für Boden und Klärschlamm, die juristisch einklagbar sind. Nun hat der sehr nette Herr KLOKE die Bodengrenzwerte einfach gesammelt und der Gesetzgeber hat gesagt, wir haben 1 bis 50ppm, also nehmen wir 50ppm als Obergrenze. Der Herr KLOKE kann gar nichts dafür, der distanziert sich auch davon und sagt auch, daß keine Böden dabei sind wie etwa die auf Posidonienschiefer. Wir haben überall im Keuper, auch oft in der Kreide dunkle Sedimente. Und dunkle, unter anoxischen Bedingungen abgelagerte Sedimente, sind nun einmal solche, die Schwermetallgehalte über 50 ppm haben. Wir haben auch geogene Konzentrationen von 100, 120 ppm, die völlig normal und diese Böden sollen jetzt völlig ungeeignet sein nach der Festlegung dieser strengen Grenzwerte?

Wir haben gekämpft, und wir haben gesagt, das muß anders ausgelegt werden, und uns wurde erwidert "ja, aber das würde jetzt den Eindruck erwecken, daß man versuchen würde aus irgendwelchen Gründen der Industrie den Grenzwert zu erhöhen". Und deshalb ist das nicht durchgegangen. Der Grenzwert für Nickel steht bei uns ist immer noch mit 50 ppm fest. Bei Ihnen in Österreich haben Sie wahrscheinlich auch dunkle Triassedimente, wenn sie dort eine Mischkonzentration

nehmen, dann haben sie von vorneherein über 50 ppm. Das ist also absolut lachhaft. Aber das umsetzen, ist jetzt sehr schwierig, weil wir ja faktisch Verbände haben, wir haben die Grünen, wir haben die Rot-Grünen, die Grün-Roten und wir haben noch die Verbände vor Ort. Ich selbst bin seit über 25 Jahren Mitglied unseres Gemeinderates und auch dort ist es so, daß ich selbst die Leute kaum überzeugen kann. Es ging darum, daß man im Abwasserzweckverband sagte, wir wollen eine Trocknung des Klärschlammes haben, denn den kann man dann an die Zementindustrie verkaufen. Die Trocknung ist bereits die Vorstufe für die Verbrennung und wir sind gegen eine Verbrennung. Die Trocknung wurde dann doch durchgesetzt, aber trotzdem, es gibt Dinge, die kriegen sie nicht rüber. Im Moment hat man gegen die Verbrennung gekämpft und daß man den Klärschlamm der Landwirtschaft zuführt, wie es absolut sinnvoll wäre, das läßt sich einfach nicht durchsetzen. Es ist zu hoffen, daß es jetzt durch die Deponiepreise geht. Meine Gemeinde zahlt jetzt genau 500 Mark für Deponiegebühr pro Tonne. Das Pressen kostet viel Geld, das Konditionieren, der Transport. Wir zahlen für das Wasser 1,50 Mark und für das Abwasser 4,50 Mark. Das ist ein politisches Problem. Die Naturwissenschaftler können sich nicht durchsetzen und haben eigentlich kein Sprachrohr.

KALLENBACH:....tw. nicht rekonstruierbar... Die Frage zum .....eintrag, sie haben aufgezählt die Limo(?). Nun ist das ja ein größeres Problem, daß das Grundwasser stark belastet. Ist dort nicht möglich mit Absprachen ..... zu verhindern ?

MÜLLER: Vor ein paar Wochen war ein Kolloquium in Karlsruhe über urbane Einträge in das Gewässersystem. Dort hat man Prinzipien aufgestellt, daß für jede Fläche, die zuzementiert wird, irgendein Ausgleich geschaffen werden muß und daß man mehr für die Versickerung sorgt. Allerdings erhebt sich die Frage, wenn das Wasser, das hineinkommt schon sehr stark belastet ist, auch das Regenwasser, dann hat es eigentlich auch nicht viel Sinn, denn die Kapazität von Böden für die Aufnahme von bestimmten Schadstoffen ist ja

auch limitiert und man hat das Teufel-Belzebub-Prinzip. Bei den Düngemitteln ist es so, daß man im Moment sich auf Phosphate und Nitrate konzentriert, bei den Schwermetallen wissen wir, daß sie miteingetragen werden, das Cadmium etwa, auch das Arsen, und beträchtliche Konzentrationen aufweisen.

Bei den Waschmitteln wird aus den ersten unsauberen Rohphosphaten jetzt sozusagen elementar Phosphor hergestellt und mit dem dann wieder Phosphat hergestellt. Sie können sich vorstellen, was das kostet. Bei den Waschmitteln, da tut man es, weil dort die Schwermetallkonzentrationen zu hoch wären. In Deutschland brauchen wir im Moment 1 Mio. Tonnen Waschmittel pro Jahr und die gehen ja alle mehr oder weniger über die Kläranlagen und was übrig bleibt, geht in die Gewässer.

**FRAGE:** Man muß natürlich auch die Summationswirkung bedenken, das summiert sich ja alles.

**MÜLLER:** Ich bin kein Universalspezialist. Es hat sich herausgestellt, daß die Schadstoffe im Boden von der Pflanze ja gar nicht aufgenommen werden. Sie sind aber sehr wohl auf der Pflanze darauf. Seinerzeit, als Tschernobyl aktuell war, ging eine Panik durch Deutschland, daß manche Leute glaubten, sie können nichts mehr essen. Wir haben dann unsere Nachbarn überrascht weil wir Ihnen sagten, Sie haben so schönen Spinat, so schönes Kopfgemüse, wir nehmen das. Die Nachbarn sagte, Sie vergiften sich ja. Wir sagten, nein, wir waschen das sauber, das ist alles auf der Pflanze. Das wird oft verwechselt. Deshalb ist auch die Aufbringung von Klärschlamm auf Gras und Weideflächen verboten. Auch im Wald ist es verboten. Es gibt keine Methode, um das in den Boden einzuarbeiten, die Wälder sind meistens am Hang und beim nächsten Regen würde es den ganzen Klärschlamm wieder talabwärts bringen. Genauso darf man ihn nicht aufbringen, weil die Schadstoffe dann auf den Pflanzen sind und von den Kühen direkt gefressen werden. Ansonst ist es durch unzählige Versuche und landwirtschaftlichen Untersuchungen erwiesen, daß es keinen oder nur geringen Transfer von

Schadstoffen in die Pflanze gibt, mit Ausnahme der Schwermetalle. Insofern gibt es eine Berechtigung, daß wir diese Schwermetalle weiter untersuchen. Wenn Sie durch Inhalation den Tabakrauch aufnehmen, dann sind Sie selber Schuld und es ist ein bewußtes persönliches Risiko, daß Sie da eingehen.

**WIMMER:** Gestatten Sie mir eine Anmerkung zum Klärschlamm. Ich glaube, daß man derzeit und in absehbarer Zeit davon ausgehen muß, daß die Einträge von Schwermetallen in den Boden die Austräge über das Sickerwasser, Biomasse usw. übersteigen. Das heißt, wir haben ein reales und großräumiges Akkumulationsproblem.

Nun kann man Böden bei unterschiedlichen Schwermetallkonzentrationen landwirtschaftlich ganz gut bewirtschaften. Ob Sie jetzt 50 oder 4.000 mg/kg Blei im Boden haben, sie können noch immer Getreide oder Wiesengras ohne nennenswerte Schwermetallbelastung ernten.

Die Frage, welchen Boden (im Sinne: welche Schadstoffgehalte im Boden) wir haben wollen, ist damit letztendlich nur über eine politische bzw. gesellschaftliche Wertsetzung zu entscheiden. Ich glaube, daß als Grundlage dieser Wertsetzung das Vorsorgeprinzip am vernünftigsten ist. Nach diesem gilt es, die Schwermetallbelastung von Böden möglichst gering zu halten, möglichst ein Gleichgewicht zwischen Eintrag und Austrag zu halten.

Im Hinblick auf eine Grenzwertsetzung läßt sich weiters aussagen, daß beim genannten Nickel bei Gehalten von 30, 50 oder 70 ppm - unabhängig ob geogen oder anthropogen - im Boden bereits erste negative Effekte möglich sind.

Die Frage nach Bodengrenzwerten für Schwermetalle im Hinblick auf die Klärschlammausbringung scheint mir daher sehr einfach beantwortbar: der Gesetzgeber etwa in der OÖ Klärschlammverordnung wollte mit einem Bodengrenzwert von 50 ppm für Nickel keine negativen Auswirkungen in Kauf nehmen, oder zumindest keine Verstärkung negativer Auswirkungen. Ab 50 ppm also kein Klärschlamm mehr, aber auch keine Ein-

schränkung der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Ich sehe an dieser Vorgangsweise, auf geogen "vorbelasteten" Böden keinen Klärschlamm mehr aufbringen zu dürfen, an und für sich noch nichts Falsches. Zu berücksichtigen sind ja ohnehin auch noch die anderen verbleibenden Schadstoffeintragswege.

Noch eine zweite Anmerkung zur Klärschlammproblematik: Es hat sich bei einer großen OÖ Untersuchung herausgestellt, daß ein Hauptanteil des Schwermetalleintrages in Böden aus landwirtschaftlichen Wirtschaftsdüngern stammt. Hier können vor allem Kupfer und Zink, aber auch der Zinkbegleiter Cadmium Einträge erreichen, die erheblich über dem des Klärschlammes liegen.

Man soll die Klärschlammfrage also nach keiner Seite eindimensional sehen. Worauf es ankommt, ist der Gesamteintrag in die Böden. Es ist daher richtig, daß die Klärschlammfrage noch lange nicht der gesamten Bodenschutzproblematik entspricht. Das heißt aber keinesfalls, daß man nicht auch für Klärschlamm entsprechende Vorschriften erlassen kann.

MÜLLER: Zur ersten Frage: Es geht darum, daß man Grenzwerte nicht einfach stur festlegt, wenn Sie beispielsweise Spinat anbauen, dann müssen sie sehr akkurat sein, der Transferfaktor liegt bei 10, also 1 mg im Boden, 10 mg im Spinat. Vielleicht ist das auch der Grund, wieso Kinder Spinat nicht so gerne essen, das gilt übrigens auch für Petersilie oder für Tabak. Alle Raucher unter ihnen wissen, daß nicht nur das Benzoopyren sondern das Cadmium Sie in höhere Bereiche abfliegen läßt - früher wie bei anderen, das ist sicher. Das Cadmium spielt da eine große Rolle und ist krebserregend. Das ist vielleicht der gravierendste Schadstoff, den Sie da inhalieren.

FRAGE:(?) Jeder kratzt die Kurve um das geomedizinische Gebiet, weil es da nicht auf Gehalte und auf Bildungsformen ankommt, sondern auf begleitende Elemente. Man weiß z.B. daß die Giftigkeit von Chrom steigt, bei Anwesenheit von mehr Zink und Nickel, oder man kann das Zink drücken. Es gibt in Wales ein Gebiet über 50 Quadratkilometer, die haben im Schnitt 500 ppm Cadmium im

Boden, Landwirtschaftsgebiet mit Gärten usw. und die Leute sind alle pumperlgesund. Das kann nur an begleitenden Elementen liegen, die die Wirkung von Cadmium drücken.

MÜLLER: Und an der Verfügbarkeit. Wir haben nahe bei Heidelberg, die Lagerstättenkundler wissen das, Wiesloch, das ist eine ganze berühmte Blei-Zink-Lagerstätte, mit dem Begleitelement Thallium in riesigen Mengen, mit Cadmium in riesigen Mengen und dazu noch Arsen. Das ist heute der "hot-spot" für Schwermetalle, dort sind quasi die Böden, die Cadmiumkonzentrationen über 30 ppm aufweisen und riesige Thalliumkonzentrationen, und das einzige, was man dort gemacht hat, ist, daß man jedes Jahr diese Karte publiziert, in der dort den Gartenbesitzern angeraten wird, z.B. kein Blattgemüse anzubauen, und man fragt jetzt, welche Pflanzen nehmen das jetzt spezifisch auf. Da wissen wir, daß ist das Blattgemüse, auch der Spinat - deswegen hat man als Kind schon keinen Spinat gegessen - , der Tabak und die Petersilie. Gut, die Petersilie können sie vergessen, die essen sie nicht kiloweise jeden Tag, aber man baut diese Pflanzen, auch Kohl, nicht an und statt dessen Erdbeeren und Beerenoast in Massen. Es gibt also diesen Transferfaktor.

Auf was ich hinaus will ist, daß die Bindungsart das Entscheidende ist. Wenn Zinkblende noch unverwittert drinnen ist, geht das Cadmium eben auch nicht raus. Ich habe vor 8 Tagen mit Prof. KLOKE, der die Kloke-Werte in den Böden erfunden hat, gesprochen und er sagt, wenn wir schon nicht an das Metall herankommen, gibt es aber von jeder Pflanze bestimmte Arten, die das Cadmium oder ein anderes Metall besonders gerne aufnehmen. Bei Weizen ist es so, daß der Unterschied von der einen Weizensorte zur anderen um den Faktor 10 ist. Es gibt bereits Kurven und Daten darüber. Ich weiß nicht, ob es einen Spinat gibt, der wenig aufnimmt, wahrscheinlich gibt es nur den einen Spinat. Aber bei Weizen kann man das machen. Das wäre auch wieder vorbeugend, und bei Tabak ist es ohnedies ein besonderes Kapitel mit dem Cadmium. Den können sie als Testpflanze für Cadmium nehmen, das hat man ja auch

gemacht, weil der ein Cadmiumakkumulator ist. Dort haben sie einen Transferfaktor bezogen auf Trockengewicht Boden zu Tabakpflanze zu Blatt von 10. Also 10-fach mehr finden sie in der Pflanze als im Boden, bei Quecksilber ist der Transferfaktor 0,01. Also kann man sagen, Quecksilber geht nicht in Tabak, weil der Transferfaktor zu gering ist. Chrom zunächst auch nicht, aber wenn sie Chrom-6 haben, dann gehts schnell.

TONNER: Ich möchte zum Problem der Aufwirbelung bzw. Rücklösung etwas beitragen. Der Versuch ging in Ordnung, nur haben wir gegen unseren Willen eine Besiedelung mit Tubifiziden hereinbekommen. In dem Augenblick, wo die Besiedelung da war, da ging die Rücklösung .....nicht rekonstruierbar.....

MÜLLER: Da gibt es den berühmten Herrn im Institut von Langaalen, den Herrn ZAHN, er ist leider früh verstorben, der hat mit Tubifex gearbeitet und hat das sogenannte Zahnodrom, so hieß es dann, entwickelt. Der hat in diesem Zahnodrom die Bedingungen des Bodensees in 200 m Wassertiefe nachgemacht. Den Tubifiziden geht es genauso gut da unten, beinahe wie oben. Der hat festgestellt, daß sich die Tubifizide bis 13 cm im Sediment durchwühlen, daß diese oberste durchlüftete Zone eine große Rolle spielt. Deswegen gibt es diese geschichteten -Schichten nur, wenn sie gesehen haben, wo das Wasser drüber schon eine gewisse Giftigkeit hat.

LEILER: Wenn sie an die technische Immobilisierung denken, mit Schlämmen, wo auch Karbonat drinnen ist, welche Funktion hat das Karbonat? Reiner Puffer für den pH-Wert oder glauben sie auch, daß es hier zu Schwermetallbindungen kommt mit Karbonat?

MÜLLER: Ich möchte umgekehrt sagen, vor 10 Jahren hatte ich damals aus unserer Kenntnis mit diesen Schwermetallen im Neckar ein Verfahren entwickelt, daß diesen Säurelösung von Metallen aus Schlämmen zum Inhalt hat. Das ist sogar soweit gegangen, daß ich damals sogar daran verdient habe, da ich den Philip-Morris-Hoffnungspreis mit 30.000 Mark bekommen habe, da waren die Leute wieder interessiert. Es wurde eine Versuchsanlage in

Hamburg für 2,5 Mio gebaut und es geht, über Flugstaub, Böden, über Schlämme, können sie entgiften jetzt mit Cadmium und der Trick daran ist,....tw nicht rekonstruierbar...das Säureli....., das kann jeder machen, aber daß man, wenn man chemisch interessiert ist, weiß man, daß, wenn man in die Restlösung CO<sub>2</sub> einleitet, daß ..... entstanden ist, das Karbonat auflöst, dann gibt es eine Nachfällung. Es bildet sich Calcit. Calcit bindet wegen der Ionenidentität Ionen mit Ionenradius 1 und kleinere Ionen, also Cadmium, Zink, Kupfer, Nickel, Kobalt, alles können Sie mit in den Calcit einbauen, und damit haben sie die Restlösung und die können sie wieder in den Fluß einleiten. Das Blei geht nicht rein, das Blei hat einen größeren Ionenradius, das Blei geht in die Aragonitstruktur. Wenn sie also das fertigbrächten, bei bleiver-sauten Lösungen Aragonit auszufällen, dann hätten Sie auch das Blei raus. Calcit wird eingebunden und es gibt eine Mischkristallreihe zwischen dem Calcit und dem Cadmiumkarbonat, der Otavit. Damit wäre das eine chemische Inertisierung. Wenn das Karbonat schon drinnen ist, hat es in erster Linie eine Pufferfunktion, daß es eigentlich die Säure abpuffert.

LEILER: Wenn es drinnen ist, hat es hauptsächlich eine Pufferfunktion ?

MÜLLER: Ja, es hat die Pufferwirkung. Wenn es nicht drinnen ist, muß man es dazu-geben, das wird man bei sauren Böden sowieso machen. Das zeigen auch unsere Bodenuntersuchungen im Rhein-Neckargebiet, daß Böden, die einen pH-Wert von 5 oder 4 haben müßten, alle 7 haben. Das sind die agrarischen genutzten Flächen, die werden künstlich aufgekalkt, und damit arbeiten sie eben in der fruchbaren Rheinebene, das ist ja praktisch eine einzige große Gärtnerei. Aber das ist künstlich. Normalerweise sind das Sande.

Man liest jetzt von der Dioxin-Konzentration in der Muttermilch (in Deutschland ist sie jetzt wieder zurückgegangen). Die Münsterianer Lebensmittelchemiker haben damals die hohen Konzentrationen an DDT und PCP in der Muttermilch gefunden. Trotzdem mußten sie gleichzeitig sagen, sie empfehlen den Müttern nicht, die Muttermilch abzustellen, sondern

weiter zu stillen. Die positive Wirkung der Muttermilch ist soviel größer.

**FRAGE:** Beim Säugen entgiftet sich der Organismus der Mutter.

**MÜLLER:** Die organischen Schadstoffe sind fettlöslich und reichern sich im Fett an; die Muttermilch ist besonders fettreich. Bestimmte Stoffe reichern sich aber in den Knochen an, zum Teil kann es bei Schwermetallen so sein oder bei radioaktiven Stoffen, die sind hundertprozentig in den Knochen drinnen oder, bei Quecksilber, in den Haaren. Es gibt bestimmte Pfade, wo im Körper bestimmte Anreicherungen stattfinden. Gerade die Cadmium-Geschichte für die Raucher, der größte Teil wird vom Urin abgegeben, ein großer Teil bleibt aber über lange Zeiträume im Blut, und ein großer Teil reichert sich in der Nebennierenschale an. Dort kommen dann die Nierenschäden

Ich selber hatte aus heiterem Himmel eine Hüftkopfnekrose. Ich konnte nur mehr an 2 Stöcken laufen. Die Röntgenaufnahme zeigte, daß der Hüftkopf praktisch am Zerfallen war. Ich war damals in China zu Vorträgen eingeladen und ich sagte, ich kann eigentlich nicht reisen. Aber wenn ich dort zu einem guten, traditionellen Arzt komme, dann mache ich die Reise. Als ich in China ankam, wurde ich als erstes zu dem wohl bekanntesten Arzt, gebracht, kein Barfuß-Doktor, sondern einem wirklichen Mediziner, der aber auch die traditionelle Medizin, die chinesische Pflanzenheilkunde kannte, und der auch diesen amerikanischen Politiker mit Erfolg behandelt hat. Ich wollte Röntgenaufnahmen vorlegen, er hat nur abgewinkt und gesagt, er mache eine Pulsdiagnose. Er sagte gleich, ich bräuchte nicht operiert zu werden, er verschreibe mit einer Mixtur von verschiedenen Kräutern, alles von Partensinensis-Arten und gleich am nächsten Morgen kaufen sie in der Apotheke einen 1-2 - Jahresvorrat; die Mixtur setzen sie in Alkohol an, die schmeckt dann wie Jägermeister und jeden Morgen und Abend nehmen sie davon. Nach 4 Wochen konnte ich die eine Krücke weglassen und nach einem Vierteljahr konnte ich wieder normal laufen. Ich merke zwar noch, daß ich

einen Hüftkopf habe, an dem einmal was war, die Röntgenaufnahmen haben gezeigt, die eingedrückte Stelle ist noch da, aber das schadet nicht. Ich habe das unseren Medizinern in der Orthopädie gesagt und der Oberarzt hat gesagt, um Gottes willen, erzählen sie das bloß nicht meinem Chef, der schmeißt sie raus. So ist das. Dann sagt er mir, erstaunlich ist, daß im Raum Heidelberg eine besondere Anreicherung von Nekrosen sei, von Hüftkopfnekrosen, das habe aber nichts mit Arthrosen zu tun. Es kommt zum Knochenzerfall, sagte er mir, aber wir sind gute Mechaniker, wir sägen einfach unten ein Stück ab, erst bearbeiten wir die Hüfte, damit kommt eine andere Belastungsstelle, nach einem Jahr ist diese Hüfte auch wieder eingedrückt, dann wird wieder operiert. Aber wir kennen nicht die Ursache. Da sagte ich, machen wir einmal folgendes, sie operieren dauernd die Nekrosen, nehmen sie die Hüftköpfe heraus, nehmen sie vom morschen Teil eine Probe und vom heilen Teil. Wir hatten 12 Proben, also 12 Hüftköpfe, 11 davon hatten extrem hohe Cadmiumkonzentrationen. Jetzt ist natürlich nicht das Cadmium direkt Schuld an diesen Hüftkopfnekrosen, sondern es wird durch die Niere durchgelassen. Die Niere hat ihre Funktion als Kläranlage für Schwermetalle nicht mehr und läßt diese Schadstoffe in den Knochen rein. Der zerfällt dann an der Stelle, wo er belastet ist. Der chinesische Arzt behandelte nicht die Wirkung, sondern die Ursache und Ärzte, die ich mit seiner Medizin konfrontiert habe, sagten, diese Kräuter hätten eine ausgesprochene Wirkung auf die Niere. Die Medizin hat ungefähr 20 Mark für 2 Jahre gekostet, der Arzt, ich hatte nichts dabei, hat meinen Knirps bekommen, und ich kann wieder laufen. Was die Schulmedizin dazu sagt, kann ich eigentlich nicht erzählen, ich habe manchmal den Spitznamen "Cadmium-Müller". Statistisch sind die Fälle noch nicht ausreichend, es ist also nicht publiziert worden, und es ist mein Geheimnis, aber ich erzähle es überall.

Ich habe gerade eine neue Zusammenfassung über Hyperakkumulation betreffend Schwermetalle. In Holland probiert man das auf Testfeldern. Es gibt Pflanzen, die in der Asche bis

zu 6 % Zink beinhalten können, bis zu 1 % Cadmium gibt es auch, denken sie an das Galmeiveilchen. Aber da zeigt sich sehr schnell, als erstes, was macht man mit dem Angebauten, das kann man ja auch nicht einfach verbrennen. Das zweite ist, daß der Anfangserfolg recht gut ist, aber sie kommen zum Schluß nicht unter den Grenzwert, den sie erreichen wollen. Eine wirtschaftliche Berechnung zeigt, daß das teurer ist, als jede andere Maßnahme.

Dann gibt es anderes. Die Holländer mischen "Beringit" bei. Sie haben von den Halden der Steinkohleaschen von Maastricht in Belgien Material entnommen, gemahlen, und auf 1000°C erhitzt und bekamen ein Produkt, das die Schwermetalle bindet. Dasselbe erreichen sie auch, wenn sie Rohhumus nehmen, der schon sehr stark fortgeschritten ist, dort haben wir faktisch eine sehr hohe Schwermetallbindungskapazität, daß selbst bei höchstbelasteten Böden das Schwermetall nicht in die Pflanzen geht, sondern in diese Humusart, die sie als Bindung begeben. Allerdings müssen sie jedes Jahr dafür sorgen, daß eine Portion nachkommt. Das sind immerhin Wege, die zeigen, daß da etwas herauskommen kann.

Es möglich eine Hochrechnung anzustellen, im Klärschlamm ist so viel und im Boden ist so viel, dann können Sie sich ausrechnen, wann wird der Bodengrenzwert erreicht, in 100 Jahren, in 200 Jahren oder in 10 Jahren, und das ist wichtig. Da gibt es ein paar Systeme in Deutschland, es gibt hervorragende Katasterarbeiten und da klappt das sehr gut.

TUFAR: Da sind ja sehr schöne Ergebnisse von Untersuchungen über Jahrzehnte; bezüglich des Schadstoffaustrages in die Nordsee möchte ich Sie als Betroffenen fragen, wir haben ja jetzt wieder Muschelsaison, wie wirkt sich das auf die Muscheln aus? Essen Sie selbst Muscheln?

MÜLLER: Zum Glück nicht, ich meide auch Kaviar. Der Amerikaner *SWITCH(?)* hat die sogenannte "shellwatch", die Muschelwache, vorgeschlagen, daß man tatsächlich Muscheln untersucht, die an bestimmten Standorten leben und sehr rasch den Zustand des Gewässers anzeigen. Ich selber esse ja keine,

aber auf Exkursionen ist immer das große Muschelessen, Miesmuscheln sind es allerdings, und auch die Herzmuscheln werden verkauft und da gehe ich davon aus, daß die sehr stark überprüft werden. Die Konzentrationen sind sicher erhöht, aber wenig gesundheitsgefährdend. Wichtig ist, daß nach dem Eintritt in das Estuar die Konzentrationen in den Sedimenten abnehmen, das zeigen ja die Sedimentuntersuchungen. Wir haben einen starken Transport der Sedimente stromaufwärts. Nach der letzten Eiszeit steigen die Gewässer an und bringen Feinmaterial in Richtung Hamburg; wenn ich in Hamburg jedes Jahr 2 Mio Schlamm herausnehme dann wird der von der Nordsee kommend und noch relativ saubere Anteil stromaufwärts transportiert. Das ist also die Geschichte, die in den Estuaren eine Rolle spielt, wo wir Süßwasser und Salzwasser haben und insofern ist im Abschnitt von Wedel bis Hamburg die Elbe in gutem Zustand.

TUFAR: Eine ganz kurze Bemerkung noch zu Ihrem Kupferbergbau in China. Ich möchte sagen, daß der Mensch doch sehr ins Klima eingreift und in den Tropen hat sich gezeigt, daß durch diese Tagebaue, das sind ja riesige Areale - 20, 30, 40 km - daß dort schlagartig von einem Tag zum anderen das Klima gekippt ist und der tägliche Regen dort bis zu 70 % zurückgegangen ist. Durch Verdunstung und Niederschlag hat sich dort ein neues Klima hergestellt.

MÜLLER: Ich bin nicht darauf eingegangen, aber ein letzter Vorschlag zur Entsorgung der schwermetallbelasteten Stoffe ist, sie einfach ins Schwarze Meer zu verbringen. Ich habe das auf der "Geotechnica" vorgetragen, unter Kollegen unbestritten. Ich habe in der Zwischenzeit vom Bundesministerium für Technologie zur Forderung einen sehr ausführlichen Brief bekommen, daß natürlich die politischen Umstände sehr schwierig sind. Aber ich habe geschrieben, ermuntert, daß nicht kurzfristig, aber langfristig, dies überdacht werden soll, denn es wäre ein sinnvoller Vorschlag. Nur etwa 40 bis 50 Mark pro Tonne betragen die Transportkosten und man könnte sie auf einer Fläche von 250.000 km<sup>2</sup>

dort unter anoxischen Bedingungen verbringen. Diese Bedingungen bleiben so lange stabil, bis sich der Wasserspiegel des Meeres gewaltig ändert. Dazu muß das Weltmeer erst 44 m fallen, dann wird das Schwarze Meer vom Atlantik abgeschnitten und dann kommt wieder die Süßwasserbedingung und 15.000 Jahre später wird das Schwarze Meer ein Süßwassersee, jetzt ist in seinen oberen Bereichen quasi halb Süßwasser, unten lagert das Salzwasser und das sind stabile Verhältnisse. In über 2000 m Wassertiefe wird jedes Metall, das sie dort unten deponieren, sich in kürzester Zeit durch  $H_2S$  in Sulfid umwandeln und es gibt keine Transportmechanismen, die eine Lösung nach oben bringen können.

Technisch ist die Einbringung durchaus machbar, aber ich glaube, daß ich nicht so alt werde, vielleicht kann ich es noch erleben, obwohl es politisch wahrscheinlich nicht machbar ist. Ich habe demnächst ein Gespräch mit den Umweltsprechern der Parteien im Bundestag und hoffe eine Diskussion anzuregen, und ich schätze, ein paar Leute, die den Unterschied zwischen mg und kg wissen, gibt es vielleicht dort auch, und dann besteht Hoffnung.

KALLENBACH: Ich möchte noch einmal betonen, das sind Fragen des Überlebens unserer Art und es ist sehr wichtig, daß nicht nur in Fachkreisen, sondern auch in der Öffentlichkeit die Ergebnisse und Zusammenhänge klargestellt werden können.

*Diskussionsbeiträge von:*

*Dr. W. HENRICH*

*Vöslauer Heilquellenverwertungs AG  
Paitzriegelgasse 2  
A - 2540 Bad Vöslau*

*Prof. Dr. E. SCHROLL*

*Haidbrunnengasse 14  
A - 2700 Wiener Neustadt*

*Prof. Dr. H. KALLENBACH*

*Inst. f. Geologie u. Paläontologie  
TU Berlin  
Ernst-Reuter-Platz 1  
D-10587 Berlin 10*

*Prof. Dr. W. TUFAR*

*Philipps-Univ. Marburg,  
Fachbereich Geowissenschaften  
Hans-Meerwein-Straße  
D-35032 Marburg/Lahn*

*Dipl. Ing. W. LEILER*

*TBL - Technisches Büro Leiler  
Brunnengasse 12/15  
A - 1160 Wien*

*Dipl. Ing. Dr. J. WIMMER*

*Oberösterreichische Umweltschutzanstalt  
Stifterstraße 28  
A - 4020 Linz*



Barbara-Gespräche Payerbach 1995	Band 2	"Geogen - Anthropogen" "Hausmüllversuchsanlage Breitenau"	Seite 139 - 152	Wien 1997
-------------------------------------	--------	--	-----------------	-----------

# BARBARA-GESPRÄCHE

## Payerbach 1995

Die Geochemie als Methode zur Lagerstättensuche  
und neue Anwendungen in der Umwelterkundung

O. SCHERMANN



*Anschrift des Verfassers:*

*Dr. Otmar SCHERMANN  
Geologische Bundesanstalt  
Rasumofskygasse 23  
A - 1030 Wien*

## Die Geochemie als Methode zur Lagerstättensuche und neue Anwendungen in der Umwelterkundung

O. SCHERMANN

Die Geochemie befaßt sich mit der Verteilung der chemischen Elemente auf der Erde. An die klassische Zeit sollen die Namen Geldschmidt und Vernadsky erinnern. Mit den Erkenntnissen über die Kristallstrukturen wuchsen auch die Kenntnisse über Abschätzung der Einbaumöglichkeit und die tatsächlichen Gehalte von Elementen in den einzelnen Mineralien, wie etwa von Machatschki vertreten. Ein neues Zeitalter schließlich brach an mit der Verbreitung von Datenverarbeitung und Geostatistik, die zusammen mit den Fortschritten der Analytik vorher ungeahnte Möglichkeiten der Umweltforschung öffneten.

Leider gehen die zugegebenermaßen komplizierten Sachverhalte und Darstellungen nicht Hand in Hand mit dem Verständnis außerhalb des eigentlichen Fachgebietes, ja, die Umwelthysterie, wie sie oft aus politischen Gründen geschürt wird, läßt selbst unter Kollegen benachbarter Branchen der Erdwissenschaften Selbstverständliches vergessen. So geschehen bei der Präsentation des Geochemischen Atlases, wo ausgedehnte Zonen hoher Schwermetallgehalte als natürlich bezweifelt wurden, oder, eigentlich eine Banalität und trotzdem muß man immer wieder darauf hinweisen, nämlich, daß in jeder Probe unkontaminierten natürlichen Materials mit den heutigen Analysenmethoden so an die 60 oder mehr Elemente nachweisbar sind und in der Natur alle Zwischenstufen der Konzentration vorkommen, vom extremen Spurenbereich bis zu Konzentrationen, die ein oder mehrere Elemente wirtschaftlich gewinnbar machen.

Die Suche nach Lagerstätten macht sich die Tatsache zunutze, daß wirtschaftlich gewinnbare Vorkommen von einem -unwirtschaftlichen- Hof eines Wertelementes oder eines

sogenannten Pfadfinderelementes begleitet sind und somit ein für die eigentlich erwartbare Lagerstättengröße viel zu grober, jedoch kostengünstiger, Probenraster möglich ist, und noch immer kann man ausreichende Indikationen, sogar für die Größe einer Vererzung bekommen, bevor die um mehrere Größenordnungen teurere Explorationsphase beginnt. Ja, mit entsprechenden statistischen Verfahren in der Verrechnung der üblichen Multi-elementanalytik ist es sogar möglich, verdeckte, d.h. nicht bis an die Oberfläche reichende Lagerstätten zu entdecken.

Auf dem Gebiet der Geochemie/Lagerstättenkunde ist, wenigstens thermatisch wenn schon nicht flächenhaft, sehr vieles erreicht worden. So weiß man, daß Ultrabasite Hoffungsgebiete für Chrom und Platinmetalle sind, man weiß, welche Spurenelemente einzelner Mineralphasen anzeigen, ob ein bestimmter Granit ein Potential für Lithium oder Zinn besitzt, man weiß Zinnsteine durch ihre Spurenelementgehalte ihrer Genese und damit einem eventuellen Lagerstättenpotential zuzuordnen; ja, selbst bis in kontinentale Sicht reichen die Erkenntnisse, etwa der Art, daß die Räder der Pazifischen Platte ein gegenüber anderen geologischen Gebieten weitaus erhöhtes Potential für Goldvererzungen haben.

Die weiteren Vorgänge nach der Identifizierung einer Lagerstätte möchte ich nur kurz erwähnen. Die (in wirtschaftlichem Ausmaß) vererzten Bereiche werden, unter Tage oder von der Oberfläche her, abgebaut, das Erz wird gebrochen, unter die Korngröße der Mineralverwachsungen heruntergemahlen und mit gravitativen Verfahren oder mittels Flotationsschritten weiter angereichert, d.h. es werden nicht nur die Erzminerale von den

tauben Mineralkörnern abgetrennt, es werden in weiteren Schritten auch die verschiedenen Wertminerale von einander getrennt, um im nachfolgenden Verhüttungsverfahren das gesuchte Metall zu gewinnen.

Die Verhüttung ist, chemisch gesehen, ein Reduzieren. Im Falle von Schwefel- oder ähnlichen Verbindungen erfolgt vorher noch die Röstung, d.h. ein Oxidieren, bei welchem Schwefel, Quecksilber, Antimon, Arsen u.a. ausgetrieben werden. Neuere Verfahren sind die direkte Laugung des Erzes oder seines Schmelzaufschlusses und der Erzeugung eines Produktes statt eines Metalles, etwa Lithium als Karbonat oder, das kennen Sie sicher, Uran als Yellow Cake.

Aus montanhistorischer wie umweltwissenschaftlicher Sicht von Interesse ist die Nachnutzung der Bergbaue wie der Hüttenareale. So hat man in den Schladminger Tauern während der Kobaltproduktion die Nickelerze, weil für den damaligen Stand der Technik uninteressant, als Versatz verwendet oder auf Halde geworfen, was den späteren Bergbaubetreibern zur Zeit der Nickelnachfrage sehr zustatten gekommen ist. Ähnlich lag der Fall bei den berühmten Gruben von St. Joachimstal, wo zuerst Silber erzeugt wurde, später aus Erz und Versatz Nickel und schließlich aus eben diesen noch Radium und Uran. Ich möchte daran erinnern, daß diese Uranerze Mme. Curie die Entdeckung des Radiums ermöglichten.

Die Nachnutzung von Bergbaugebieten hat noch andere Facetten, etwa die ober- und untertägigen Hohlräume als Deponien für auch Sonderabfall zu verwenden, oder minderhaltiges Haldenmaterial, das im Mittel oft um ein Hundertfaches über den zugelassenen Grenzwerten für toxische Elemente liegt, für den Wege- und sogar für den Hausbau zu nutzen und damit weit zu dispergieren, mit dem Effekt etwa, daß die bis vor Kurzem genutzte Schule in Jachymov Radon-Werte von 48000 Bq. besitzt, ein Vielfaches des Grenzwertes der österreichischen Strahlenschutzkommission von 200 Bq. Gelegentlich wurde auch das aus Gruben ausfließende Wasser als Nutz- oft sogar als Trinkwasser verwendet, bis

in Österreich strengere Vorschriften betreffend Spurenelementgehalte zum Tragen kamen.

Seit der Weckung des Umweltbewußtseins auf seiten des Gesetzgebers läuft der Betrieb von Bergbau, Aufbereitung und Hütte unter sehr strengen Auflagen ab, sagen wir, den Siebziger Jahren. Vorher ist man, auch, aber nicht nur aus Unkenntnis, weniger zimperlich umgegangen. So wurden Stollen oft in Bachnähe angeschlagen, nicht nur zur Minimierung von Vortriebsarbeit, man hat vielfach das Wasser genutzt zum Entsorgen der Bergehalde. Aufbereitung und Verhüttung wurden ebenfalls in Bachnähe angelegt, primär zum Nutzen der Wasserkraft für den mechanischen Antrieb bzw. zum Betreiben des Gebläses, gleichzeitig aber auch zum Entsorgen von Aufbereitungsabgängen und Schlacke. In Oregon liegen Sedimente von Aufbereitungsabgängen in großer Mächtigkeit in Talfüllung und einem See, die mehr als 12%(!) Schwermetalle enthalten, darunter bis 0,1% Cadmium. Vor allem wegen der Röstung ist es schon in weit zurückliegenden Jahrhunderten zu Klagen gekommen bezüglich Umweltschäden, wie Zerstörung der Wälder bis zum Viehsterben in der Steiermark beispielsweise auch bis zum Tod von Menschen in Zusammenhang mit einer Arsenhütte. Beim Rösten und Verhütten wurde alles was gasförmig oder als Flugstaub vorlag, beim Kamin hinausgeblasen, Säuredehydrate ebenso wie Schwermetalle.

Die Nachnutzung von Bergbaugebieten kann durchaus positive Effekte bewirken, z.B. bedingt durch die Entwicklung von technischen Prozessen und Verfahren. So werden etwa aus den Rückständen der weiter zurückliegenden Goldgewinnung in Südafrika mittels Haldenlaugung weiteres Gold und auch Uran gewonnen. Auch bei anderen Goldlagerstätten ebenso wie etwa beim seinerzeitigen Kupferbergbau Mitterberg sind verlassene Halden ein willkommener Rohstoff im Sinne der weiteren Nachnutzung. Weiters können Sondermetalle, für die erst in der modernen Technik Nachfrage besteht, aus Rückständen der Aufbereitungen, aber auch aus Schlacken gewonnen werden; in einem solchen Falle müssen allerdings noch andere wirtschaftlich

relevante Voraussetzungen zutreffen wie Menge, Konzentration etc., die bestenfalls in Arnoldstein gegeben sein können.

Bei der Auswertung geochemischer Prospektionsergebnisse können Anomalien entstehen, ohne daß ein entsprechendes Mineral zu finden wäre. So hatte es sehr findiger Untersuchungen durch H. Neinavaie bedurft, um die Ursache für erhöhten Werte an Niob, Tantal, Wolfram und Zinn in einigen pläozoischen Serien zu finden. Diese Elemente sind tatsächlich in Titanmineralien, Rutil, Titanit und z.T. Ilmenit eingebaut, ihre Konzentrationen können jeweils bis zu 0,5% reichen, Zinkblende, das ist schon länger bekannt, kann u.a. reichlich Cadmium, Germanium, Indium einbauen. Beispielsweise gibt es eine Anzahl von Tellurmineralien während von dem rund 60 000 mal häufigeren Element Rubidium kein einziges bekannt ist, da dieses Element durchwegs in fremden Mineralen getarnt ist. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den von Umweltschützern heftig monierten erhöhten Bleigehalte im Gebiet des Nationalparkes Hohe Tauern. Diese Bleigehalte haben ihre Ursache mitnichten in grenzüberschreitender Kontamination, sie sind vielmehr geogen, nämlich durch den getarnten Einbau von Blei statt Kalium in den Orthoklas der Zentralgneise.

Wir von der Geologischen Bundesanstalt begannen ein umweltwissenschaftliches Projekt über bergbaubedingte Altlasten, das anfangs zu einem beträchtlichen Teil auf in Mischkristallen eingebauten Elementen hin basierte. Die in den Alpen vielfach beschürften Fahlerzlagerstätten wurden seinerzeit auf Silber und Kupfer gebaut, mit einer Produktion an schätzungsweise 30 000 Beschäftigten, um etwa 110 t im Röhrebühel - eine enorme Wertschöpfung, denn Silber war damals das Metall, auf das sich die europäischen Währungen, auch z.B. die chinesische, stützten. Die Bedeutung mögen Sie daraus ersehen, daß der Taler - im Dialekt Toler ausgesprochen - immerhin namensgebend war für den USD ebenso wie für die heutige slovenische Währung, den Tolar.

Neben Kupfer und Silber enthalten Fahlerze reichlich Arsen, Quecksilber, Antimon, um

nur die wichtigsten Elemente zu nennen, die nicht extrahiert wurden. Dazu sind diese Lagerstätten noch begleitet von Sulfiden von Zink und Blei. Im Anlaßfall bestand eine idyllische Almfläche von ca. 1,5 km<sup>2</sup> zu ungefähr 10% aus Bergbauhalden. Die Analysergebnisse von Bodenproben zeigten - bereits umgerechnet auf die gesamte Almfläche - ein Überschreiten der Grenzwerte toxischer Elemente für landwirtschaftlich genutzte Böden um ein Mehrfaches.

Hüttenareale sind unter anderem gekennzeichnet durch Schlackenmaterial, wenn man Glück hat auf Halde, sonst vertragen entlang Bachbetten und Wegen, ja, selbst zur Planierung von Wiesen und Ackerflächen wurde es verwendet. Untersuchungen von Anschliffen mittels Mikroskop und Mikrosonde haben gezeigt, daß nur der geringste Teil in Form von Glas vorliegt, der Großteil des Materials besteht aus Mineralien, welche allerdings nur zu einem geringeren Teil aus der Natur bekannt sind. Allenfalls vorhandene Glasmatrix fällt sehr bald einer Rekristallisation anheim und ist dabei, wie auch die anderen Mineralien, einer Oxidation und Hydratation unterworfen. Schlacken sind demnach alles andere als chemisch stabile Produkte. Analysen von Bodenproben zeigten erwartungsgemäß sehr hohe Konzentrationen von toxischen Elementen. Das sagt zunächst noch nichts aus über die Pflanzenverfügbarkeit. Da diesbezügliche Untersuchungen nicht im theoriefreien Raum durchgeführt werden, haben wir uns für den pragmatischen Weg entschieden und die Pflanzenaufgabe bzw. -aufwuchs selbst untersucht, zumal ja von diesem Probenmaterial ein direkter Weg zur Nahrungskette besteht. Die gefundenen Maximalwerte haben immerhin 0,9% Zink und 180 ppm Cadmium ergeben, jetzt einmal abgesehen von anderen toxischen Elementen, welche ebenfalls zigfache Überschreitungen der Grünfuttermittelverordnung aufwiesen, gar nicht zu sprechen von den Produkten der Hausgärten auf Erz- und Schlackenhalde bzw. in der Depositionszone um Erzhütten.

Haldenflächen im alpinen Gelände sind attraktive Baugründe, da sie eben und trocken sind,

neben einem Gerinne liegen, wegen der Anschüttung über die Umgebung blicken und bieten sich deshalb für eine, in diesem Falle bauliche, Nachnutzung an. In einem konkreten Fall liegt der Hausgemüsegarten auf der Schlackenhalde einer Bleihütte; die Bodenfraktion kleiner 2 mm enthielt u.a. 4% Blei und rund 2% Zink, die oben genannten Maximalwerte im Pflanzenmaterial stammen vom Grundstück neben dem Haus. Leider wurde von der Bewohnerin die Beprobung von Gartenprodukten verweigert, die Damen, weit über Siebzig, machte aber einen recht rüstigen Eindruck für ihr Alter.

Von den Westeuropäischen Geologischen Diensten (heute FOREGS) wurde eine Arbeitsgruppe etabliert. Und zwar ging es ursprünglich darum, mittels geringer Probenichte eine großflächige Karte der geochemischen Basiswerte anzufertigen. Hier galt es, zunächst den geochemischen Background zu erfassen, d.h. das Probenmaterial mußte kontaminationsfrei sein. Es konnte demnach kein Oberflächenmaterial sein, welches im Laufe der Industriegeschichte den staub- und gasförmigen Depositionen -bzw. kontaminierten Abschwemmungen ausgesetzt war. Es konnte sich also nur um ein Material aus der Tiefe handeln, welches aus vor-industrieller Zeit stammte. Dabei ist gleichzeitig zu definieren gewesen, was denn eigentlich unter Kontamination zu verstehen sei. Man einigte sich schließlich darauf, darunter jenen Anteil an der Gesamtkonzentration eines Elementes zu verstehen, der dem geochemischen Background aufgelagert ist. Man machte sich wegen der geforderten geringen Probenichte das Prinzip der Bachsediment- und Schwermineralprospektion zunutze, nämlich, daß was oben ist auch herunter kommt. Mittels Überflutungssedimenten, die ja mit ihrem lagigen Aufbau eine Zeitreihe darstellen, ist sowohl der geochemische Background als auch die Kontamination und diese sogar quantitativ feststellbar, indem man einfach ein vorindustrielles Sediment aus den tiefsten, ältesten Schichten mit einem jüngeren bzw. schließlich mit einem an der heutigen Oberfläche der Überflutungsebene liegenden Material vergleicht.

Im Laufe der Pilotphase dieser Beprobungsmethode wurden auch einige Punkte in Österreich untersucht mit interessanten, aber auch überraschenden Ergebnissen. Neben anderen wurde ein Punkt an der Mürz ausgewählt. Sein Einzugsgebiet beträgt annähernd 500 km<sup>2</sup>, von welchem seinerzeit 170 km<sup>2</sup> mit insgesamt 111 Bachsedimentproben abgedeckt wurden. Im Einzugsgebiet gab es vor 150, 200 Jahren kleinere Bergbaue auf Eisenkarbonate und untergeordnet Kupfer aus Fahlerzvorkommen. Die Überflutungssedimente selbst wurden mittels Bohrung in Abschnitten von 50 cm gewonnen und lagen in einer Mächtigkeit von insgesamt ca. 3m vor.

Beim Vergleich der Analysenergebnisse stellte sich heraus, daß der Mittelwert aller Bachsedimente ziemlich genau mit den Werten der tiefsten Probe, die nach dem Kurvenverlauf dem geochemischen Background entsprach, übereinstimmte. Von unten nach oben nahmen in den Überflutungssedimenten alle jene Elemente beträchtlich zu, die irgendwie mit Vererzung in Verbindung zu bringen sind, selbst wenn sie in früheren Untersuchungen nicht erwähnt wurden, während synchron die rein gesteinsbildenden Elemente abnehmen. Durch Aufbereitungsabgänge und Haldenerosion stieg der Eisengehalt im Unterstrombereich von ursprünglich 2% nach oben, also in den jüngeren Sedimenten, auf immerhin mehr als 8%. Und das hat eine ganz neue Implikation.

Auf Grund von Hochwasserschutzmaßnahmen sind die Alluvionsebenen zu einem begehrten Baugrund geworden. Die chemische Zusammensetzung der obersten 0,5 m der Überflutungssedimente am Probenpunkt des Mürztals enthält mehr als 9% Eisen plus Mangan und gut 0,1% toxische Schwermetalle. So macht daher das Aushubmaterial im Falle etwa eines Hausbaues bereits zu einem Sondermüll mit allen, auch rechtlichen und finanziellen Konsequenzen, wenn die zuständigen Behörden diese Tatsachen, die durch keine andere Untersuchungsmethode aufgedeckt werden, in ihre Beurteilung mit einbezügen.

Allein schon aus diesem Grund stünde der Geochemie und als bundesweiter Institution

der Geologischen Bundesanstalt ein großes und verantwortungsvolles Aufgabengebiet bevor. Nach den Erfahrungen mit den Untersuchungen betreffend bergbaubedingte Altlasten wird diese Arbeit wohl künftigen Gene-

rationen verbleiben, denn zur Zeit wollen die zuständigen Behörden von derlei Komplikationen nichts wissen und halten sich an die legendären drei Affen.



## DISKUSSION

### Die Geochemie als Methode zur Lagerstättensuche und neue Anwendungen in der Umwelterkundung

KALLENBACH: Ich danke für diesen aktuellen Vortrag und darf um Wortmeldungen bitten

WIMMER: Nur eine kleine Zusatzinformation zum Blei im Nationalpark Hohe Tauern. Es gibt seit 1992 die forstliche Bodenzustandsinventur, weniger bekannt als die landwirtschaftliche Bodenzustandsinventur in den Bundesländern. Dort wurden Waldböden in einem bestimmten Raster untersucht, in verschiedenen Tiefenstufen von der Humusaufgabe bis zur Gesteinsebene. Man findet zahlreiche Bleianomalien, sowohl im Kristallin als auch im Karbonat. Man findet aber mit dem geogenen Hintergrundwert überhaupt nicht korrespondierende Blei- und Cadmiumgehalte im Oberboden des Waldes, in der Humusaufgabe, die also eindeutig durch Fernverfrachtung zustande gekommen sein müssen, weil sie durch den geochemischen Hintergrund nicht erklärbar sind und es gibt eine wunderbare Korrelation auf 90 oder 95% Signifikanzschwelle zwischen der Höhenstufe, in der die Proben gewonnen wurden, und dem Blei- bzw. Kadmiumgehalt, zumindest auf karbonatischem Untergrund.

SCHERMANN: Was von den Bodenkundlern nicht ganz akzeptiert wird, ist, daß das Blei in den Geokreislauf von unten nach oben wandert und oben in stabilen Verbindungen vorliegt. Wir hatten dieses Beispiel im Inntal, es wurde dort auch eine Bodenzustandsinventur gemacht, wo hohe Bleiwerte im Inntal festgestellt worden sind. Natürlich hieß es gleich: das ist Blei von der Autobahn. Dann erhob sich die Frage, wie schaut das aus mit den Emissionen, wird das auch gemessen im Inntal und es stellte sich heraus, daß man ungefähr 10.000 Jahre Autobahn bräuchte, um diesen

Eintrag von 190 kg Blei pro Hektar zustande zu bringen. Aber mit der Biopumpe geht das. Jeder Prospektionsgeologe weiß das ganz genau, der nimmt die Pflanzen und seine kleinen Bohrgeräte her, die ihm die Informationen aus der Tiefe bringen.

WIMMER: Wieso funktioniert die Biopumpe(?) mit der Seehöhe unterschiedlich?

SCHERMANN: Messen kann ich alles, wann ich will.

MÜLLER: Ich wollte nur erwähnen, daß ein Programm, ähnlich wie sie es vorgesehen oder durchgeführt haben, jetzt im Rückabschnitt des Elbeprogrammes durchgeführt werden wird. ....<sup>1</sup> geogener Background und dort kommt die Untersuchung jetzt die Freiburger Geochemiker sehr große ..... genau das ist die Problematik, das Erzgebirge ..... und dort man zum Teil jetzt auch, gibt es oder gab es Bewässerungsteiche und Schlammteiche schon 1412 und dort weiß man genau wie alt die Sedimente sind, die dort abgelagert worden sind, und man wird jetzt bis in die Römerzeit vordringen, um herauszufinden, wie weit dort der echte geogene Beitrag ist und wie weit das praktisch jetzt der Einfluß schon durch Bergbaumaßnahmen selber natürlich ..... Wir erwarten da jetzt, für das Erzgebirge zumindest, daß was sie jetzt im alpinen Raum sicher auch gerne gemacht hätten oder auch machen.

---

<sup>1</sup> Anm. der Redaktion: Diese Diskussion wurde nach einer Tonträgeraufzeichnung geschrieben; nicht rekonstruierbare Abschnitte sind durch " ....." gekennzeichnet. Wir bitten in solchen Fällen um Verständnis.

SCHERMANN: Wir kennen ja diese Geschichte mit der Schließung der Bergbaue des Harzes. Man hätte eigentlich, wenn man nach den Vorschriften arbeitet, die Natur auf-räumen müssen, weil diese einzelnen Bergbaue einen riesigen geochemischen Hof bilden, der weit über den zulässigen Bodenwerten gelegen ist.

MÜLLER: Wir haben bei Heidelberg die Lagerstätte Wiesloch, die ist ja in Wirklichkeit nach der Nomenklatur ein Hotspot für Schwermetalle. Dort ist das Stadtgebiet genau auf diesem Hotspot selbst drauf, man hat mit Schlacken der Verhüttung die Wege, die Straßen gemacht. Es sind also auch Teiche mittendrin, und da hat man auch Gärten angelegt und trotz der Cadmiumbelastungen, die ja 30-40 ppm sind, gibt es keinen Fall, bei dem irgendwelche Gesundheitsschäden festgestellt worden sind. Extrem ist, und das ist ja schon fast makaber, daß die psychiatrische Landes-krankenanstalt, genau auf einem Hotspot liegt, der also Thallium in riesigen Mengen hat und dort betreiben die Patienten als Therapie Gartenbau und sie essen auch ,das Gemüse, das aus diesem Gartenbau stammt, und es ist nicht festgestellt worden, daß irgendwelche Schäden durch dessen Genuß aufgetreten sind. Jedes Jahr erscheint jetzt in den Lokalzeitungen eine Karte kleinmaßstäblich mit den Anbauempfehlungen, das ist aus-kartiert, und ich muß ja nicht Spinat anbauen, wenn ich weiß, daß in anderen Gemüsen keine Schwermetallanreicherungen festgestellt worden sind. Trotz der sehr hohen Belastungen gibt es keine negativen Erscheinungen.

Aber interessant ist etwas anderes: dort wird auch Weizen auf den Agrarflächen angebaut und jetzt kommt das Merkwürdige, daß auf den Weizenagrflächen 30 bis 40 ppm Kad-mium gemessen worden sind, es erfolgt aber praktisch keine Aufnahme von Kadmium in das Weizenkorn, so etwa 1, 2 ppm, und das ist wieder eine Frage der Bindungsart. Dann wiederum gibt es Flächen mit nur 1 ppm Be-lastung und da finde ich dieses 1ppm auch in den Pflanzen.

SCHERMANN: Wir haben eine Schlackenhalde für eine Bleihütte untersucht. Sie

wissen, es gibt es jede Menge Theorien und jede Menge Voraussetzungen, die man alle nicht bestimmt hat und wir haben gesagt, wir schneiden einfach jetzt diese Gräser ab oder was immer wir haben und analysieren das und wir haben in der Trockenmasse immerhin 0,9 % Zink, also 9.000 ppm Zink in der Trockenmasse , 180 ppm Cadmium, wir haben woanders über 1000 ppm Arsen, wir haben bis zu zu 40 ppm Quecksilber in der Grünaufgabe, also im Produkt, und das fressen ja die Kühe von der Halde, das ist also voll in der Nahrungskette drinnen

VORTISCH: Kurz zu ihrer Information, da ja ..... klimatisch .....  
..... Schwermetallwerte, ph-Werte informiert worden. Gab es da Hinweise auf höhenbezogene klimatische .....?

WIMMER: Das ist nicht unsere Institution, die die Untersuchungen gemacht hat, sondern die forstliche Bundesversuchsanstalt. Dort sind auch alle Zusatzinformationen, wie ph-Werte etc. erhoben worden. Man kann das auf ein-heitliche Untergrundverhältnisse, Karbonat-standorte u.a. beziehen.

Ich wollte nur zum Referat des Vortragenden noch sagen: Die angesprochene Biopumpe existiert bei Blei nicht! Unsere Institution hat in Oberösterreich eine ganze Reihe von Wald-böden in unterschiedlichen Tiefenstufen unter-sucht und jahresringweise das Holz der darauf wachsenden Bäume. Wir wollten eine gewisse Chronologie der Bodenbelastung finden, haben sie aber nicht gefunden. Bäume transportieren praktisch kein Schwermetall. Die Biopumpe mag es geben bei vielen Pflanzenarten, gerade bei Cadmium, bei Kupfer, bei Zink, bei vielen anderen Elementen. Nicht aber bei Blei.

KALLENBACH: Ich hätte noch eine Frage einzubringen. Es gibt ja Lebewesen, die nicht unter unserem Einfluß stehen, etwa das Wild. Es ist z.B. vom bayerischen Wald bekannt, es ist zwar klimatisch etwas anders, daß das Wildbret nicht mehr gegessen werden kann. Genauer gesagt, sie unterscheiden, wenn sie im Frühjahr schießen, dann kann man die Tiere essen, aber solange die Tiere im Sommer von der Krautschicht leben, darf die-ses Fleisch nicht mehr geliefert werden. Das

sind Informationen von unseren Kollegen aus Regensburg. Die gehen davon aus, wenn die gefährdete Flächen haben, daß das Wild weit wechselt.

SCHERMANN: Wir haben damit überhaupt nichts gemein, wir wollten etwas anderes machen. Es gibt eine Molkerei in Österreich, die darf keinen Käse erzeugen wegen zu hoher Schwermetalle. Unser Projekt hat teilweise das Einzugsgebiet der Molkerei betroffen, aus dem die Milch von den Bauern zu Sammelstellen gebracht wird. Wir wollten mit Zustimmung der Molkerei einmal die einzelnen Kannen beproben und dann vergleichen mit den Kennzahlen, die wir haben.

GÖD: Ich möchte noch auf ihre Frage kurz eingehen. Ich habe im Saualpengebiet Haare von Gamsen untersucht und auch solche von Kaninchen. Über Gamsen wurde mir von Jägern mitgeteilt, daß sie relativ standorttreu sind, verglichen auf den 30 - 40 Quadratkilometern, da hat sich also überhaupt nichts nachweisen lassen. Dann haben wir die Pflanzen, also das Heu untersucht in den Gebieten, und einige hundert ppm Arsen waren im Heu. In 2 Proben war weniger als 1 ppm drinnen. Zuguterletzt haben wir auch Pflanzen untersucht, die unmittelbar auf einer Arsenmineralisation gewachsen sind. Da war das Maximum und zwar beim Fingerhut und beim Leinkraut. In der Asche waren Arsenkonzentrationen 80 ppm Maximum drinnen. Aber das war sehr spezifisch auf diese Pflanzen bezogen.

SCHERMANN: Mich hat einmal eine Dame angerufen, eine Veterinärmedizinerin, und die fragt mich, ob einer bestimmten Gegend Bleilagerstätten vorkommen. Warum? Sie untersucht die Leber von Kaninchen, die ein sehr kleines Revier haben und sie wollte die Auswirkungen der Autobahn auf die Umgebung mit Hilfe dieser Kaninchen feststellen. Sie sagte, die Bleiwerte steigen um ungefähr 20% an der Autobahn und dann verschwinden sie sehr bald. Und tatsächlich hat sie in einer Gegend natürliche Bleibelastungen gehabt. Es geht genügend Blei in die Pflanzen, sodaß die Kaninchen das sofort widerspiegeln.

UNBEKANNT: Könnte man betreffend Blei noch hinzufügen, daß diese Akkumulation auf jeden Fall stattfindet, und zwar die Werte betreffen den O- Horizont mit 58 ppm und sie sinken hinunter ab auf 35 ppm im C-Horizont und das ist sehr gut statistisch abgesichert und betrifft ca. 350 Probenpunkte. Das Blei ist negativ mit dem pH-Wert korreliert und es besteht eine leichte Abhängigkeit in dem Sinne, daß Blei im O-Horizont und speziell im Wald mit der Höhe zunimmt.

SCHROLL: Darf ich eine Randbemerkung machen: Ich glaube das ist eine ganz interessante Tagung gewesen, diese umweltgeochemische Problematik einmal zu beleuchten. Ich würde vorschlagen, daß man das hier institutionalisiert. Gerade hier diese umweltgeochemische Sache, auf nationaler Ebene, daß man die hier veranstaltet und fortsetzt.

VORSITZENDER: Das ist sicher eine sehr wichtige Anregung.

WESSELY: Ich habe gesehen eine gewisse Polarität zwischen Naturwissenschaftlern, Geochemikern, Geologen und gesetzlichen Grenzwerten und den Gesetzgebern besteht. Was mir vielleicht ein bißchen abgeht, das ist ein Beitrag von medizinischer oder veterinärmedizinischer Seite. Ich kann mir schon vorstellen, daß eine gewisse Abneigung besteht, wir sind nun einmal eine andere Fakultät, aber ich glaube trotzdem, daß man nicht umhin kommt, auch hier die Erfahrungen von Mediziniern und Veterinärmedizinern auf quantitativer Basis einzubringen. Ich kann mir schon vorstellen, daß es gebietsweise Statistiken gibt, nicht nur "ich glaube" und "ich meine", sondern auf Fakten beruhend. Ich glaube es wäre ganz günstig, wenn hier ein gewisser Kontakt erfolgen könnte.

RIEHL-H: Darf ich dazu sagen, ich habe mich lange bemüht und hier neuerlich, gerade im Anschluß an das, was Prof. MÜLLER voriges Jahr erzählt hat von seinem eigenen Oberschenkelhals, bzw. von dieser Kadmium-Geschichte, aber es ist wahnsinnig schwer Mediziner in diesen Kreis einzubinden und herzukriegen. Das ist eine sehr schwierige Arbeit, die Leute sage, daß sie selbst sehr ausgelastet sind und sie haben selbst sehr viel

zu denken und zu tun und das ist überhaupt das Problem. Wir haben es heuer das erstmal zustande gebracht, daß wir Geologen, Geochemiker, Chemiker zusammengebracht haben, und ich hoffe, daß das so weitergeht und daß man auch Mediziner mit in diesen Kreis einbindet, gerade vielleicht, wenn man diese Geschichte von Prof.MÜLLER in die heurige Publikation hineinbringt, um einmal einen Anreiz zu bringen.

DEMMEER: Du brauchst die Barbaragespräche nur nach Pörschach, Velden oder Kitzbühel verlegen. Dann sind sie da die Mediziner.

RIEHL-H.: Dort haben wir keinen Stollen.

DEMMEER: Dann halt nach Badgastein.

RIEHL-H.: Herr Prof.MÜLLER darf ich sie kurz bitten, diese Geschichte in diesem Kreis zu wiederholen?

MÜLLER: Zu mir sagt man "Cadmium-Müller", das hat natürlich mit meinem Arbeitsgebiet zu tun, aber das hat noch eine andere Bewandnis. Es ist 12 oder 13 Jahre her, daß ich mit einer ganz schlimmen Hüftkopfnekrose im Krankenhaus lag vor der Operation stand. Der Orthopäde sagte, wir sind gute Mechaniker, wir können das genau alles schön mit Computer berechnen, wie der Winkel sein muß etc., und sie müssen halt ein paar Monate aussetzen, und wenn der Knochenzerfall weiter geht, dann werden wir eben nochmals operieren.

Ich sagte, nein, ich möchte das nicht haben und hatte damals eine Einladung nach China. Dort wollten sie auch mit Umweltsachen anfangen, und ich hätte eigentlich gar nicht reisen können und habe dann geschrieben, ich möchte zur Bedingung machen, daß ich zu einem traditionellen Arzt komme, den ich also befragen kann mit meiner Hüftgeschichte. Das war tatsächlich so, ich bin damals in Peking gelandet und hatte dann das Glück, daß Frau CHEN LU, die dort die Umweltsache jetzt führt - sie hat in Amerika ihren Doktor gemacht, hat also durchaus westliches und chinesisches Denken - mich sofort zu einem der bekanntesten, jetzt nicht "Barfußärzte" sondern eben traditionellen Ärzte gebracht hat. Ich wollte meine Röntgenaufnahmen heraus-

ziehen, und es war so, daß der Knochen am Zerfall war, also eine Nekrose, Knochenzerfall. Der hat mich gesehen und hat eine sogenannte Kunstdiagnose gemacht. Er hat mich nie vorher gehört und sagte gleich, ich brauche keine Angst zu haben, ich habe eine Nierenfehlfunktion und ich gebe ihnen jetzt eine Kräuterkombination, die diese beheben wird. Gleich am nächsten Morgen im Hotel hat man mir einen Sud gebracht mit 6 verschiedenen Kräutern, und für Deutschland hat man mir die Kräuter sozusagen kiloweise mitgegeben und die mußte ich ansetzen mit Alkohol - war nicht ganz unangenehm, diese Medizin zu nehmen, so eine Art Jägermeister. Ich bin damals auf zwei Krücken gelaufen und nach 5 Wochen brauchte ich nur noch eine und nach einem Vierteljahr hat die Röntgenaufnahme ergeben, daß der Knochen wieder sozusagen repariert war, daß er wieder fest geworden ist. Zwar hat er eine komische Delle, aber er funktioniert noch immer.

Dann habe ich das dem Orthopäden erzählt, zum Chefarzt durfte ich gar nicht gehen, der Oberarzt sagte mir, um Gottes Willen, wenn sie das dem erzählen, der schmeißt sie raus, das ist ja Puschmedizin, was die da machen und das ist auch jetzt noch die Auffassung des Chefarztes. Da sagte ich, Herrgott, dann machen wir das doch so, wenn sie die nächsten nekrotischen Hüften rausnehmen, nehmen Sie vom nekrotischen Teil eine Portion und noch eine vom stabilen Teil. Das hat er gemacht und wir hatten 11 von 12 Proben, die mit Kadmium höchstbelastet waren und auch mit anderen Schwermetallen, nur ist es so, daß das nicht die Ursache war für die Nekrose, sondern das war das Zeichen dafür, daß die Nieren nicht mehr ihre Funktion voll erfüllten und die Schwermetalle durchließen. Meine Medizin war nicht auf Wirkung sondern auf die Ursache abgezielt und dem verdanke ich, daß ich wieder laufen kann.

Es ist also nicht gelungen, mit den Medizinern ein echtes Untersuchungsprojekt auf die Beine zu stellen, der Obergott-Ordinarius, der hat es nicht gewagt, einen Beitrag zu machen. Ich habe einem Kollegen auch das Rezept geschickt, aber der hat Arthrose, das ist etwas

ganz anderes als die Nekrose. Aber ich habe ihm gesagt, nehmen sie es einmal, es kann nicht schaden.

Dann kommt bei den Chinesen noch hinzu, daß die ja praktisch die Medizin auf Kombination, nicht bei jedem dasselbe machen, sondern die sehen auch auf anderes, ob jemand etwa ein Choleriker ist, und all das spielt eine Rolle. Ich war jedenfalls selbst sehr beeindruckt und ich habe nachher im Kloster Maria Laach einen Mönch getroffen, der lange in Tibet mit einem Mediziner zusammen war, der erst die traditionelle Medizin und dann in Kanada unsere westliche Medizin studiert hat, und da hatten sie Gesprächsstoff, welcher Unsinn es ist, z.B. Aspirin mit A.....säure chemisch herzustellen wird, wenn wir das Extrakt aus der Weide nehmen, dann brauchen wir nur ein Zehntel des ASS, um die selbe Wirkung zu erzielen, weil nämlich die anderen Stoffe das noch ergänzen, aber die haben ihn ausgelacht, die haben gesagt, Aspirin können wir doch chemisch tonnenweise herstellen, die Tonne für 24,50 DM, und wenn wir die Weide hernehmen, wo wir den zehnfachen Wirkungsgrad haben, das geht nicht. Das ist also auch ein Beispiel zur Geo-Medizin und zur traditionellen Medizin. Ich selber nehme auch bei Kopfweg Aspirin, aber ich würde mir wünschen, ich hätte ein zehmal geringere Dosis, dann bräuchte man nicht zu befürchten, daß bei manchen Leuten dann die Magenwand durchbricht vor lauter Aspirin.

Ich bin also ein lebendes Beispiel eines Camium-Geschädigten, der aber jetzt wieder auf dem Damm ist. Danke China!

SCHROLL: Das ist alles nichts Neues. In Amerika ist die Verbindung zwischen Medizin und Geochemie seit 20 Jahren gut geglückt, es hat lange gedauert, bis sie den Kontakt gefunden haben. Es gibt auch eine internationale Gesellschaft, die sich mit Geochemie und Medizin beschäftigt. In England ist das sehr weit auch verbreitet. Da wäre bei uns wieder einmal nur mit Verspätung diese Sache zu erreichen, diesen Kontakt zu fassen. Die Anregung ist absolut richtig. Mein Nachfolger, Herr Dr.SAUER, hat da ein

bißchen gearbeitet, den Versuch mit Medizinern zu machen, und man hat auch ein bißchen gelächelt. So zu lächeln ist eigentlich nicht darüber. Es ist ein komplexes Gebiet. Der Mensch ist sehr komplex.

RANK: Vielleicht ist er an den Falschen geraten.

SCHROLL: Vielleicht auch. Man muß den richtigen Mediziner erwischen. Es sind auch Veterinärmediziner, die Interesse haben. Ich glaube diese Anregung sollte auf fruchtbaren Boden fallen.

SCHÄFER: Die Schwierigkeit bei der möglichen Zusammenarbeit Geochemie - Medizin besteht darin, daß es in Österreich kein verlässliches statistisches Material gibt, weil die Erwähnung der Erkrankung nicht immer den Ort betrifft, wo sie erhoben wurde, oder das Krankenhaus, aber nicht wo der Mensch arbeitet, wo er geboren und aufgewachsen ist bis zum 14.Lebensjahr usw. Dieses Grunddatenmaterial ist in Österreich absolut unzugänglich.

*Diskussionsbeiträge von:*

*Dr.phil.W. DEMMER  
Konsulent f. Baugeologie  
Rosengasse 12  
A - 2102 Bisamberg*

*Dr.R. GÖD  
Bundesforschungs-u.Prüfzentrum Arsenal  
Geotechn.Inst. - Objekt 214  
Faradaygasse 3  
A - 1031 Wien*

*Prof.Dr.H. KALLENBACH  
Inst.f. Geologie u. Paläontologie  
TU Berlin  
Ernst-Reuter-Platz 1  
D-10587 Berlin 10*

*Prof.Dr.G. MÜLLER  
Inst.f.Sedimentforschung der  
Universität Heidelberg  
D-69112 Heidelberg*

*HR Dr.D. RANK*

*Geotechn. Inst., Abt. Geohydrologie  
BFPZ-Arsenal - Obj. 214  
A - 1030 Wien*

*Dr.G. RIEHL-HERWIRSCH*

*Institut für Geologie  
TU - Wien  
Karlsplatz 13  
1040 Wien*

*Dr.G. SCHÄFER*

*Geolog. Bundesanstalt  
Rasumofskygasse 23  
A - 1030 Wien*

*Prof.Dr.E. SCHROLL*

*Haidbrunnengasse 14  
A - 2700 Wiener Neustadt*

*Prof.Dr.W. VORTISCH*

*Inst.f.Prospektion u. angew.  
Sedimentologie  
Montanuniversität Leoben  
A - 8700 Leoben*

*Dipl.Ing.Dr.J. WIMMER*

*Oberösterreichische Umwelthanwaltschaft  
Stifterstraße 28  
A - 4020 Linz*

*Dr.G. WESSELY*

*Geologe ÖMV  
Siebenbrunnengasse 29  
A - 1050 Wien*

Barbara-Gespräche Payerbach 1995	Band 2	"Geogen - Anthropogen" "Hausmüllversuchsanlage Breitenau"	Seite 153 - 169 Abb. 1 - 2	Wien 1997
-------------------------------------	--------	--	-------------------------------	-----------

# BARBARA-GESPRÄCHE

## Payerbach 1995

Die Bohrung Payerbach Thermal 1  
Geologische Grundlagen - Ergebnisse

G. WESSELY



Payerbach,  
24. November 1995

## INHALT

1. Geologische Grundlagen	155
2. Durchführung der Bohrung	157
3. Geologisches Ergebnis	157
4. Porositätsverhältnisse	159
5. Vorläufiges hydrologisches Ergebnis	161
Literatur	162
Diskussion zum Vortrag	163

*Anschrift des Verfassers:*

*Dr. Godfried Wessely  
Siebenbrunnengasse 29  
A - 1050 Wien*

# Die Bohrung Payerbach Thermal 1

## Geologische Grundlagen - Ergebnisse

G.WESSELY

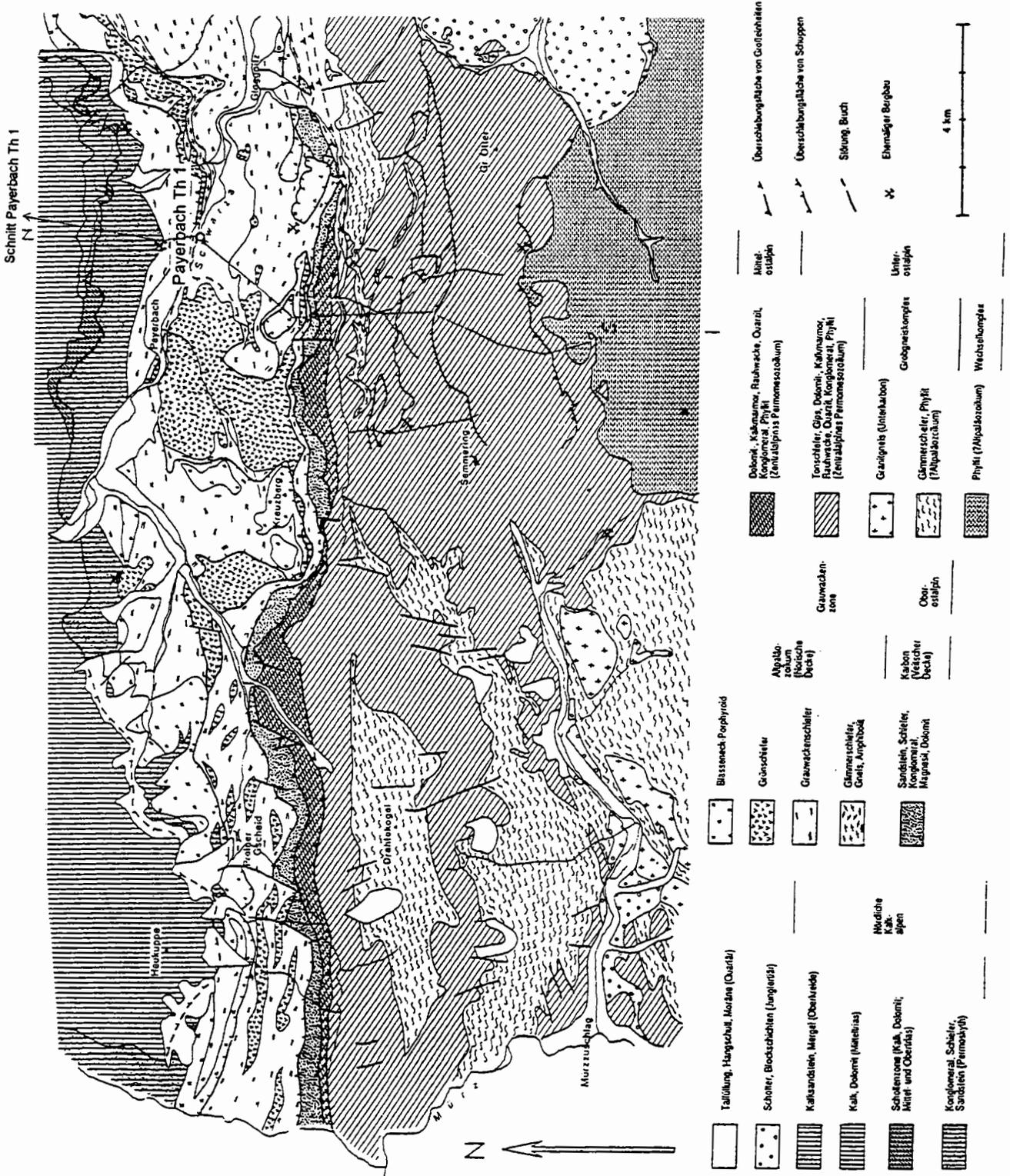
### 1. Geologische Grundlagen

Die Frage einer möglichen Nutzung von Thermalwasser im Raum des Bezirkes Neunkirchen im südlichen Niederösterreich führte zu einer Betrachtung, welche hydrologischen Systeme in diesem Teil des südlichen Wiener Beckens und der Alpen für eine Thermalwasserführung in Frage kämen. Auf Grund früherer Studien im südlichen Wiener Becken (G.Wessely 1983) konnte hier im südlichen Beckenteil eine solche im kalkalpinen Untergrund und Basisneogen ausgeschlossen werden, da Voraussetzungen für Zirkulationssysteme, wie sie weiter nördlich existieren (System Vöslau oder Baden-Oberlaa), hier nicht gegeben sind. Es strömt hier Kaltwasser beckenwärts und es existiert kein Effizienz dichtender Bruch, der eine Zirkulation mit in der Tiefe erwärmtem und randwärts aufsteigendem Warmwasser bewirken würde. Im Alpenraum dominiert im Kalkalpin auf Grund seiner seichten Lage Kaltwasserbedingung, dem auch das Wiener Hochquellwasser zu verdanken ist. Als geeignete tektonische Einheit bot sich somit das Semmeringsystem an. Es führt im mesozoischen Verband Speichergesteine und erreicht unter der Grauwackenzone Tiefen, die eine Erwärmung von Wässern durch die Tiefenwärme und eine Mineralisierung durch Anhydrite annehmen ließ. Porositäten waren in geklüfteten Dolomiten und Quarziten zu erwarten. Abdichtungen sollten die Grauwackenzone und Schieferabschnitte innerhalb des Semmeringsystems bieten. Erneuerbarkeit der Wässer von der Oberfläche war anzunehmen. Die Porositätsbedingungen und die Möglichkeit einer Mineralisierung konnten aus Bohrungen im Semmeringmesozoikum im Untergrund des Wiener Beckens abgeleitet werden. Es wurde ein geologisches Profil vom

Semmering über das Schwarzatal bis in die Kalkalpen entworfen, welches die Grundlage für weitere Überlegungen bildete (G.Wessely 1990). Dabei wurde der in der gesamten Fachwelt vertretenen Auffassung eines nördlichen Einfallens der Grauwackenzone unter die Kalkalpen und des Semmeringsystems unter die Grauwackenzone gefolgt (u.a. A.Tollmann 1964, 1977). Die Lagerung der Überschiebungsflächen wurde aus den geologischen Karten von H.P.Cornelius 1951 (1:25.000 mit Erläuterungen), H.P.Cornelius 1936 abgeleitet. Spätere Arbeiten vor allem von G.Mandl und A.Matura in: P.Herrmann et al.1992 (Neuaufnahme 1:50.000), G.Mandl u. A.Matura 1994 (Abb.1) bestätigen den angenommenen Bau. Über die geologischen Verhältnisse des Semmeringgebietes gaben u.a. Arbeiten von A.Tollmann 1968 und K.H.Neuner 1964 Auskunft. Geologische Begehungen und Beurteilungen wurden schließlich im Auftrag von Proterra Umwelttechnik durchgeführt (u.a. E.Vohryzka 1991).

Die Tiefenlage des Semmeringsystems (Mittel- und Unterostalpin unter der Grauwackenzone wurde bei etwa 2200 m angenommen, was bei Porosität eine Wasserführung mit über 60°C ergeben würde.

Nach Festlegung des Aufschlußgebietes wurde von OMV-Proterra eine seismische Untersuchung nach dem Vibroseisverfahren durchgeführt. Sie umfaßt drei Profile, zwei davon in Querrichtung und eines in Längsrichtung des lokalen alpinen Streichens. Die Ergebnisse der Seismik waren in Anbetracht der im alpinen Überschiebungsbereich üblichen oft unbefriedigenden Reflexionsbedingungen als erfolgreich zu bezeichnen und bestätigten die geologisch vorhergesagte Lage der Über-



Semmeringgebiet - geologische Übersicht (A. MATURA) in MANDL, G. UND MATURA, A. (1994)

Abb. 1: Semmeringgebiet - geologische Übersicht (A. MATURA) in G. MANDL und A. MATURA 1994

schiebungseinheiten im wesentlichen. Sie wurden nach Interpretation und Tiefenumwandlung von P.Niederbacher 1992 in der Erstellung seiner Studie "Thermalprojekt Bezirk Neunkirchen - Studie zur Abschätzung des Potentials für Thermalwasser und Vorplanung eines Bohrprojektes" eingebaut und eine Bohrlokation festgelegt. Spätere Verschiebungen des Bohrpunktes lagen weiterhin im Zielareal des Projektes. Als offene Frage verblieb, welche Schichten des Semmeringsystems unter der Grauwackenzone angetroffen würden und ob geklüftete Dolomite oder Quarzite darin enthalten wären.

## 2. Durchführung der Bohrung

Die Bohrung Payerbach Thermal 1 wurde in der Zeit vom 2.3.1995 - 11.5. 1995 durch OMV abgeteuft und bei einer Endteufe von 2700m (Maximalteufe) erfolgreich beendet. Es war dies die erste Bohrung mit einer derartig langen Bohrstrecke in der Grauwackenzone und dem Semmeringsystem. Die Verrohrung besteht aus einem 13 3/8" Konduktor von 0-236,4 m, zementiert bis zu Tage, einer 9 5/8" technischen Kolonne von 0-1205 m, zementiert bis zu Tage und einem 7" Liner von 1094,72-2191,5 m, zementiert bis Linerkopf. Die geologische Bohrbetreuung erfolgte durch Ch.Pröglhöf in Zusammenarbeit mit G.Wessely. Die petrographischen Untersuchungen wurden von R.Sauer 1995 (OMV-LAP), die Interpretation der Bohrlochmessung von R.Korinek 1995 (OMV) durchgeführt.

Das geologische Profil beruht auf einer kontinuierlichen lithologischen Erfassung der Spülproben (max. 5m Bohrabstand), aus denen ein Klebelog im Maßstab 1:1000 angefertigt wurde (Ch.Pröglhöf), einem Bohrkern (2293-2302 m) sowie folgenden Bohrlochmessungen: CNL/-GR, CE, IEL, LL3, IC, Kaliber, Temperatur. Der vorläufige petrographische Befund bestätigt im wesentlichen die ermittelte Lithologie. Es wurden je nach Erfordernis in Abständen von 20-30 m Dünnschliffe von Gesamtproben als auch selektierte Cuttings untersucht, statistisch ausgewertet und dokumentiert (R.Sauer). Eine eingehendere Darstellung ist vorgesehen. Die Bohrlochmessun-

gen erharteten bzw. präzisierten die stratigraphisch-tektonischen Grenzen. Das bisherige Gesamtergebnis der Bohrung ist in einem Internbericht (Ch.Pröglhöf und G.Wessely 1995) festgehalten.

## 3. Geologisches Ergebnis

Die Bohrung hat im wesentlichen das angenommene und durch die Seismik gestützte geologische Profil angetroffen (Tab. 1), nämlich Obere und Untere Grauwackendecke und Semmeringsystem mit ?Mittel- und Unterostalpinem Permomesozoikum

Die Obere Grauwackendecke (Norische Decke) beginnt unter geringmächtigem Flußschotter der Schwarza mit Metadiabas bzw. Amphibolit, der als Marker am Top einer tieferen Teileinheit der Norischen Decke angesehen werden kann. Nach A.Matura und G.Mandl 1994 bilden Amphibolite neben anderen Kristallingesteinen die ehemalige Basis dieser demnach vermutlich inversen untersten Teileinheit. Darüber liegen nach genannten Autoren zwei weitere Teileinheiten, die jedoch bereits nördlich außerhalb der Bohrung zutage treten. Die Norische Decke setzt sich unter den Amphiboliten fort mit einer sehr mächtigen Serie von Chlorid- und Serizitphylliten, Quarzphylliten und Serizitquarziten mit Einlagerungen von Quarzkonglomeraten der Silbersberggruppe, wie sie von der Oberfläche bekannt sind (A. Matura in P.Herrmann et.al., Geol.Karte 1:50.000, 1992). Innerhalb der Serie ist eine 246m mächtige Strecke von Forellengneis eingeschaltet, dessen tektonische Stellung noch nicht ganz geklärt ist (J.Zemann 1950). Im Gamma Ray-Log ist er durch eine scharf abgegrenzte Strecke stark erhöhter Strahlung gekennzeichnet. Bei 1855 m wurde die Überschiebung der Oberen auf die Untere Grauwackendecke (Veitscher Decke) durchbohrt, deren Gesteinsinhalt aus anthrazitisch-graphitischen Schwarzschiefern, Quarzkonglomeraten und Quarziten besteht. Im Verlauf dieser Bohrstrecke traten Gasanzeigen auf, die als Methan und etwas Ethan identifiziert wurden und offensichtlich im Zusammenhang mit den

Teufe [m]	Tektonische Haupteinheit	Tektonische Untereinheit	zeitliche Einstufung	Lithologie
0 - 4			Quartär	Grobschotter
4 - 17	Grauwackenzone	Obere GW-Decke (Norische Decke)	Paläozoikum	Amphibolit
17 - 539				Serizit- sowie Chloritphyllite grünlich, grau-teils violetter Stich [385 bis 520 m]; Quarzkonglomerate; Metawacken; Serizitquarzite; Calzitadern
539 - 785				Riebeckit- Gneis
785 - 1855				Serizitphyllite (grünlich teils violetter Stich [1200 1855 m]; Serizitquarzite; Quarz- sowie Calzitadern
Überschiebung				
1855 - 2053	Grauwackenzone	Untere GW-Decke (Veitscher Decke)	Paläozoikum	Tonschiefer graphitisch; Einlagerungen von Quarzkonglomeraten und Quarzwacken
Überschiebung				
2053 - 2112	Zentralalpin, Semmeringsystem	Mittelostalpin?	Mitteltrias	Anhydrit-Karbonat-Komplex (= obertägiger Rauwackenhorizont)
2112 - 2185			Untertrias/ Oberperm	Semmeringquarzit u. Verrucano; Quarzit; Serizitschiefer (grünlich bis grau)
2185 - 2340		Unterostalpin	Obertrias, Keuper	Quarzit; Serizitquarzit; von 2250 bis 2325 m gestört z.T. mylonitisiert
2340 - 2700				Tonsschiefer, grün und violett, mit Lagen von Dolomit rötlich bis bräunlich [von 2394 bis 2470 m] sowie Quarzitlagen; zw. 2685÷2695 m Anhydrit weiß

Tabelle 1: Geologisches Kurzprofil:

kohligen Substanzen der Schwarzschiefer stehen. Die Überschiebung der Grauwackenzone auf das Semmeringsystem wurde bei 2053 m durchbohrt. Dieses beginnt mit Semmeringtrias in Form eines Karbonat-Anhydritkomplexes. Der Position nach könnte er den obertags über eine große Erstreckung beständigen mitteltriadischen Rauwackenhorizont des ?Mittelostalpin darstellen. Er wird unterlagert von Serizitschiefern, Serizitquarziten und Feldspatquarzit. Gegen die Basis erscheinen auch graue Schiefer, die an Tattermannschiefer des Verrucano erinnern. Ab 2185 m folgt darunter Quarzit in ziemlich einheitlicher Ausbildung bis 2340 m. Typisch dabei ist immer ein stärkerer Anteil von Feldspat und vor allem Anhydrit in Adern und

im Sediment. Auf Grund der Lithologie, vor allem der Assoziation mit Anhydrit wurde der Quarzit dem Keuper zugeordnet. Dies auch im Hinblick auf Unterlagerung durch eine ab 2340 m einsetzende Serie von bunten (grünen und violettgrauen) Serizitschiefern und grünen Serizitquarziten, denen sich im höheren Teil rötlichbraune Dolomite ("Marzipandolomite" nach H. Neuner 1964) einschalten und die gegen Sohle zu von sandigen Dolomiten mit Anhydrit, Quarzit mit Anhydrit und auch reinem Anhydrit unterlagert werden. Diese Gesteinsvergesellschaftung entspricht dem gipsführenden Keuper, wie er im Göstritz-Mulden- und Faltensystem des Semmeringgebietes auftritt. Ein Bohrkern bei 2293-2302 m (Kerngewinn 1 m) im Quarzit zeigte

stärkere tektonische Zerrüttung und streckenweise Mylonisierung und ließ auf stärkere Kluftporosität schließen. Mylonite bestehen hauptsächlich aus Quarzteilchen. Sowohl im Quarzit als auch im Mylonit wurden Kluftfüllungen durch Anhydrit beobachtet. Der Quarzit zeigt Schichtung infolge Korngrößenunterschiede. Das Einfallen beträgt  $20^\circ$ . Bei einer Bohrlochneigung von  $22^\circ$  bei Kernteufe ergibt sich somit entweder flache Lagerung oder ein Einfallen von  $42^\circ$  gegen Norden. Kappungserscheinungen in Abschnitten mit Schrägschichtung lassen auf inverse Lagerung schließen.

Das Bohrprofil ermöglicht im Zusammenhang mit den von der Oberfläche bekannten Strukturdaten eine Schnittdarstellung (Abb. 2). Für die Konstruktion derselben ist zu berücksichtigen, daß die Bohrung einen Abweichverlauf mit einem Neigungswinkel von durchschnittlich  $17,1^\circ$ , max.  $31^\circ$  im Gesamtazimut von  $189,1^\circ$  hat. Die Abweichung ergab sich infolge es Nordfallens der Schichten der Grauwackenzone und vermutlich auch des Semmeringsystems und wurde absichtlich nicht beeinflußt. Dadurch konnte die Überschiebung der Grauwackenzone über das Semmeringsystem in einer höheren Position angetroffen werden und es stand eine größere Bohrstrecke für das Semmeringsystem zur Verfügung. Ebenso konnte zumindest für die Grauwackenzone das Streichen ermittelt werden, da sich der Bohrmeißel meist senkrecht auf Schichtflächen zu stellen trachtet. Somit wurde das ungefähre E-W Streichen auch im Untergrund bestätigt. Mangels Dipmeterinformation konnten jedoch keine Einzelwerte, vor allem keine Einfallswinkel, ermittelt werden. Dennoch ergibt das Bohrprofil eine plausible Darstellung des Baues der Grauwackenzone. Die strukturelle Interpretation unterhalb der Überschiebung der Grauwackenzone muß mangels direkter Anknüpfungsmöglichkeit zur Oberfläche als weniger gesichert angesehen werden. Da an der Oberfläche Mittelostalpin bzw. Tattermannschuppe mit Rauhacke und mit Permoskythquarzit und Verrucano in sehr beständiger Erstreckung die Veitscher Decke unterlagert, wird diese Anordnung auch hier

vermutet. Bei Zugrundelegung der Annahme, daß die Schichten unterhalb 2185 m bis Sohle dem Semmering-Keuper angehören und invers liegen, bietet sich als wahrscheinlichste Deutung die einer Faltenbildung an, wobei die Bohrung eben erst gegen einen Muldenkern vorgedrungen ist. Die Vergenz der Falte könnte allerdings auch in Gegenrichtung zeigen. Der Keuper liegt offensichtlich auf der Adlitzschuppe des unterostalpinen Semmeringsystems und kommt als Schichtglied dieser Einheit nicht zutage.

#### 4. Porositätsverhältnisse

Triasdolomite, die in konventioneller Weise gute Porositäten garantieren würden, wurden nicht angetroffen. Allerdings besitzen die mächtigen Quarzite auf Grund ihrer Klüftung ähnliche Speichergesteinsbedingungen.

Die Porositätsbestimmungen wurden durch das CNL-GR in Verbindung mit dem Spülprofil ermöglicht, wobei Einzelklüfte kaum erfaßbar sind. Diese wird es wohl im gesamten Bohrabschnitt der verrohrten Strecke von 0-2191,5 m geben. In kurzen Strecken wurden hier auch Porositäten bis zu maximal 20% interpretiert. Von Bedeutung ist eine innerhalb des Keuperquarzites durch Logs, durch den Kern und durch die Unterschiede in der Bohrgeschwindigkeit ermittelte Porositätszone von 2250-2325 m. Innerhalb der Keuperschiefer wurden in geringmächtigen Dolomit- und Quarziteinlagerungen einzelne weitere Porositätsbereiche gemessen. All diese Porositäten sind Kluftporositäten und eine einheitliche quantitative Porositätermittlung ist daher nur größenordnungsmäßig durchführbar. Die Porositäten bewegen sich nach Log zwischen 9-13%, was für Kluftlagerstätten eher gute Werte darstellen. Dort, wo das Neutronlog eine hohe Porosität anzeigt, geht im CE der Widerstand trotz des hohen Gesteinswiderstandes zurück, was auf Wasserführung hindeutet. Aus dem Bohrkern (2293-2302 m) konnte keine Gesamtporosität (Kluft- und Matrixporosität) ermittelt werden. Die Matrixporosität wurde mit 1,3% gemessen. Dabei handelt es sich um einen Wert, welcher

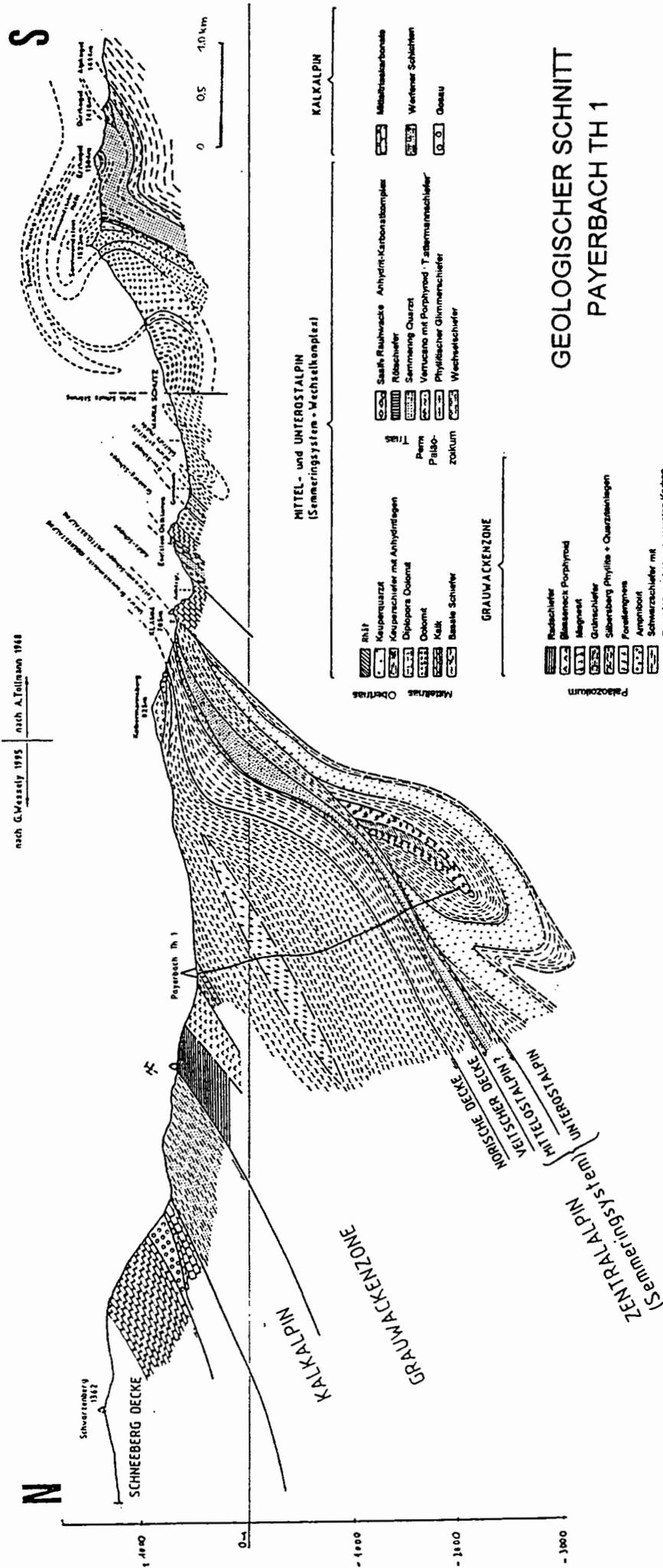


Abb. 2: Geologischer Schnitt, Bohrung Payerbach TH1

Komponenten	mg/l	Komponenten	mg/l
Bor	0,8	Chrom	0,089
Hydrogencarbonat (HCO <sub>3</sub> )	167,0	Eisen	24,9
Chlorid(Cl)	133,0	Kalium	111
Nitrit(NO <sub>2</sub> )	<0,1	Kobalt	<0,005
Nitrat(NO <sub>3</sub> )	<1,0	Kupfer	0,024
Sulfid(S)	<0,02	Lithium	0,46
Sulfat(S)	3647	Magnesium	199
Aluminium	6,54	Mangan	0,77
Ammonium(NH <sub>4</sub> )	<0,05	Natrium	1310
Barium	0,11	Nickel	0,06
Beryllium	<0,001	Gesamtphosphor(P)	0,33
Blei	0,011	Silber	0,017
Cadmium	<0,001	Strontium	2,55
Calcium	268	Zink	0,1

*Tabelle 2: Chemismus des Wassers (Analyse des Geotechnischen Institutes der Abteilung Hydrogeologie des Bundesforschungs- und Prüfungszentrums Arsenal):*

in seiner Größenordnung über den von dolomitischen Speichergesteinen liegt. Die Mylonite im Kern besitzen eine Porosität von 7%.

## 5. Vorläufiges hydrologisches Ergebnis

Nach Abschluß der Bohrtätigkeit wurde ein Openhole Test aus dem Rohrschuh des 7" Liners (Tiefe 2191,5m) durchgeführt (17.5.-19.5.1993). Ziel des Tests war der Keuperquarzit, der bei 2250-2325 m eine Porositätszone aufweist. Im Bereich von 0 m bis 2420 m wurde die Spülung durch Süßwasser ersetzt. Die Strecke unterhalb des Quarzits bis zur Endtiefe blieb weiterhin mit viskoser Spülung versehen. Dabei wurde durch den Einsatz einer Mammutpumpe in mehreren Intervallen innerhalb von 2 1/2 Tagen rd. 166 m<sup>3</sup> Süß- sowie Formationswasser herausgefördert. Die reine Pumpzeit betrug rd. 30 Stunden. Wenn man die innerhalb der Verrohrung vorhandene Wasserspülung von rd. 65 m<sup>3</sup> abrechnet, wurden insgesamt rd. 101 m<sup>3</sup> Formationswasser zu Tage gefördert.

Infolge überhydrostatischen Druckes (Kopfdruck 5,8 bar) lief die Sonde zunächst mit 350 l/h, später mit 700 l/h bei steigender Tendenz über. Der eingebaute Druckmessgeber (in 1000 m Teufe) ergab nach Auswertung der aufgezeichneten Daten eine Differenz zwischen gemessenem und erforderlichem Druck, was auf einen Skineffekt schließen läßt (= Behinderung des Zuflusses durch Spülungsreste in der Bohrlochnähe).

Durch eine kontinuierlich entlang des gesamten Bohrloches durchgeführte Temperaturmessung wurden auf Sohle 57°C und im Förderintervall bei 2300 m 49,3° C registriert. Diese etwas zu niedrige Temperatur könnte auf den Kühleffekt der Bohrspülung oder auf eine regionale Abkühlung durch Oberflächenwasser zurückzuführen sein.

Die Untersuchungsergebnisse des Wasserchemismus sind infolge Beeinflussung durch technisches Wasser und Bohrspülung noch als vorläufig zu betrachten (Tab.2). Es ist jedoch bereits jetzt nach Vergleichen mit anderen genutzten Quellen, dokumentiert bei J.Zötl und J.E.Goldbrunner 1993, eine hohe Mineralisierung bei relativ geringem Chlorid

gehalt und hohem Sulfatgehalt festzustellen, der unschwer aus dem Anhydrit des Semmeringkeupers zu beziehen ist. Die endgültige Ermittlung des Potentials und einer formationsreinen Chemismus- und Altersbestimmung ist erst nach einem Langzeittest möglich.

### Danksagung

*Der Autor dankt seinen Kollegen von ÖMV (Proterra-Umwelttechnik, Bohrbetrieb, LAP und Exploration) für eine konstruktive und freundliche Zusammenarbeit und der Alpen-therme Payerbach GmbH für die Genehmigung zur Veröffentlichung.*

### Literatur

- CORNELIUS, H.P. (1936) Geologische Karte des Raxgebietes 1:25.000, Geologische Bundesanstalt Wien
- CORNELIUS, H.P. (1951) Geologische Karte des Schneeberges und seiner Umgebung, Geologische Bundesanstalt Wien
- CORNELIUS, H.P. (1951) Die Geologie des Schneeberggebietes Erläuterungen zur Geologischen Karte des Schneeberges 1:25.000 - Jb.Geol.BA, Sb.2, 111p., Wien
- HERRMANN, P., MANDL, G.W., MATURA, A., NEUBAUER, F., RIEDMÜLLER, G. UND TOLLMANN A. (1992) Geologische Karte der Rep.Österreich 1:50.000, 105 Neunkirchen - Geologische Bundesanstalt Wien
- HÖCK, V. (1994) Die Geologie der Umgebung von Payerbach -Reichenau - Bericht Geo-Byte, 6p., Salzburg
- KORINEK, R. (1995) Payerbach Thermal 1, Auswertung der Bohrlochmessungen 5p. - Internbericht ÖMV -PE-LM
- MANDL, G. UND MATURA, A. (1994) Geologischer Überblick über das Semmeringgebiet - Mitt.f.Baugeologie und Geomechanik (Baugeologische Tage Payerbach 1991), Bd.3, p.77-83, Wien
- NEUNER, K.-H. (1964) Die Gipslagerstätten des Semmerings - Berg-und Hüttenmännische Monatshefte, 109-Jg.H.10, p.319-331, Wien
- NIEDERBACHER, P. (1992) Thermalprojekt Bezirk Neunkirchen, Studie zur Abschätzung des Potentials für Thermalwässer und Vorplanung eines Bohrprojektes, 18p. - Internbericht ÖMV Gruppe, Proterra Umwelttechnik
- PRÖGLHÖF, CH., WESSELY, G.(1995) Bericht zu den geologischen Ergebnissen der Bohrung Payerbach Th1 im Raum Payerbach-Reichenau, 13p, Internbericht ÖMV Gruppe, Proterra Umwelttechnik i.A. E.LICHTENBERGER, Alpen-therme Payerbach GmbH.
- TOLLMANN, A. (1964) Exkursion II,2,6: Semmering-Grauwackenzone - Mitt. Österr.Geol.Ges.57, p 193-203, Wien
- TOLLMANN, A. (1977) Geologie von Österreich Bd.1, 766p., Verl. Deuticke Wien
- VOHRZYKA, E. (1991) Thermalwasserprojekt Bezirk Neunkirchen, 10p. - Internbericht f.ÖMV Gruppe Proterra Umwelttechnik
- WESSELY, G. (1983) Zur Geologie und Hydrodynamik im südlichen Wiener Becken und seiner Randzone - Mitt. Geol.Ges.Wien, 76 p.27-68, Wien
- WESSELY, G. (1990) Beurteilung der Möglichkeit einer Thermal-Bohrung im Raume Reichenau a.d.Rax, 5p. - Internbericht ÖMV Proterra Umwelttechnik, Wien
- ZEMANN, J. (1995) Zur Kenntnis der Riebeckitgneise des Ostendes der nord-alpinen Grauwackenzone - Tscherm.Min. Petr.Mitt.3, F.2, Wien
- ZÖTL, J. UND GOLDBRUNNER, J.E.(1993) Die Mineral- und Heilwässer Österreichs 329p., Verl.Springer Wien.

## DISKUSSION :

## Die Bohrung Payerbach Thermal 1

### Geologische Grundlagen - Ergebnisse

**SCHROLL:** Der Riebeckitgneis ist ein äußerst interessantes Gestein, petrographisch wie geochemisch gesehen, und in dieser Mächtigkeit, Sie geben an ca. 250 m, von obertage nicht bekannt. Die erste Frage: Ändert sich der petrographisch in diesen 250 m? Die zweite ist eine Bemerkung: die Radiometrie würde ich nicht unbedingt auf den Feldspat zurückführen, als Alkaligestein hat er sicher eine Menge Zirkon und daher auch Uran und Thorium; daher auch die nächste Frage, wie schaut die Radiometrie des Permoskyth aus, verglichen mit dem Riebeckitgneis und die dritte Frage, wie sieht es denn aus mit Anzeichen von Mineralisationen innerhalb der Grauwackenzone in der Bohrung?

**WESSELY:** Zur ersten Frage: natürlich ist verschiedenes noch petrographisch in Arbeit. Wir haben vor, mit Kollegen Dr. Roman Sauer, ÖMV, der schon sehr viele Untersuchungen durchgeführt hat, eine Arbeit über die Lithologie und Petrographie der Grauwackenzone zu publizieren. Er sagt, daß hier mineralogisch verschiedene Abschnitte vorhanden sind. Er hat das Bohrmaterial auch verglichen mit dem der Gloggnitzer Aufschlüsse und in einem Abschnitt stimmt das überein. Ich muß Sie, da das noch in Arbeit ist, bezüglich der genaueren Petrographie noch vertrösten.

Die zweite Frage, die Strahlung: unser Eindruck war, daß sie aufgrund des Feldspates auftritt. Immer steigt die Strahlung bei viel Feldspat; die Lunzer Schichten etwa sind sehr feldspatreich, da hat man immer eine sehr hohe Strahlung. Im Labor der ÖMV gibt es ein Gerät, mit dessen Hilfe man in Form einer Untersuchung am Handstück Korrelationen herstellen kann. Vielleicht ist es eine gute

Anregung, das durchzuführen. Zur Frage der Mineralisierung: wir haben immer darauf gewartet, einen Erzkörper antreffen, aber anscheinend ist in dieser Serie nichts besonderes vorhanden. Hier und da war eine Erzspur da, aber nicht in dem Maße, wie dies in der Grauwackenzone mit ihren vielen Erzkörpern anzunehmen war. Vielleicht sind wir nicht in der entsprechenden Einheit gewesen.

**SCHROLL:** Eine Zusatzbemerkung noch. Auf der Petrographie in Wien beschäftigt sich Prof. Koller mit dem Riebeckitgneis und von dem weiß ich zufällig per Gespräch, daß da über 300 ppm Zirkon in dem Gestein drinnen sind, wodurch die Vermutung, die ich zuerst geäußert habe, an Wahrscheinlichkeit gewinnt. Und noch ein kleines Detail: die Glimmer in diesem Riebeckitgneis sind sehr lithiumreich, was mit dem rhyolitischen Gesamtgesteinschemismus sehr gut zusammenpaßt und auch ein sehr interessantes Detail darstellt.

**WIMMER:** Eine Frage, was war das für ein Erz ?

**WESSELY:** Siderit.

**SCHROLL:** Sie haben das Wasser zwar noch nicht rein, trotzdem frage ich, was ist das für ein Wasser? Ist es vom Gips herzuleiten, ist es ein altes meteorisches Wasser? Müßte es ja sein, weil ja der Chloridgehalt sehr gering ist.

**WESSELY:** Es kommt sicher nicht aus einem Tiefenbereich, wo Erdölbildung stattgefunden hat, sonst hätten wir den Chloridgehalt drinnen, aber das Wasser ist Süßwasser. Ich stelle mir vor, daß in der Tiefe der Anhydrit einiges geliefert hat. Dies, im Zusammenhang mit Süßwasser von der Oberfläche, was sehr schön

wäre, denn das würde zeigen, daß man sowohl eine Erneuerbarkeit von der Oberfläche hat, als auch die willkommene Mineralisierung vom Anhydrit her. Wir haben in unseren Lagerstättenwässern in der Ölwirtschaft nie solche sulfatreichen Wässer gehabt.

SCHROLL: Ist der Anhydrit blau oder grau ?

WESSELY: Hellgrau; man kann sehr schwer unterscheiden im Handstück zwischen dem Dolomit und dem Anhydrit. Wir haben am Anfang diesbezüglich sehr große Schwierigkeiten gehabt, beides braust nicht mit HCl, erst in der mineralogischen Untersuchung haben wir dann gesehen, das ist typisch Anhydrit.

SCHROLL: Ich glaube, gerade weil ich hier den Dr. Rank sitzen sehe, sehr interessant wäre es, die Isotopen anzuschauen. Vielleicht kann man dann doch über den Deuteriumgehalt oder was auch immer für Fragen beantworten.

RANK: Meines Wissens nach sind Wässer bei uns gemessen worden, allerdings nicht im Auftrag meiner Abteilung. Selbst wenn ich sie genau in Erinnerung hätte, dürfte ich darüber nichts sagen. Das müßte freigegeben sein. Ich weiß nicht, ob schon ein C14 gemacht wurde. Ich kann sagen, soweit ich es in Erinnerung habe, ein Meereswasser war es sicher nicht, es war Süßwasser. Ich kann mich nur dunkel an den O18-Gehalt erinnern. Es kommt auch kein allzu altes Wasser in Frage. Wenn ich mich recht erinnere, ist der O18-Gehalt nicht so niedrig, daß wir eiszeitliche Gewässer hätten. Aber wie gesagt, erstens weiß ich die Daten nicht so genau und zweitens, wenn da noch die Möglichkeit von Bohreinflüssen ist, weiß ich nicht, was gesehen wurde. Dann sind höchstwahrscheinlich noch andere Einflüsse dabei und ich kann nur dringend empfehlen, wenn man das rinnen läßt, von Zeit zu Zeit eine Probe abzufüllen, die Lagerung ist kein Problem, man muß es auch nicht sofort zur Analyse geben. Aber das würde ich ganz dringend empfehlen, denn das ist nie wiederholbar und später kennt man nicht die Entwicklung. Man sollte sicher auch rechtzeitig, ich weiß nicht, ob es gemacht

wurde, die erste C14 Probe machen. Nicht weil wir ein Geschäft machen wollen; wenn die Bohrung so teuer ist, dann kommt es auf diese paar lächerlichen Sachen nicht an.

LICHTENBERGER: Im Moment steht die Bohrung nach diesem Mammutpumpversuch, der unternommen wurde, so, daß das Bohrloch noch einmal aufrotiert werden mußte, weil der untere Teil verlegt war, und das ist mit Spülung geschehen, daher sind derzeit die Klüfte noch mit Spülung verlegt. Das Bohrloch ist zwar seither geöffnet worden, es sind aber noch immer nicht 70 m<sup>3</sup> ausgetreten, sodaß derzeit noch immer Spülungswasser drinnen ist. Erst wenn jetzt der Langzeitpumpversuch gemacht und die Pumpe auf 1000 m Tiefe eingebaut wird, dann werden durch den Unterdruck die Spülungsreste emporgespült und erst dann wird man richtiges Formationswasser bekommen.

WESSELY: Der Langzeittest ist schon bis aufs Kleinste geplant. Ich glaube, wenn der durchgeführt wird, dann werden alle diese Sachen, die Du jetzt angeführt hast, untersucht und auch druckmäßig wird alles penibel gemessen werden. Aber auf was ich noch hinweisen wollte, ist, daß bei der ersten Druckmessung ein Skineffekt festgestellt wurde, d.h. der Druck, der festgestellt wurde, hat nicht übereingestimmt mit dem Druck, der vorhanden hätte sein sollen. Das ist ein Hinweis darauf, wie Herr Lichtenberger sagte, daß noch sehr viel mit Spülung verlegt war und jetzt vielleicht noch immer ist. Das heißt, es ist neuerlich eine Verkleisterung passiert.

DEMME: Wenn man das Profil anschaut, hat man den Eindruck, man hat eigentlich zu früh aufgehört. Ich weiß schon, daß das jetzt möglicherweise ein technisches Problem ist, man war auf eine Bohrung von etwa 2500 m Tiefe eingestellt und kann natürlich jetzt nicht beliebig weitergehen. Meine Frage: das Loch ist einmal da, kann man es nicht doch noch nützen, gibt es nicht doch noch Möglichkeiten, daß man tiefer geht. Man bekommt unwillkürlich den Eindruck, wenn man dem nur einigermaßen glaubt, und wenn's der Wessely gezeichnet hat, dann glaube ich's, da kommen

doch nachher noch Serien oder sind Serien nicht auszuschließen, die erst recht als potentielle Wasserträger oder Porositätskörper gelten könnten und die das Reservoir für den Zweck des Unternehmens sein können - die Bohrung ist ja nicht zum Spurenelementsuchen abgeteuft worden, sondern sollte doch einen praktischen Zweck haben, und der ist ja nach den Darstellungen bis jetzt offenbar nicht so hundertprozentig erfüllbar gewesen. Jetzt hat man das Loch und es juckt einen halt, banal gesagt, kann man nicht noch ein Stückchen tiefer gehen, denn jetzt wird es ja erst interessant. Das ist kein Vorwurf, daß man 2500 m oder so in etwa prospektiert hat, daß man dort schon ist, wo man glaubt, daß man sein sollte, denn das wußte man ja nicht vorher. Aber jetzt weiß man ein bißchen mehr und entweder läßt man da unten die Zeichnung weg oder es zwingt uns zu der Frage des Weiterbohrens. Also ich bitte von der technischen und geologischen Seite mir das ein bißchen zu erläutern, sodaß ich das verstehe.

WESSELY: Es hat uns auch gejuckt. Ich rede einmal nur von der Bohrtechnik und komme dann auf die Geologie. Ich habe erwähnt, daß man eine Gesamtabweichung von durchschnittlich 17 Grad und maximal sogar von 30 Grad gehabt hat, und der Wechsel von flach zu steil ist technisch immer ungünstig. Es ist schon sehr schwierig, bei normalem Gebirge, ob Neogen oder Kalkalpin, aber in einem Bereich, wo ich immer wieder abrasive Gesteine habe, ist es technisch sehr schwierig bei unverrohrter Strecke - zwischen 2.191 m und 2.700 m wo die Sohle ist - in einem so schrägen Loch noch weiter zu bohren. Ich würde es nicht verantworten, wenn ich ein Techniker wäre. Es braucht beispielsweise nur durch die Abrasivität ein Loch im Gestein entstehen, dann hat man Zirkulation durch das Loch und unten rührt sich nichts, das heißt, der Meißel kann beinhardt fest werden. Das sind die Probleme: die Neigung, das ungünstige Gebirge, dann die Schiefer. Sie wissen sicher selbst, welch technisch miesen Charakter der Keuper hat.

Jetzt zur Geologie, daß ich mich nicht auf die Technik ausrede. Geologisch ist zu sagen, wir

haben probiert, ob man aufgrund der Bohrlochmessungen irgendeine Symmetrie im Meßkurvenverlauf oder irgendeine Wiederholung kriegen kann, aber nichts. Das heißt, wir haben eine zusammenhängende Serie gehabt, und wenn man noch den Hinweis hat, daß sie verkehrt liegt, müßte man dann erwarten, daß noch einmal eine so eine mächtige Serie kommt, der Gegenflügel einer liegenden Mulde, und dann müßte man bis 3500 m bohren. Ich würde, das ist nach wie vor meine Meinung, nicht ohne Verrohrung weiterbohren. Das wäre viel zu riskant. Wenn es dann wirklich zu einer Havarie kommt, hat man das verloren, was man schon hat. Als nächstes kommt natürlich noch eines hinzu: mit der Tiefe wachsen die Kosten exponentiell. 3500 m, das ist schon eine Tiefe, wo es sehr teuer wird. Ehe ich die Millionen, die ich da mehr brauche, nur einer Wasserbohrung aufdividiere, würde ich viel lieber, und das sage ich jetzt frank und frei ohne Wissen, was die Unternehmer oder Politiker beschließen würden, dieses Geld für eine zweite Bohrung verwenden, vielleicht etwas weiter im Süden, und ich würde schauen, daß ich ein karbonatisches Speichergestein doch bekomme, vielleicht mit weniger Temperatur und vielleicht weniger mineralisiert, aber mit einer größeren Sicherheit. Bist Du einverstanden damit?

DEMMEER: Nein.

WESSELY: Ja das ist das Geologenherz, ich kenne das.

DEMMEER: Was ist, wenn der Dauerpumpversuch zum Beispiel nicht zielführend ist oder den Zweck der Bohrung nicht rechtfertigt? Kann man die Verrohrung dann weiterführen und im Schutze dieser Verrohrung mit einigermaßen günstigen Kosten das Bohrloch vertiefen, oder ist das trotzdem dann schon so teuer, ohne das Risiko des Versturzes, daß man eben diese von Dir angesprochene zweite Bohrung damit finanzieren könnte. Wenn der Preisunterschied derartig groß ist, dann sehe ich das schon ein, das ist eine gute Antwort. Aber es kann ja jetzt sein, daß die Temperatur nicht so hundertprozentig paßt, und möglicherweise ist auch die Kapazität des

Wasserstromes nicht ausreichend, um hier was größeres draus zu machen. In der Einsicht, daß das jetzt alleine nicht genügt, könnte man dann noch tiefer reinschauen oder kann man das nicht?

WESSELY: Das ist eine andere Voraussetzung. Also wenn jetzt alle Stricke reißen, wenn wirklich nichts herauszuholen ist, würde ich, bevor ich die Bohrung liquidiere, das ist jetzt aber auch meine private Ansicht, eine Verrohrung hineingeben bis auf Sohle und würde weiterbohren. Das ist für mich ein ganz klarer Fall. Aber mit den Kosten, da kann man nicht heruntergehen. Es wird eben teuer, weil der Bohrkopfwechsel viel länger dauert, die Dimension vom Meißel wird schon eine ganz kleine, ich glaube mit 4 Zoll müßte man da herausbohren, das ist schon wie beim Zahnarzt, und natürlich, je kleiner die Dimension, desto unsicherer ist es auch, daß ich wirklich die 3500 m oder was ich brauche, erreiche. Das Gestänge ist ja dann auch viel dünner und viel flexibler. Also ein gewisses technisches Risiko bleibt und die Kosten bleiben auch noch. Aber Du hast recht, wenn gar nichts mehr zu holen ist - ich glaube das nach wie vor nicht, ich glaube man bekommt mit Stimulation genügend raus, bevor die Bohrung liquidiert wird, dann ist das schon ein Weg. Aber dann muß man auch den Geldgeber dafür finden.

RIEHL-H.: Darf ich dazu noch einige Bemerkungen machen oder Fragen stellen. Eine Frage, ich fange mit der harmlosesten an, ist die mit dem Dolmen. Ich habe mir den schon einige Male angeschaut und er ist an der untersten Sedimentationsebene. Also jedes Schwarza-Hochwasser müßte ihn binnen kürzester Zeit eingebaut oder eingeschwämmt haben, wenn man jetzt nicht die Kreuzungen von irgendwelchen dubiosen Strahlungen als so bedeutend ansieht. Dann ist es ja nicht ganz von der Hand zu weisen, daß hier Gesteine verwendet wurden, die in den Steinbrüchen im vorigen Jahrhundert für den Bau der Semmeringbahn überall gewonnen wurden. Wenn ich mir das genau anschau, ist es auch ein Grünschiefer aus einem dieser Brüche. Also ich glaube schon, daß das eher ein Werk

aus dem vorigen Jahrhundert ist, es spricht alles dafür. Ich kann es natürlich mystifizieren, das ist durchaus möglich, aber ich würde es nicht unbedingt so forcieren.

Die andere Frage ist die, die jetzt gerade diskutiert wurde. Meines Wissens nach liegt der Semmeringquarzit überall verkehrt, im ganzen System. Also brauche ich keine lokale Falte, sondern ich nehme es einfach zur Kenntnis. Clar hat das zu unserer Studienzeit als überfahrene Stirn des Unterostalpins gedeutet, diese verkehrte Lagerung, das müßte man dabei überlegen.

Die dritte Frage betreffend das Wasservolumen ist die grundsätzliche. Ich kann mich an die Diskussion bezüglich der Semmeringbahn oder des Semmeringtunnels erinnern und dort ist man eigentlich bei der Wasserbilanz oder bei den ersten Ansätzen zu einer Wasserbilanz draufgekommen, daß eher zu viel oben rausrinnt und man weiß gar nicht, woher das kommt. Also wo soll man jetzt da unten im Semmeringsystem noch so viel Wasser herbekommen? Das ist eine Frage, die ich dazu stelle, vom überhaupt grundsätzlichen Vorhandensein solcher Zuflüsse und wann man die Zuflüsse hat, wo und in welchen Bereichen könnten sie liegen?

WESSELY: Ich will gleich bei dem Dolmen anfangen, ich habe vergessen zu sagen, ob echt oder unecht, ich bestehe nicht unbedingt darauf, daß der jetzt 3000 Jahre alt ist. Das steht aber auch schon im Buch bei K.Lukan "Seltsame und sonderbare Heilige", daß es da einen Streit gegeben hat und daß Zweifel aufgetreten sind. Genauso mit den Kraftlinien. Das war jetzt die Antwort auf die harmlosere Frage, die sich an eine launige Bemerkung am Ende meines Vortrages anknüpft.

Die zweite Frage ist die der verkehrten Lagerung. Es ist so, daß man unter diesem Anhydrit-Karbonat-Komplex Schiefer (Röt?) und dann Quarzit angetroffen hat. Das wäre ja eine normale Folge. Was verkehrt läge, das ist die Einheit darunter, die mit Quarzit des Keupers einsetzt. Also ich würde zwischen den grauen Schiefeln und dem Quarzit darunter eine

Hauptüberschiebung legen, die Hauptüberschiebung zwischen Mittelostalpin und Unterostalpin, egal wie man zum Mittelostalpin steht. Es ist eine eigene Einheit da. In diesem Bohrkern des Quarzits ist leider diese inverse Lagerung, über die ich nicht springen kann. Der Quarzit hat einmal eine große Mächtigkeit, er ist kompetent, er wird nicht so schnell auskeilen, was ja auch sein könnte. Wir haben weiterhin festgestellt, daß die Deutung der Grauwackenzone im Profil recht einfach ist. Die hat den Zusammenhang mit der Oberfläche. Drunter wird verschiedenes schwierig, vielleicht sogar hypothetisch.

Die dritte Frage betrifft die Kapazität. Wenn man sich die Keuperquarzite in der Göstritzmulde anschaut, die haben schon eine gewisse Mächtigkeit, und wenn man es so zeichnet, wie ich es im Profil habe, reicht sie aus. Wir haben es ausgerechnet, ich kann nur jetzt die Ziffern nicht nennen, aber sie beinhalten schon eine gewisse Kapazität. Was ich ja hoffe, ist, daß hier irgendwo bei der ganzen Überschiebung und bei den Störungen, die man hier erwarten kann, ein Zusammenhang zu anderen hydrologischen Systemen besteht. Wie käme das Süßwasser in den Keuperquarzit rein, wenn keine Verbindung mit obertags bestünde? Man kann natürlich schon annehmen, daß durch Kluftsysteme, Störungen alimentiert werden. In den Bohrlochmessungen waren immer wieder Störungszonen oder Porositätszonen zu interpretieren. Das ist natürlich eine Hoffnung, wie alles eine Hoffnung ist.

RIEHL - H: Eine kurze Bemerkung noch. Du deutest den geringen Kerngewinn damit, daß das Gestein sehr zerstört ist. Dafür, daß man keinen Kern heraufbringt, gibt es auch andere Deutungsmöglichkeiten.

WESSELY: Ich glaube, die, welche den Kern gezogen haben, waren erfahren genug, denen tut es immer am meisten weh, wenn wenig Kern herauskommt, weil sie glauben, es ist ein Schlepptier. Aber Du kannst mir glauben, ich bin ja doch sehr lang in der Erdölwirtschaft tätig gewesen, ich habe immer gesehen,

je weniger Kerngewinn desto besser ist die Porosität, desto günstiger ist die Klüftung.

HABART: Eine kurze Frage. Ist die Bohrung vom Grund auf völlig lotrecht angesetzt worden, wenn ja, ab wann gab es eine Abweichung? Zweitens, wenn die Abweichung vorhanden war, wurde sie provoziert oder hätte man sie eventuell auch ausrichten können, um weiter lotrecht zu bohren. Und eine kurze Endfrage noch, falls jetzt bereits ein Überlauf erfolgt, auf welche Art und Weise wird der abgeleitet?

WESSELY: Zunächst einmal zur Abweichung: die Planung war senkrecht. Ich bin erst später herangezogen worden, ich habe das gesehen, und habe gesagt, das wird sehr schwer durchführbar sein, wenn sie lotrecht bohren, wird der Meißel immer abweichen wollen. Das bedeutet, sie müssen alle Augenblicke mit der Turbine hineingehen und gerade richten, die Bohrung hätte mindestens um ein Drittel mehr gekostet. Der Meißel stellt sich immer senkrecht auf die Schichtung. Da die Grauwackengesteine nach Norden einfallen, wird sich die Abweichung nach Süden ergeben. Wir kennen das z.B. von den tiefen Bohrungen in Schönkirchen, wo sich der Bohrlochverlauf immer gegen das Einfallen der Gießhübler Schichten gerichtet hat. Dann ist eine geologische Überlegung dazugekommen: Wir haben uns gesagt, wenn wir erreichen können, daß wir weniger in der Grauwackenzone und mehr im Unterostalpin, im Semmeringsystem, bohren können, ist die Chance größer, in einer größeren Strecke mehr Speichergesteine anzutreffen. Darum habe ich dann gesagt, ich lege keinen Wert darauf, daß man die Bohrung dauernd gerade richtet. Das Problem ist also nicht bei der Bohrung aufgetreten, sondern war schon bei Beginn derselben bekannt, und während der Bohrung haben wir der Bohrtechnik gesagt, haltet es so, daß es technisch vertretbar bleibt. Es hätte ja sein können, daß nicht nur 30 sondern 40 Grad abweichen, und dann wäre es natürlich schon problematisch geworden. Aber mit den durchschnittlichen 17,1 Grad, kann man das auch technisch vertreten.

HABART: Aufgrund der Profilschnitte und der Seismik hat man vom Einfallen der Schichten gewußt, ich müßte eigentlich davon ausgehen, daß man dieses Problem von vornherein im Raum stehen hat, daß es abweichen muß.

WESSELY: Sie meinen man hätte die Bohrung weiter südlich ansetzen können? Dann hätten sie genau wieder das Problem der Abweichung gehabt. Um die technische Problematik und um die Kosten wären sie nicht herumgekommen. Da man jetzt weiß, daß die Karbonate steiler einfallen, würde man die Bohrung vielleicht heute weiter südlicher ansetzen aber mit derselben Abweichung rechnen. Es gibt nichts teureres als das dauernde Korrigieren. Das kostet eine Unmenge Geld.

LICHTENBERGER: Wir haben die Bohrung schon von vornherein vertraglich so angesetzt, daß wir keinen Zielkreis vorgegeben haben, sondern nur, daß die Abweichung nicht nördlich sein darf, sonst müßten wir zu richten beginnen, sie muß nach Süden gehen. Aber nach Süden eben nur, soweit es technisch möglich ist.

Die Einleitung des Wassers haben Sie noch gefragt. Wir haben eine wasserrechtliche Genehmigung das überfließende Wasser in den Kanal zu leiten, da die Mineralisation außer dem Sulfatgehalt keine Rolle spielt, und der wird im Kanal verdünnt. So können wir 1000 l/h in den Kanal einleiten, das ist aber nur der freie Überlauf. Bisher hatten wir maximal 700 l, derzeit weniger, da ja noch einmal mit Spülung gebohrt wurde und die Klüfte unten verlegt sind.

DEMME: Ich habe mit solchen tiefen Bohrungen natürlich überhaupt keine Erfahrungen, aber bis 600 m geht meine Erfahrung auch. Bis dahin gibt es, zumindest nach meiner Kenntnis, automatisierte Zielbohrerichtungen, die in Deutschland erzeugt werden für Bergarbeiten im Bergbau usw.. Das hat in Österreich auch sehr gut funktioniert z.B. beim Notschacht in Uttendorf. Bei 600 m hatten wir eine Abweichung von 0,9 m am

Fußpunkt von der Lotrechten. Die Frage ist nur, wo ist das Ende? Gibt es so etwas in der Erdölbranche auch, daß man das automatisiert und nicht immer nachstellen muß. Das geht völlig automatisch.

WESSELY: Du kannst auch Horizontalbohrungen machen, nur sind die um vieles teuer als eine senkrechte Bohrung, wo man den Meißel einfach rennen läßt. Diese Gerauderichtungen gehen sowieso auch mit einer Turbine. Wenn Du das von vornherein planst, dann mußt Du schon von vornherein die Kosten viel höher ansetzen.

TUFAR: Ich muß nicht unbedingt in der Bohrung Radioaktivität nur im Riebeckitgneis erwarten, denn wir haben dasselbe in der Untertrias anzunehmen, wie wir das vom Liegenden angefangen bis zum Myrtengraben festgestellt haben. Im Riebeckitgneis könnte die Radioaktivität auf den Zirkongehalt zurückzuführen sein.

WESSELY: Bezüglich des Riebeckitgneises nehmen wir die Anregung gerne auf, daß man auch die Radioaktivität der Zirkone untersuchen kann. Aber ich danke Dir schön für die nochmals angesprochene Thematik auf die Radioaktivität. Wir haben natürlich in diesen Semmeringquarziten, die unterhalb der Anhydrit-Dolomit-Serie sind, eine höhere Strahlung als beim dem Quarzit darunter, der als Keuper betrachtet wird. Das war für uns auch mitausschlaggebend, daß wir diesen oberen Teil als Skythquarzit genommen haben, wobei natürlich die Strahlung in den angenommenen Verrucano-Schiefern/Phylliten noch höher war.

Ich darf noch hinzufügen, was ich bei K. Lukan gelesen habe. Der Dolmen, eine Art Steintisch, ist eine Kultstätte, es gibt verschiedene Deutungen, u.a. die einer Grabstätte von einer bedeutenden Persönlichkeit, einem Fürsten oder so. Wobei natürlich verschiedene Steinsetzungen auch noch irgendwie ausschlaggebend waren und das soll auch hier vorkommen. Der Georg hat ganz recht, das schaut mir alles zu gut erhalten aus, als daß es alt wäre.

**Diskussionsbeiträge von:****Dr.phil.W. DEMMER**

*Konsulent f. Baugelogie  
Rosengasse 12  
A - 2102 Bisamberg*

**Dr.F. HABART**

*Gebietsbauamt II Wr. Neustadt  
Grazer Straße 52  
A - 2700 Wr. Neustadt*

**E. LICHTENBERGER**

*VAMED-VSG Alpentherme Payerbach  
Untere Viaduktgasse 23/4  
A - 1030 Wien*

**HR Dr.D. RANK**

*Geotechn. Inst., Abt. Geohydrologie  
BFPZ-Arsenal - Obj. 214  
A - 1030 Wien*

**Dr.G. RIEHL-HERWIRSCH**

*Institut für Geologie  
TU - Wien  
Karlsplatz 13  
1040 Wien*

**Prof.Dr.E. SCHROLL**

*Haidbrunnngasse 14  
A - 2700 Wiener Neustadt*

**Univ.Prof. Dr.W. TUFAR**

*Philipps-Univ.Marburg,  
Fachbereich Geowissenschaften  
Hans-Meerwein-Straße  
D-35032 Marburg/Lahn*

**Dipl.Ing.Dr.J. WIMMER**

*Oberösterreichische Umwelthanwaltschaft  
Stifterstraße 28  
A - 4020 Linz*



Barbara-Gespräche Payerbach 1995	Band 2	"Geogen - Anthropogen" "Hausmüllversuchsanlage Breitenau"	Seite 171 - 189 Abb. 1 - 9	Wien 1997
-------------------------------------	--------	--	-------------------------------	-----------

# BARBARA-GESPRÄCHE

## Payerbach 1995

Deponierungsstrategie, Versuchsfelder und die Zukunft

A. LAGERKVIST, H. ECKE



Payerbach,  
25. November 1995

**INHALT**

Zusammenfassung	173
Einleitung	173
Deponieversuchsfelder	176
Die IEA-Versuchsfelddatenbasis	177
Die Struktur der Datenbasis	179
Beobachtungen der Datenbasis	179
Schlussfolgerungen	183
Literatur	183
Diskussion	185

*Anschrift des Verfassers:*

*Dr. Anders LAGERKVIST  
Lulea Univ. of Technology  
The Landfill Group  
S-971 87 Lulea, Schweden*

Barbara-Gespräche Payerbach 1995	Band 2	"Geogen - Anthropogen" "Hausmüllversuchsanlage Breitenau"	Seite 171 - 189 Abb. 1 - 9	Wien 1997
-------------------------------------	--------	--	-------------------------------	-----------

# Deponierungsstrategie, Versuchsfelder und die Zukunft

A. LAGERKVIST, H. ECKE

## Zusammenfassung

*Über die letzten Jahre hat das Langzeitproblem der Abfalldeponierung in vielen Ländern gesteigerte Beachtung gefunden. Neue Strategien der Deponierung wurden entwickelt und eingesetzt. Die Kenntnisse darüber, was die Ergebnisse ihrer Anwendungen sein werden, sind weitestgehend unvollständig.*

*Deshalb bedürfen die Umwandlungsprozesse in Deponien weiterer Untersuchungen. Diese Arbeit muß die besonderen Merkmale des Forschungsgebietes berücksichtigen:*

- *Deponien sind komplexe Systeme,*
- *Deponieprozesse sind langsam*
- *Deponien müssen immer funktionsfähig sein.*

*Die Komplexität der Prozesse spricht für experimentelle Studien, und die Langsamkeit weist hin auf den Bedarf an Langzeituntersuchungen. Die Tatsache, daß Deponien die fundamentale Komponente des Abfallmanagements darstellen, die zudem nicht versagen darf, deutet darauf hin, daß relevante Ergebnisse aus Großversuchen gewonnen werden, in denen realistische Deponierungsverfahren zum Einsatz kommen.*

*Ideal wäre die Überwachung ganzer Deponieanlagen. Beruhend auf praktischen Einschränkungen muß sich jedoch auf Versuchsfelder geeinigt werden. Weil die Einrichtung von Versuchsfeldern anspruchsvoll ist, ist es sehr wichtig, die bestehenden bestmöglichst zu nutzen. Aus diesem Grund wurde eine weltumfassende Datenbasis über Versuchsfelder zusammengestellt.*

*Über eine bloße Datenverwaltung und Dokumentation des Standes der Forschung hinaus ergibt sich die Möglichkeit, die Datenbasis als Informationsquelle für die eigene Forschungsarbeit zu benutzen. Erfahrungen, die an anderen Orten gesammelt wurden, können in die eigene Arbeit mit einbezogen werden. Zudem können Entwicklungen im Bereich der Deponietechnik aufgespürt werden.*

## Einleitung

Die Ausbeutung der Rohstoffe und deren letztendliche Beseitigung, d.h. Rückführung in die Natur, ist die Ursache für fast alle Umweltprobleme. Eine dauerhafte Gesellschaft benötigt einen zwischen der Ökosphäre und der „Technosphäre“ ausgewogenen Materialhaushalt. Dennoch akkumuliert unsere derzeitige Gesellschaft weiterhin Materialien, die verwaltet, instandgehalten und kontrolliert werden

müssen, während gleichzeitig Emissionen die Biosphäre gefährden (Abb. 1). Die infolgedessen hervorgerufene Verschlechterung der Umweltqualität bedroht unsere Gesellschaft vermutlich stärker, als die Endlichkeit der Rohstoffe.

derzeitiger Zustand:

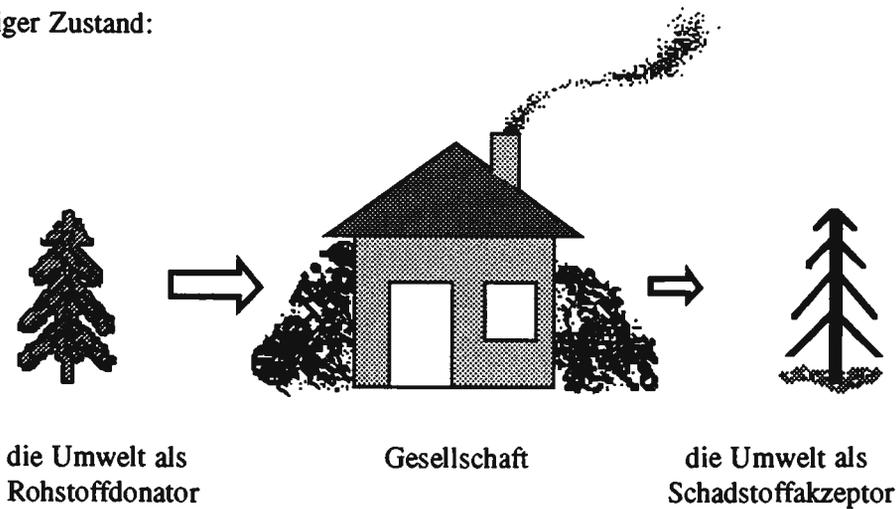


Abb. 1: Derzeitiger Zustand des Materialaustausches zwischen der menschlichen Gesellschaft und der Natur

In allen Industrieländern wird das Problem der nicht nachhaltigen Materialbilanz und die daraus resultierende Belastung für die Umwelt erkannt. Grundsätzlich wurden drei Strategien vorgeschlagen, um dem entgegenzuwirken:

1. Abfallreduktion
2. Isolation des Abfalls gegenüber der Umwelt und
3. Veränderung der Abfallqualität.

Alle drei Maßnahmen tragen zu einer Lösung des Problems bei. Am Ende besteht jedoch in jedem Fall der Bedarf, Materialien zu beseitigen, die qualitätsmindernd auf die Umwelt wirken können.

**Abfallreduktion** wird erreicht mittels effizienteren Produktions- und Konsumptionsprozessen, einschließlich Recycling.

Angesichts des hohen Niveaus an spezifischem Material- und Energieverbrauch in unserer Gesellschaft, ist es relativ einfach eine Reduktion der Abfallmenge zu erwirken. Im Zuge der Erschließung der Abfallreduktionspotentiale wird der Nettogewinn an Umweltqualität jedoch mit jedem weiteren Verfahrensschritt geringer. Ab einem gewissen Abfallreduktionsgrad werden alle weiteren Maßnahmen sogar negative Auswirkungen auf die Umwelt haben (Abb. 2).

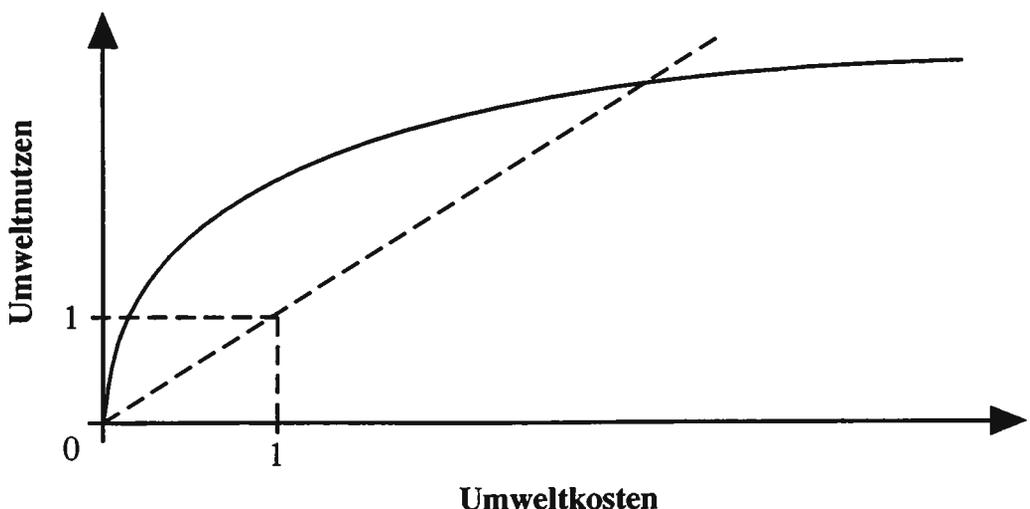


Abb. 2: Kosten-Nutzen-Beziehung beim Recycling und anderen Prozessen

**Abfallisolation** ist die traditionelle Lösung der Müllbeseitigung. Hierbei sind viele Techniken möglich, wie z.B. verschiedene Deponieeinkapselungen, aktive Maßnahmen zur Emissionskontrolle und auch langfristig wirkende, passive Einrichtungen wie z.B. Filter. Bis heute gibt es allerdings keine emissionsfreien Deponien. Für den Fall, daß unbegrenzte Ressourcen zur Verfügung stehen sollten, wäre es sicherlich möglich, Abfall von der Umwelt zu isolieren. Dies bedeutet jedoch nur, daß das Verunreinigungspotential aller eingeschlossenen Materialien konserviert wird. Daher besteht die Möglichkeit, daß diese Verunreinigungen zu irgendeinem späteren Zeitpunkt zutage treten können. Ist es bereits heute möglich, die zukünftigen Probleme mit der Abfallisolation abzuschätzen und entsprechende Vorkehrungen zu treffen? Ist die gegenwärtige Gesellschaft ausgerüstet mit Institutionen und Ressourcen für ein langfristiges Abfallmanagement? Ein weiteres Problem mit Hinblick auf die Isolierung ist die Tatsache, daß nützliche oder sogar begrenzende Rohstoffe dadurch aus den natürlichen Kreisläufen ausgeschlossen werden.

**Qualitätsveränderungen** des Abfalles können diesen gegenüber seiner Umwelt unschädlich machen. Grundsätzlich ist dieses Ziel dann erreicht, wenn die Qualitätsunterschiede zwischen dem Abfall und seiner Umgebung vernachlässigbar gering sind. Auch im Hinblick auf die Abfallreduktion bestehen hier große Potentiale beim Einsatz von biologischen Abfallbehandlungsverfahren oder der Verbrennung von organischen Biopolymeren. Jedoch gilt auch in diesem Fall, ähnlich dem Verfahren zur Abfallreduktion, daß der Grad der Veränderung der Abfallqualität zu den Umweltkosten, die in den Prozeß gesteckt werden, in Beziehung gesetzt werden muß. Denn ab einem gewissen Umweltkosteniveau ist der umweltbezogene Nutzen negativ.

Deponien sind der wichtigste Pfad für die Überführung, d.h. Beseitigung, von festen Abfällen in die Natur. Die dominierende Deponierungsstrategie ist die Isolierung. Die Aufmerksamkeit wird jedoch mehr und mehr

auf die Abfallqualität und die Müllvermeidung gerichtet. Ein Beispiel für das wachsende Interesse an der Abfallqualität ist der Vorschlag, daß der organische Gehalt im Deponiegut gering gehalten werden sollte, d.h. nur Aschen oder anorganische Materialien deponiert werden sollten. Warum gerade Aschen im Hinblick auf die angestrebte Langzeitstabilität in einem reduzierenden Milieu gelten, ist keineswegs einsichtig. Ein Beispiel der Abfallvermeidung ist der gesteigerte Einsatz von Recyclinggut in verschiedenen Produkten.

Es ist zu erwarten, daß die heutigen Entwicklungen im Abfallmanagement in zwei entgegengesetzte Richtungen tendieren. Beruhend auf dem forcierten Recycling dürfte die Dispersion an Verunreinigungen zunehmen. Auf der anderen Seite bewirken höhere Anforderungen an Deponieeinkapselungen, daß die von Deponien ausgehende Dispersion abnimmt. Weil beide Prozesse langsam verlaufen, werden über die nächsten zehn bis 20 Jahre wahrscheinlich nur marginale Auswirkungen zu verzeichnen sein. Für deren angemessene Beurteilung ist eine Stützung auf Referenzmaterialien unumgänglich.

Ganz gleich, welche Deponierungsstrategie wir ergreifen, Deponien sind immer das letzte Glied bei der Rohstoffgewinnung, bei Produktionsprozessen, der Konsumtion, dem Recycling und der Abfallvorbehandlung und müssen sich jeweiligen Fluktuationen und Trends auf diesen Sektoren anpassen.

Deponien sind ein unvermeidbarer Teil der Abfallbeseitigung. Das zentrale Ziel der Abfallbeseitigung ist es, die nachhaltige Materialbilanz zwischen der Natur und der Gesellschaft aufrechtzuerhalten. Um dies zu erreichen, wird ein tieferes Verständnis über Mülleigenschaften, Deponieprozesse, natürliche Stoffkreisläufe und deren Zusammenhänge benötigt. Wären diese Voraussetzungen geschaffen, dann wäre es möglich, naturwissenschaftlich begründete Entscheidungen für die Abfallbeseitigung zu treffen. Relevante Fragen wären z.B.:

- o Was darf, oder vielmehr was darf nicht produziert werden?
- o Sollten Abfälle getrennt oder gemischt verwahrt werden?
- o Wie sollten Abfälle behandelt werden?
- o Wie können Abfälle in unterschiedliche Umgebungen eingefügt werden?

Abb. 3 illustriert eine mögliche Abfolge von Entscheidungen, die im Hinblick auf eine nachhaltige Abfallbeseitigung zu treffen sind. Die Kapazität des gegebenen Rezipienten begrenzt den langfristig erträglichen Materialstrom aus einer Deponie. Verschiedene Behandlungs- und Lagerungstechniken können auf der Deponie zum Einsatz kommen, um dies zu gewährleisten. Für manche Stoffe lassen sich trotz dieser Techniken obige Kriterien nicht erfüllen. Deshalb sollten sie Deponien nicht zugeführt werden. Daraus lassen sich auf naturwissenschaftlichem Grund Qualitätskriterien formulieren, die als Unterlage für Eingriffe in den Materialfluß in der Gesellschaft dienen kann.

## Deponieversuchsfelder

Es gibt viele Ursachen, die die Untersuchung von Deponieprozessen erschweren. Z.B. kann eine einzelne Deponie viele verschiedene Abfallarten beinhalten, die über mehrere Jahrzehnte hinweg mit unterschiedlichsten Techniken verfüllt wurden. Auch wenn eine Deponie ausschließlich in seinen Eigenschaften als homogen zu betrachtendes Material beinhalten würde, das unter identischen Umständen deponiert wurde, so werden die im Deponiekörper ablaufenden Prozesse dennoch einer zeitlichen Entwicklung unterworfen. Allein die Deponiegröße und die Tatsache, daß der alltägliche Anlagenbetrieb fortwährend aufrecht erhalten bleiben muß, können praktische Probleme mit der Beobachtung von Deponieprozessen mit sich führen. (Installierte Meßinstrumente auf der Oberfläche einer in Betrieb befindlichen Deponie, und sie werden auf alle Kompaktorfahrer wie Mittelpunkte eines Gravitationsfeldes wirken).

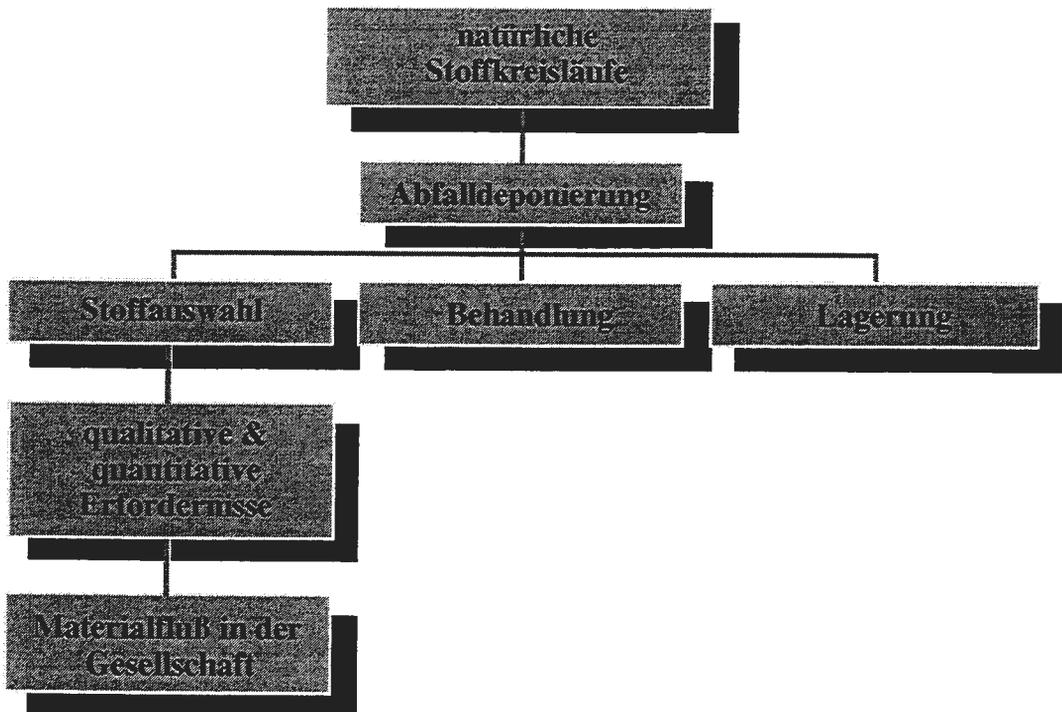


Abb. 3: Entscheidungsabfolge für eine nachhaltige Abfallbeseitigung

Eine Möglichkeit Deponieforschung zu erleichtern, ist die Einrichtung von Deponieversuchsfeldern. Die Felder (oder auch Zellen) sind ein Teil der Deponie und werden speziell für experimentelle Studien und Monitoringzwecke eingerichtet. Abhängig von den jeweiligen Forschungsfragen variiert ihr Design. Die ersten uns bekannten Zellen wurden in den frühen 30er Jahren errichtet, während die neuesten sich noch im Bau befinden.

Damit diese Kenntnisse zugänglicher werden, haben wir Daten von abgeschlossenen als auch laufenden Versuchsfeldexperimenten zusammengestellt (Lagerkvist & Ecke 1995).

Die Arbeit wurde durchgeführt als ein Teil der landfill Gas Activity (LFGA) des Bioenergieabkommens (Bioenergy Agreement) der Internationalen Energiebehörde (International Energy Agency, IEA). Repräsentanten der Energiebehörden von Kanada, Dänemark, den Niederlanden, Norwegen, Schweden, Großbritannien und den USA haben hieran mitgewirkt

## Die IEA - Versuchsfelddatenbasis

Eine systematische Zusammenstellung der Informationen über Versuchsfelder begann 1992. Im vorhinein wurde eine Zusammenfassung von Versuchsfeldberichten von einigen Teilnehmern der Mitgliedsstaaten (Großbritannien, Schweden, Dänemark und den USA) angefertigt (Lawson et. al. 1992). Derzeitig beinhaltet die Datenbasis Informationen über 112 Felder in 25 Projekten, durchgeführt vornehmlich in den Teilnehmerstaaten (Abb. 4 und 5). Es ist oftmals schwierig, eine gute Dokumentation der Programme zu erhalten, und aus diesem Grund gibt es selbst in den Teilnehmerstaaten weiterhin Deponieversuchsfelder, die noch nicht mit in die Datenbasis aufgenommen werden konnten. Die einzigen von Nicht-LFGA-Staaten dokumentierten Versuchsfelder sind die in Croglio (Schweiz) und Breitenau (Österreich) gelegen.

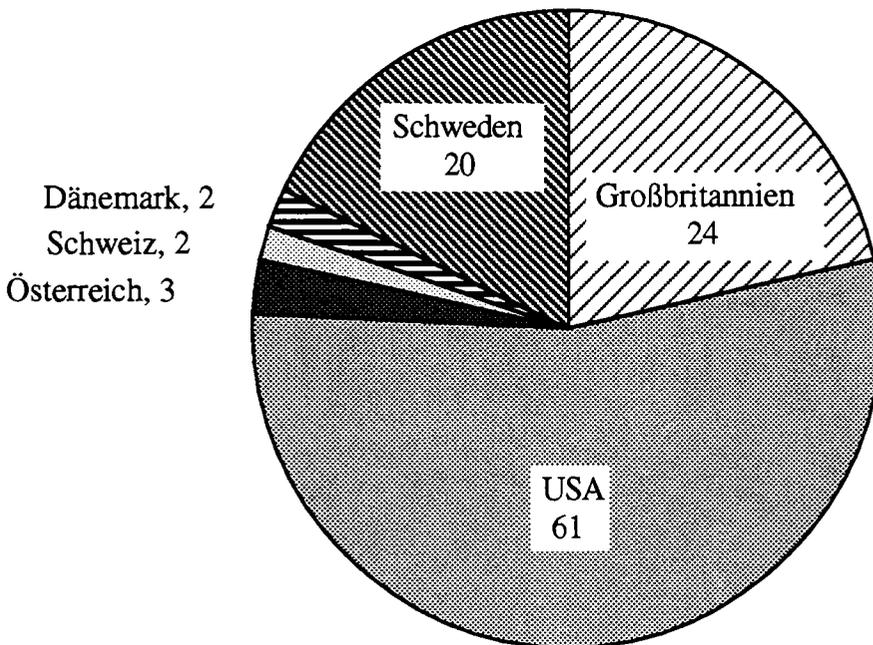


Abb. 4: Anzahl untersuchter Deponieversuchsfelder (unterteilt nach Staaten)



Abb.5: Geographische Lagen (•) der in der Datenbasis dokumentierten Deponieversuchsfelder. Die Karten zeigen Europa bzw. die USA, unterteilt nach Staaten.

## Die Struktur der Datenbasis

Für jede Deponiezelle sieht die Datenbasis eine formalisierte Struktur in der Dokumentation folgender Informationen vor:

- Identifikation der Zelle
- Verantwortungsträger für das Projekt,
- Projektziele und Experimente,
- physischer Zellaufbau,
- Monitoring,
- Literatur und
- Kommentare.

Die in den Projektberichten zusammengestellten Schlußfolgerungen werden, soweit sie sich auf die Projektziele beziehen, in einem separaten Kapitel aufgeführt. Koordinaten beschrei-

ben die geographische Lage der Deponien und erleichtern deren Lokalisierung. Im Index sind Schlüsselbegriffe alphabetisch aufgelistet und entsprechenden Projekten zugeordnet.

## Beobachtungen der Datenbasis

In Großbritannien gibt es im Bereich der Deponieforschung die längste Tradition (Abb. 6). 1932 wurden hier die ersten Abfallzellen errichtet. Über ein Vierteljahrhundert dauerte es, bis diese Arbeit an gleichem Ort in Manchester fortgeführt wurde.

Von 1966 bis 1970 wurden in den USA 37 Versuchsfelder errichtet. Alle dienten der Untersuchung des Einflusses der Vorzerkleinerung von Hausmüll (millfilling-Konzept,

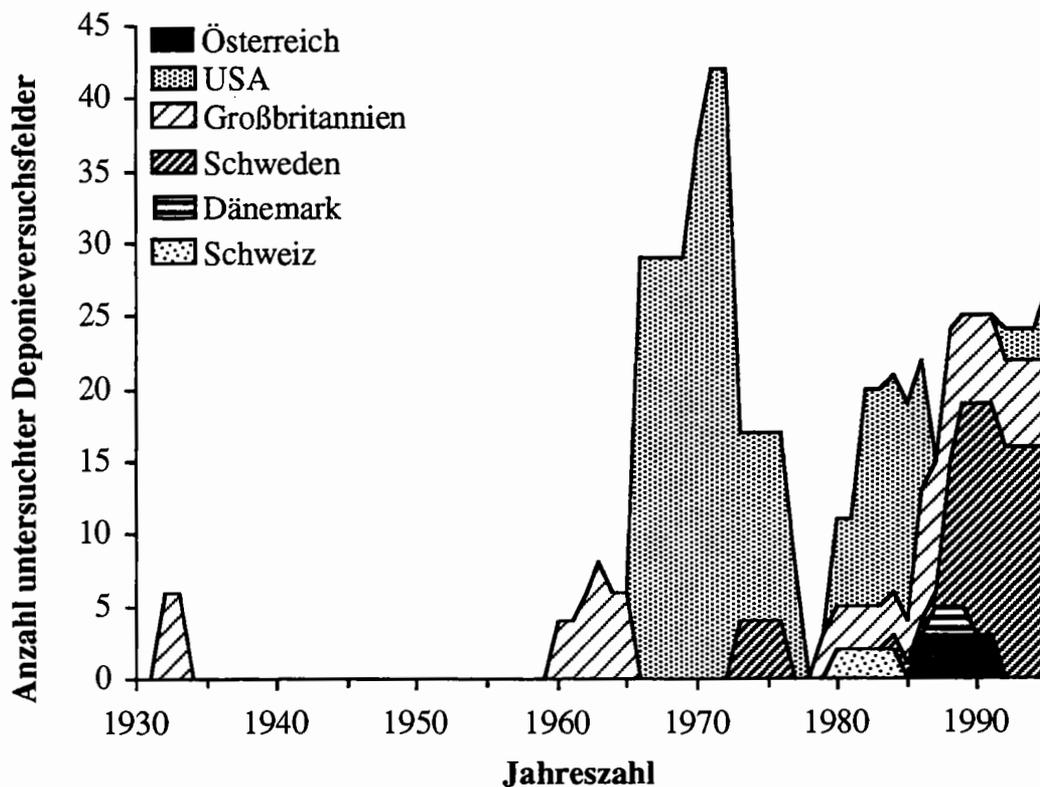


Abb. 6: Zeitlicher Verlauf der Anzahl der unter Erforschung stehender Deponieversuchsfelder. Das Summenflächendiagramm zeigt eine Aufschlüsselung entsprechend der einzelnen Staaten.

Ham & Bookter 1982) und wurden hauptsächlich von der US-Umweltbehörde (Environmental Protection Agency, US EPA) finanziert. Die Studien wurden in Zusammenarbeit der Universität Wisconsin und der Stadt Wisconsin durchgeführt (Reinhardt & Ham 1973). Später in den USA etablierte Projekte zeichnen sich durch Beiträge vieler unterschiedlicher Partner aus, wie z.B. Energieunternehmen, -behörden und Kommunen als Sponsoren, Consultingfirmen in der Projektleitung, Universitäten und andere Forschungseinrichtungen als beratende oder versuchsdurchführende Institutionen.

In Folge errichtete europäische Projekte weisen ähnliche Muster in bezug auf Finanzierung, Durchführung und Auswertung auf.

Insgesamt wurden von uns annähernd  $4 \cdot 10^5$  t in Versuchsfeldern deponierten Abfalls dokumentiert. Abbildung 7 verdeutlicht, daß die Größe der Zellen stark variiert, d.h. von Zellen mit nur wenigen Tonnen Abfallmasse bis zu 35.000 t pro Zelle in Breitenau, den größten Feldern der Datenbasis.

Etwa 75% der in Versuchsfeldern deponierten Abfallmasse wurde bis heute über einen Zeitraum von maximal acht Jahren untersucht. Keines der dokumentierten Projekte wurde (bisher) länger als neun Jahre betrieben. Sowohl die Länge des Untersuchungszeitraumes (neun Jahre) als auch die Zellgröße (etwa 15.000 t) betreffend nehmen die Versuchsfelder in Brogborough, Großbritannien, eine herausragende Stellung ein.

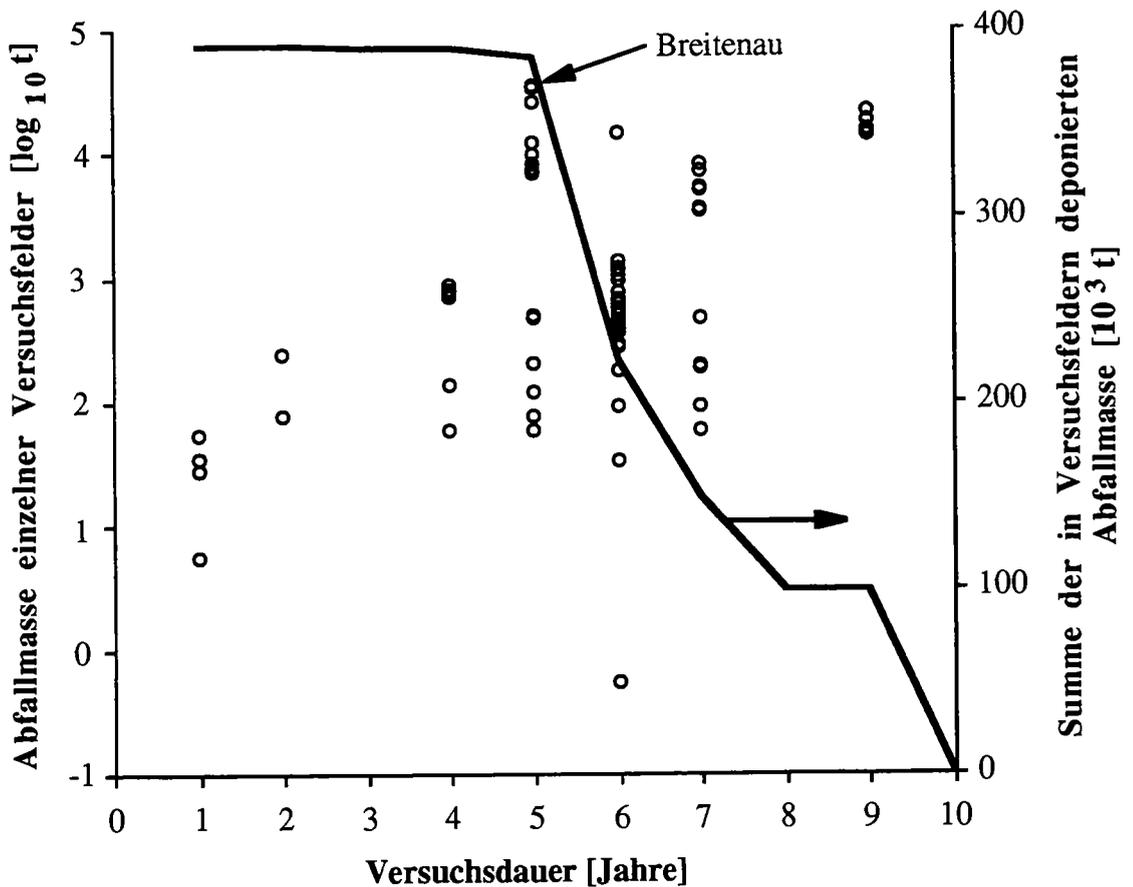


Abb. 7: Die in Versuchsfelder deponierte Masse (Breitenau-Versuchsanlage ist hervorgehoben), aufgetragen über den aktuellen Untersuchungszeitraum. Die Summenkurve (—) gibt Aufschluß über die zu einem auf den Versuchsbeginn bezogenen Zeitpunkt untersuchte Abfallmasse aller Zellen.

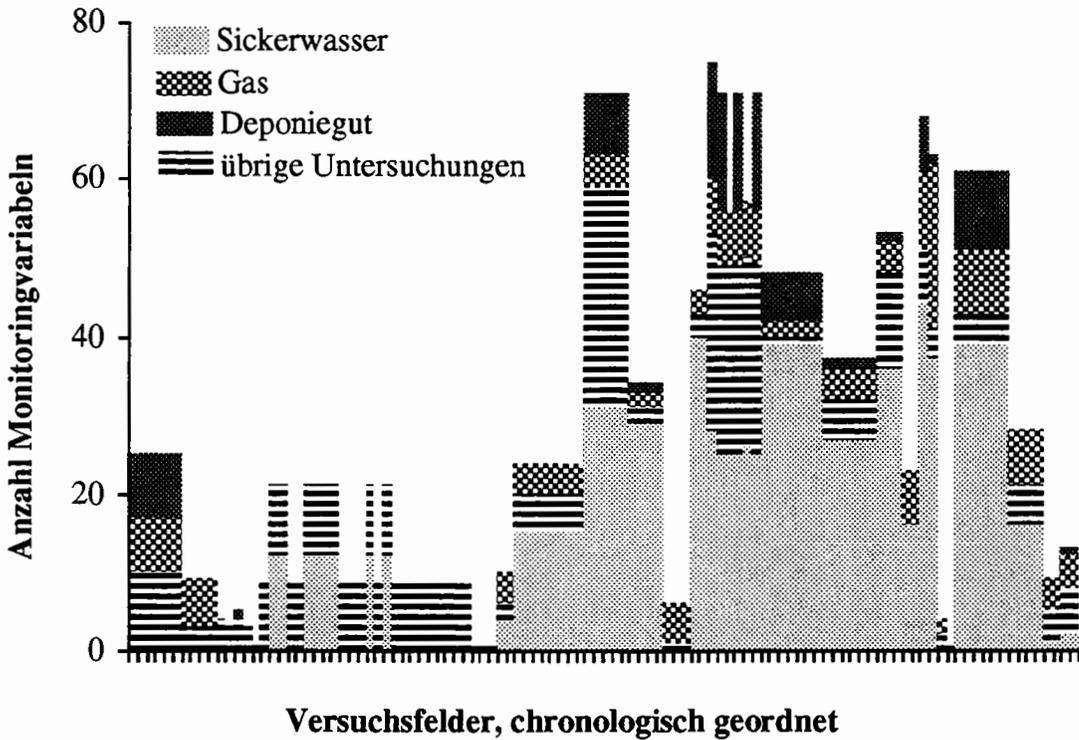


Abb. 8: Die Abszisse ist eine Aufreihung aller Versuchsfelder der Datenbasis in chronologischer Reihenfolge ihrer Errichtung. Darüber aufgetragen ist die Anzahl der Monitoringvariablen als Summenstapeldiagramm für die Medien Sickerwasser, Gas und Deponiegut sowie für andere Untersuchungen.

Abb. 8 zeigt quantitative Auswertung der in einzelnen Zellen gemessenen Variablen. Dabei wurde eine Unterteilung in Sickerwasser, Gas, Deponiegut und übrige Untersuchungen vollzogen. Letztere schließen Monitoringvariablen wie z.B. Setzungsgrad, Wetterbeobachtungen und Grundwasseruntersuchungen mit ein.

Es fällt auf, daß mit der Analyse der Sickerwässer die Anzahl der Monitoringvariablen stark

zunimmt. Dies läßt sich hauptsächlich durch Elementaranalysen erklären, bei denen eine Vielzahl von Metallen bestimmt werden. Das Absinken der Gesamtanzahl der Variablen für neuere Untersuchungen ist dadurch zu erklären, daß diese oftmals noch nicht abgeschlossen sind und dadurch ein Teil der Meßwerte noch nicht zugänglich ist.

Des Weiteren ist auffällig, daß der Untersuchung des Deponiegutes relativ wenig Beachtung geschenkt wird. Dies ist verwun-

derlich, weil dessen Stabilisierung in vielen Projekten eines der wichtigsten Ziele war und ist.

Über den dokumentierten Zeitraum von 63 Jahren unterlag die Deponieforschung einer Entwicklung in dessen Verlauf unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt wurden. Tabelle 1 zeigt eine chronologische Auflistung neuer Themen. Auffällig ist, daß anfängliche Untersuchungen der 30er Jahre einen eher beschreibenden Charakter besaßen. Bis zu diesem Zeitpunkt war gänzlich unerforscht, welche chemischen und biologischen Prozesse in einer geordneten Deponie ablaufen. Zudem galt das Interesse der Frage, ob diese Prozesse eine potentielle Gefahr für die Menschen, die in ihrer näheren Umgebung leben, darstellen.

Im Laufe der 60er und 70er Jahre wurden die Einflüsse unterschiedlicher Methoden der Abfallvorbehandlung und Deponierung untersucht. Ausführliche Berichte liegen über das sogenannte Millfilling-Konzept vor. Dabei

wurden feste Abfälle zermahlen, schichtweise deponiert und ohne tägliche Deckschicht bis auf das unter praktischen Gesichtspunkten kleinstmögliche Volumen kompaktiert. (Ham & Bookter 1982).

Dies führte dazu, daß verschiedene Methoden der Abfallvorbehandlungen hinsichtlich der Abfallstabilisierung untersucht wurden. Die Ergebnisse dienten in den 80er Jahren dem Entwurf des Deponiereaktorkonzeptes. Heutige Projekte schließen auch Aspekte einer

nachhaltigen Deponietechnik mit ein. Erforscht werden z.B. die Möglichkeiten der Verwertung von kompostiertem Hausmüll. Ziel dabei ist es, eine geordnete Stoffrückführung in die Umwelt zu gewährleisten.

Für Tabelle 1 lassen sich zusammenfassend die in Abbildung 9 genannten übergreifenden Entwicklungsstufen in der Deponieforschung nennen.

Jahr	Thema
1932	biologisches und chemisches Verhalten der Stoffe in einer geordneten Deponie; „Ist die geordnete Deponierung sicher?“
1960	Auswirkung durch Verdichtung von Hausmüll;
1966	Vorbehandlung von Hausmüll durch Zerkleinerung;
1970	Isolation der Versuchsfelder von äußeren Einflüssen; Auswirkung von Deponieabdeckungen;
1971	Untersuchungen über den Wasserhaushalt von Deponien und Sickerwasserrückführung; Stabilisierung von Hausmüll durch Beimischungen
1979	Aspekte der Deponiegasentstehung und -nutzung
1980	biologische Sickerwasserbehandlung
1986	Einfluß einer Hausmülldeponie auf das Grundwasser Betrieb einer Hausmülldeponie als Reaktordeponie
1987	Untersuchungen über den zweistufigen, anaeroben Abbau (TSAAD)
1992	Möglichkeiten der Verwertung von kompostiertem Hausmüll

Tab. 1 Chronologische Auflistung neuer Themen in der Deponieforschung

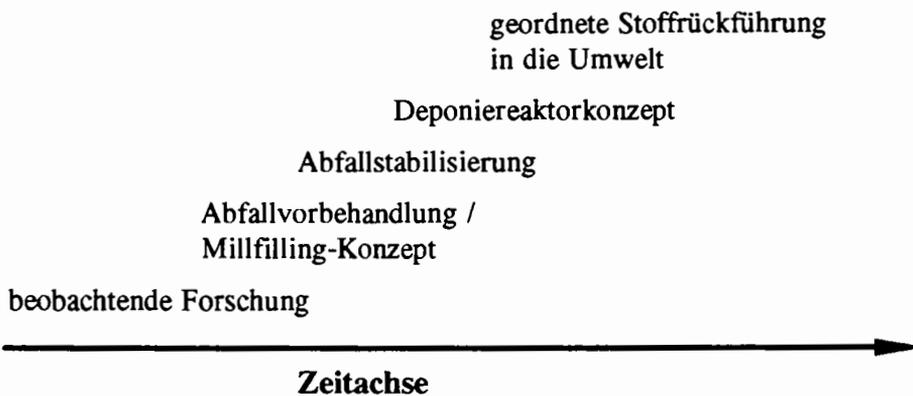


Abb. 9: Entwicklungsstufen in der Deponieforschung

Bei der Zusammenstellung der aus den Projekten gezogenen Schlußfolgerungen wurde offensichtlich, daß auf die am Projektbeginn gestellten Forschungsfragen oftmals nicht eingegangen wird. In manchen Berichten fehlt die Präsentation der gezogenen Schlußfolgerungen sogar gänzlich. Für die abgeschlossenen Projekte gilt, daß 29 von insgesamt 47 Forschungsfragen (62%) in den jeweiligen Berichten keine Erwähnung in den Schlußfolgerungen finden.

## Schlussfolgerungen

Die Entwicklungen im Abfallmanagement vollziehen sich heute schneller als je zu vor. Ähnlich der Gesellschaft im allgemeinen scheint das Abfallmanagementsystem dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik zu folgen - unwiderruflich gewinnt es an Komplexität. Für die Auswertung und ein tieferes Verständnis der heutigen und zukünftigen Entwicklungen ist der Bedarf an Referenzquellen offensichtlich.

Deponieversuchsfelder sind ein wichtiges Beispiel für mögliche Referenzquellen. Bedauerlicherweise werden sie heute stark vernachlässigt. Damit das Potential abgeschlossener sowie laufender Experimente an Versuchsfeldern vollständig ausgeschöpft werden kann,

ist es unentbehrlich, daß deren Aufzeichnungen zugänglich und anwendbar gemacht werden. Es ist zu wünschen, daß die IEA-Datenbasis hierzu ihren Beitrag leistet. Weiterhin ist es notwendig, daß bestehende Versuchsfelder für zukünftige Untersuchungen erhalten bleiben, denn es ist offensichtlich, daß wir die in der Zukunft auftretenden Forschungsfragen nicht vorhersagen können.

## Literatur

- HAM, R.K. & BOOKTER, T.J. (1982) „Decomposition of solid waste in test lysimeters“, Journal of the Environmental Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers 108 (EE6), 1147-70.
- LAGERKVIST, A. & ECKE, H. (1995) „Data base of landfill test cells“ (Manuskript) IEA Expert Working Group on Landfill Gas.
- LAWSON, J.J. & HAM, R.K. (1973) „Final report on a demonstration projekt at Madison, Wisconsin to investigate milling of solid waste“ 3-G06-EC-00000-00S1, U.S. Environmental Protection Agency.



## DISKUSSION

## Deponierungsstrategie, Versuchsfelder und die Zukunft

**VORTISCH:** Mit der Frage der Müllverbrennung ist natürlich ein besonders heißes Eisen angefaßt worden. Wenn ich selbst etwas dazu sagen darf: tatsächlich ist es so, daß die Toxikologen sich keineswegs einig sind, ob eine Anlage, vorausgesetzt sie hält alle sogenannten Grenzwerte ein, auch genauso unbedenklich ist, wie bei Betrachtung der einzelnen Schadstoffe für sich alleine. Es gibt also eine nicht geringe Zahl von Toxikologen, die der Meinung sind, eine Fülle von Stoffen, vom Menschen aufgenommen, alle unterhalb des sogenannten Grenzwertes, können gemeinsam doch zu einer Irritation der Zelle führen. Das ist meßbar. Außerdem haben die, die sich mit Deponierungsfragen beschäftigen, den Eindruck, daß die Diskussion bezüglich Deponierung oder Verbrennung nicht nach rein wissenschaftlichen Gesichtspunkten geführt wird, sondern mehr nach geschäftlichen. Im deutschsprachigen Mitteleuropa ist, wenn wir es einmal ganz harmlos sagen, durchaus ein politischer Einfluß der Verbrennerlobby spürbar.

Schließlich darf man auch sagen, wenn man von Stabilität spricht, daß von allen natürlichen Substanzen Gläser die instabilsten sind, deswegen studieren wir sogerne Gläser, weil sie sich am schnellsten in Tonminerale umwandeln und dann wieder zeigen, wie das Milieu war, in dem sie sich umgewandelt haben. Das geht aber natürlich über normale Verwaltungszeiträume hinaus, der eigene Grabstein wird deshalb nicht mehr umgestürzt. Geologisch gesehen muß man aber dessen klar sein, zumal das durchaus auch Gläser sein können, die von Anfang an nicht gerade die stabilsten sind. Denn natürlich hängt die Glasstabilität von der chemischen Zusammensetzung auch ab.

**WIMMER:** Es reizt mich zu diesen Anmerkungen noch einige Anmerkungen zu machen.

Ich werde weder von einer Verbrenner- noch von einer Deponierer-Lobby bezahlt und fühle mich keiner zugehörig. Sie werden nie Toxikologen, Geologen, Chemiker und welche Wissenschaftsdisziplinen noch immer finden, die sich alle in irgendeiner Form über ihren Gegenstand der Wissenschaft einig sind, sonst gäbe es u.a. keinen wissenschaftlichen Fortschritt.

Ich glaube, und ich habe mich sehr intensiv damit beschäftigt, daß man heute Abfallverbrennungsanlagen bauen kann, die pro Kilowattstunde nutzbare Energie keine höheren Emissionen haben, als unsere konventionelle Energieerzeugungstechnologie. Man kann auch vermutlich sehr leicht nachweisen, daß, wenn man den gesamten österreichischen Hausabfall und den ähnlichen Gewerbeabfall etc. verbrennt, etwa in der Größenordnung Hunderstel- bis Zehntelprozent Zusatzschadstoff-Flüsse in die Luft als wesentlicher toxi-kologischer Pfad produziert werden würden, wenn sie die Energie nicht nutzen. Wenn sie die Energie nutzen, kann es ungefähr ein Null-Summenspiel durch Substitutionseffekte sein.

Zu den Gläsern: es gibt nicht nur einen zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, sondern auch den ersten, man kann Stoffe durch nichts zum Verschwinden bringen - außer durch radioaktive Prozesse, die uns hier nicht interessieren. Wenn wir Stoffe in die Natur einführen wollen, und das Konzept halte ich für richtig und richtungsweisend, in den Kreislauf der Natur, was immer das sein soll, zurückgeben wollen, dann haben wir auch eine Zeitperspektive und wir haben die große Unbekannte der Zukunft. Wir wissen nicht, ob das in 10 Jahren oder in 10.000 Jahren passiert. oder "nie". Damit ist man an einem Punkt, meiner Meinung nach, der die Option "Zukunft" sehr fragwürdig werden läßt.

Wenn ich Prozesse in die Zukunft verlagere, müßte ich sie letztendlich kontrollieren. Wenn ich sie kontrollieren will, dann wird das Deponieren sehr rasch teuer und teurer als das Verbrennen heute. Wenn sie 50 Jahre lang Sickerwasser behandeln wollen, und so wie es nach österreichischen oder deutschen Rechtsvorschriften ist, so jede Woche oder alle zwei Wochen die Sickerwässer auf alle möglichen Parameter messen, ihr Gas messen, einen Mann habe, der herumläuft auf der Deponie, die Grundwassersonden kontrolliert etc., dann haben sie eine sehr teure Form der Deponierung und sie verdoppeln etwas die Kosten bei 20, 30 Jahren Nachsorge. Es wird also bald unleistbar. Warum nicht die Option Glas und ich gebe ihnen recht. Glas wäre ein technisches Produkt, das wir in breitem Umfang nutzen könnten in unserer Gesellschaft. Und immerhin haben vulkanische Gläser sehr, sehr lange geologische Zeiträume, auch unter erosiven Bedingungen, ganz gut überlebt.

LAGERKVIST: Das zeigt die Bedürfnisse für neue Technologie in den Deponien, um Abfall schneller zu stabilisieren. Ich finde diese Gegensätze zwischen Verbrennung und Deponieren ein bißchen konstruiert. es gibt ja keine Verbrennung ohne Deponieren. Wenn die Verbrennungsanlage läuft, dann gibt es ja Rückstände, die beseitigt werden müßten. Wenn es technische Gebrechen gibt und die Anlage nicht läuft, aus welchen Gründen immer, dann muß man einen Notausgang haben, man kann ja den Abfall ins Ausland nicht sehr lange exportieren. Aber die grundsätzliche Frage ist ja, wie macht man die Transferierung von Gesellschaft zur Natur am effizientesten Weg. Das ist die Frage, ob der eine oder der andere Weg ist wohl gleichgültig. Aber man soll ja keine besondere Richtung im voraus ausschließen, bevor man richtig versteht, was für Konsequenzen die verschiedene Wege haben. Und wenn es zum Verglasen kommt, besteht die Tatsache, es kostet Energie, es kostet unter Umständen auch Nachsorge. Vielleicht gibt es mehrere effektive Wege die gleichen Ziele zu erreichen. Das muß man ja untersuchen. Es gibt

sehr verschiedene Situationen und Lösungen, die möglich sind.

VORTISCH: Wobei das Problem ist, daß in Mitteleuropa die Gesetzgeber jetzt dazu übergehen, mit der Festlegung einer Deponierungsobergrenze von 5 % organischem Kohlenstoff nur einen Weg offen zu lassen, und das erscheint eben bedenklich.

LAGERKVIST: Aber das wird sich, meine ich, in 10 Jahren ändern. Die Gesetze nähern sich immer dem, was praktisch möglich ist, es dauert nur lange.

HENRICH: Ich habe noch eine Frage zur Verbrennung. Muß man bei der Verbrennung nicht Voraussetzungen machen, die in Richtung Mülltrennung gehen? Ich denke da zum Beispiel an die Batterien, die getrennt gesammelt werden, oder auch an PVC, daß man chlorhaltigen Kunststoff eben kennzeichnet, daß die abgetrennt werden. Und was wären die weiteren Voraussetzungen, ihrer Meinung nach, für eine saubere Verbrennung, jetzt abgesehen von Filtrationsmaßnahmen.

LAGERKVIST: Was sind die Motive für die Verbrennung? Es ist ja das übliche über Energiefaktoren und Bedürfnisse für Materialien zu reden. Aber dann gibt es ja auch eine andere, mehr langfristige Frage: welche Bedeutung haben diese Materialien auf Dauer? Welche Bedeutung haben z.B. organische Stoffe für die Mobilität des Metalles in ihrer Langzeitwirkung. Gestern haben wir beispielsweise etwa diese Eisenkarbonate gesehen. Wir haben von Deponien Materialproben genommen und haben versucht die Metallspezifizierung zu untersuchen. Anfangs haben wir geglaubt, die Metalle sind alle aus Sulfiden in den Deponien. Ich meine hier nicht in der Gesamtdeponie sondern im untersten Bereich, wo das Sickerwasser austritt. Aber wir haben herausgefunden, daß es zumindest in dem Fall, wo es sich um Hausmüll handelt, einfach nicht genug Schwefel und Sulfide gab. Aber was haben wir, wir haben einen organischen Komplex. Das ist ein sehr bedeutender Faktor für die Retention/Reduktion einiger Stoffe. Wenn man das wegnimmt, dann kann das ja eine Konsequenz

auf Langzeit haben. Aber darüber wissen wir heute nicht genug.

**HENRICH:** Ich habe eine Frage, die geht vielleicht noch in eine andere Richtung. Meiner Meinung nach wird eben von der Bevölkerung die Mülltrennung nicht konsequent genug durchgeführt. Daß etwa die Batterien eben nicht zurückgegeben werden, sondern einfach in den Hausmüll kommen. Genauso weiß man nicht, um was für einen Kunststoff es sich handelt, PVC's oder chlorfreier Kunststoff oder sind ihre Erfahrungen vielleicht so, daß in skandinavischen Ländern das Konzept der Mülltrennung besser durchführbar ist als in südlichen Ländern.

**LAGERKVIST:** Ich bin nicht sicher, aber ich glaube, die bestlaufende Mülltrennung läuft in der Stadt Bras in Schweden, wenn wir vom nordischen Raum reden. Kontinentale kenne ich überhaupt nicht. Die organische Fraktion hat im Durchschnitt zw. 96 und 98 % Reinheit. Und besser als das ist es nicht möglich.

**WIMMER:** Die organische Fraktion wird kompostiert?

**LAGERKVIST:** Die organische Fraktion wird in diesem Fall durch eine 3-stufige Behandlung zurückgewonnen. Erst kommt eine acidogene-anaerobe Behandlung, deren Sickerwasser wird behandelt, dann hat man eine Nachkompostierung. Aber die Sauberkeit in der organischen Fraktion ist sehr hoch. Aber es gibt eine Grenze, weil die Komplexität in diesen Materialströmen in der Gesellschaft zunimmt, genau wie die Komplexität der Gesellschaft selber, dies entspricht übrigens auch dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik. Man kann nicht 100% Reinheit bei der organische Fraktionierung erreichen, auf Dauer sind, glaube ich, diese 96 oder 98 % auch nicht haltbar. Das verlangt, daß man eine Grenze zieht. In Bras gibt es die organische Fraktion, dann die verschiedenen Materialrückgewinnungsfractionen, ferner gibt es sogenannte gefährliche Materialien, und dann gibt es den Rest, der zur Verbrennung geht. Mit fünf bis sechs Fraktionen und einer Menge von Informationen geht es noch. Aber auf Dauer wird das auf eine niedrigere Ebene stoßen.

**MÜLLER:** Es gibt ein gutes Beispiel. In einer deutschen Großstadt hat man in einem Postamt versucht, die Leute dazu zu erziehen., die Briefe schon vorzuordnen, Ortspost, Süden, Norden, Westen, und die Leute standen da und haben schön sortiert und hinter den Schlitten ist alles wieder in einem gemeinsamen Korb gefallen. Und das ist die Situation, die wir bei der Müllfraktionierung haben. Wir haben in Deutschland jetzt in den Haushalten 4 Töpfe und ich habe beim Arsenal gesehen, daß es dort 6 verschiedene Behälter gibt, wo man den Müll sortieren muß.

Ich glaube es gibt eine psychologische Grenze, wo die Leute nicht mehr mitmachen. Abgesehen davon haben wir in unserer Gemeinde schon ca. 15 % türkische Gastarbeiter, die nicht deutsch können, wir haben spanische, wir haben slowenische Arbeiter, das ist auch schon ein Unsicherheitsfaktor bei der Trennung, und ich meine, mit 4 Behältern ist die Grenze schon überschritten, sodaß die Leute nicht mehr mitmachen und man anfängt, alle Arten des "umgekehrten" Mülldiebstahls zu vollziehen. Man kann beobachten, bevor die Müllabfuhr kommt, daß einer noch in die Ecke schleicht und guckt, ob in einem anderen Behälter noch etwas frei ist, und dann etwas hineinschmeißt. Praktisch müßte man also eine Müllpolizei einrichten. Es gibt in Deutschland schon Gesetze, man darf kontrollieren, aber die dürfen das nicht, solange die Müllbox innerhalb des Grundstückes steht, da darf der "Sheriff" nicht hineingehen. Aber in dem Moment, wo man es auf die Straße stellt, da guckt der hinein und sagt "aha". Es gibt zwar noch keine Strafe, aber die Erziehungsmaßnahmen sind sicher gut.

Aber was passiert jetzt? In dem Landkreis, in dem ich wohne, geht all dieser Müll der so schön sortiert ist, nach Sintzheim auf eine neue Müllsortierungsanlage und wird nochmal von Hand sortiert, weil man für Glas eine Reinheit von 99 % braucht und das niemals erreicht. Auf den Containern steht braunes Glas, grünes Glas, gelbes Glas, farbloses Glas, und das ist an diese Grenze gekommen,

Man kann noch so umweltbewußt sein und alle diese Dinge wissen, es wird nie soweit kommen, daß der geforderte Standard erreicht wird und es muß von Hand nachsortiert werden. Wieso kann man das nicht von vornherein so machen, daß man sagt, wir lassen diesen ganzen Blödsinn und nehmen für Humus/Kompost eine braune Tonne, das versteht jeder, das sind Essensabfälle. Aber da dürfen wieder keine Knochen hinein. Jetzt frage ich mich, bei Ihren Essensabfällen, Knochen gehören ja auch dazu, wenn Sie Hühnchen essen, oder kochen Sie die Knochen extra? Den Joghurtbecher, den Sie haben, den müssen sie vorher ausspülen, und jetzt frage ich mich, wieviel Wasser wird da verschwendet. Eine wirklich gut durchdachte Regelung, glaube ich, wird sich so auswirken, daß letztendlich alles sortiert werden muß. Die Technik der Sortierung ist so weit fortgeschritten, daß man das auch machen kann. Ich frage mich, wer prüft im Arsenal in den 6 Behältern, ob das wirklich immer gemacht wird?

**LAGERKVIST:** Warum ist das so, daß man ausgerechnet auf diesem Gebiet eine Wertgemeinschaft in der Gesellschaft erreichen will?. Könnte man solche Wertgemeinschaften erreichen, hätte man ja keine Kriminalität. Der Mensch ist leider nicht für diese Gesellschaft gebaut.

**WIMMER:** Ich möchte die Diskussion nicht überstrapazieren, aber zu Herrn Prof. Müllers Beitrag eine kurze Anmerkung: die Erfahrungen mit einer Gesamtabfallsortierung gab es in Österreich lange Zeit, das berühmte "Rinter-Zelt" in Wien. Gesamtabfallsortierung zu Werststoffen ist sinnlos, ist wertlos, ist nicht machbar, ist eine Katastrophe. Sie müssen bestimmte Hauptfraktionen vorher getrennt erfassen. Ob die etwas dreckiger oder etwas sauberer sind, ist egal, man muß sie nachsortieren und bekommt dann ganz gute Produkte.

**VORTISCH:** Im Prinzip ist das ja ein dramatischer Appell, jetzt auch einmal rückwärts zu denken und zu sagen, wir müssen eigentlich bei der Erzeugung des Mülls einsetzen. Denn unsere Lebensqualität war in den 50er Jahren

ja auch nicht viel schlechter, bis auf weniger Autos, die herumfahren konnte, dafür gab es mehr Bahn. Wir hatten aber nur einen Bruchteil des Mülls. Wir müssen uns klar machen, daß da volkswirtschaftliche Zwänge erzeugt worden sind, die eigentlich gesamtvolkswirtschaftlich gar nicht sinnvoll sind: mit viel Aufwand, mit viel Raffinesse Produkte erzeugen, mit viel Aufwand und viel Raffinesse sie irgendwo hinbringen und hoffen, daß sie die Umwelt nicht schädigen. Ich glaube, das sollten wir nicht vergessen.

Ich hätte noch einen praktischen Hinweis. Es gibt als Ergänzung noch zu den Versuchsdeponien auch ausgegrabene normale Deponien. In W-Deutschland hat man eine alte Deponie - schon mit Basisdichtung eines bestimmten Tones, ganz bestimmten bodenmechanischen Eigenschaften, tonmineralogischen Eigenschaften am Anfang - nach 8 Jahren Laufzeit ausgegraben und gesehen, daß unter Einstau, aufgrund höherer Thalliumgehalte der Sickerwässer vermutlich, die quellfähigen Tonminerale, einst durch Verwitterung aus Illit entstanden, sich in der Basisdichtung rückwaschend zurückentwickelt haben wieder zu Illit, zu einem Tonmineral mit viel geringerem Volumen. Entsprechend gab es unter Einstau Ribbildungen, die schon ungefähr 10 cm oder ein bißchen mehr hineinreichten. Die bodenmechanischen Eigenschaften, Plastizität, Selbstheilungsvermögen haben sich auch entsprechend geändert. Also solche Projekt gibt es einige beim deutschen Bruder und sollte man vielleicht in Ihre Datenbank mit aufzunehmen versuchen .

Die letzte Frage wäre, werden ihre Gesamtdarstellungen veröffentlicht und wo, sodaß wir alle darauf zurückgreifen können.

**LAGERKVIST:** Wir haben eine Zusammenfassung publiziert, die ungefähr 300 Seiten lang ist. Und das Material wächst immer noch. Wir werden versuchen, diese Datenbasis über das Internet verfügbar machen, damit man die Daten durch ein Suchprofil erreichen kann. Dann bekommt man einen Rapport und fragt nach einer gewissen Art von Versuchen oder Resultaten. Ich kann

ihnen nicht die Gesamtdatenbasis kopieren, das wird zu teuer.

**VORTISCH:** Gesamtveröffentlichung, sagen wir einmal der wichtigsten Zahlen.

**LAGERKVIST:** Ja wir werden daraus Präsentationen machen. Wir sind ja noch am Anfang. Neues Material bekomme ich gerne.

**VORTISCH:** Die Daten, die sie genannt haben, sind die auch veröffentlicht ?

**TUFAR:** Das ist keine Frage, sondern nur eine kurze Anmerkung zu dem, was Prof. MÜLLER gesagt hat. Es wird ja die Müllentsorgung in Hessen ganz intensiv betrieben. Vor einiger Zeit ist in Nordhessen eine Großdeponie gemacht worden, die Müllpreise sind drastisch erhöht worden. Wir sammeln ja sehr viel Müll und sortieren den Müll und da ist der normale Hausmüll drastisch zurückgegangen. Daraufhin ist wieder eine Müllerrhöhung gekommen mit dem Argument, die Deponie ist nicht ausgelastet und das erhöht die Preise. Das wollte ich dazu sagen. Wir leben in einer Gemeinde, wo der Bürgermeister etwas anderes reagiert hat und nur mehr 4 mal wöchentlich die Tonnen entleeren läßt. Es ist wirklich zum Teil unsinnig, was da an Energie verschwendet wird.

Aber ich habe eine Frage, die sollten wir vielleicht nicht aus dem Blickpunkt verlieren.

Wollen wir wirklich einen Wissenschaftszweig in der Zukunft brotlos machen? Denn hätten die alten Römer und Griechen schon so konsequent Müll entsorgt, dann hätten wir heute keine Archäologen. Damit wollte ich abschließen.

**HENRICH:** Da ich das Mikrophon schon habe, wollte ich auch eine provokante Bemerkung machen, auf die ich für mich die Antwort schon habe. Müßten nicht eigentlich alle Produkte doppelt so teuer sein, wie sie jetzt sind, also Autos, Computer, weil man eben für die Beseitigung, Zerlegung etwa dieselben Kosten aufzuwenden hat wie für die Herstellung ?

**TUFAR:** Es gibt hin und wieder in Hessen Schulfunkfernsehsendungen. In einer wurde vorgerechnet, wenn man wirklich das für Wärmedämm-Materialien bezahlen müßte, was die Produktion kostet, ist es besser man, nicht zu dämmen.

**RIEHL - H.:** Ich habe mich bis jetzt zurückgehalten, aber ich möchte hinweisen auf meinen Vortrag, da werden viele Fragen behandelt und auch die Dokumentation und die Schwierigkeit vor allem einer Langzeitdokumentation in einer Gesellschaft, wenn man dafür eintritt.

#### **Diskussionsbeiträge von:**

**Dr. W. HENRICH**

*Vöslauer Heilquellenverwertungs AG  
Paitzriegelgasse 2  
A - 2540 Bad Vöslau*

**Prof. Dr. G. MÜLLER**

*Inst. f. Sedimentforschung der  
Universität Heidelberg  
D-69112 Heidelberg*

**Dr. G. RIEHL-HERWIRSCH**

*Institut für Geologie  
TU - Wien  
Karlsplatz 13  
1040 Wien*

**Prof. Dr. W. TUFAR**

*Philipps-Univ. Marburg,  
Fachbereich Geowissenschaften  
Hans-Meerwein-Straße  
D-35032 Marburg/Lahn*

**Prof. Dr. W. VORTISCH**

*Inst. f. Prospektion u. angew.  
Sedimentologie  
Montanuniversität Leoben  
A - 8700 Leoben*

**Dipl. Ing. Dr. J. WIMMER**

*Oberösterreichische Umwelthanwaltschaft  
Stifterstraße 28  
A - 4020 Linz*



# BARBARA-GESPRÄCHE

## Payerbach 1995

Die Versuchsanlage Breitenau  
Aufbau und Wasserwegsamkeiten  
Ergebnisse und Fragen

G. RIEHL - H.  
P. CARNIEL  
M. HACKENBERG



## INHALT

1.	PLANUNG, BAU UND ERGEBNISSE BIS 1991	193
2.	MESSUNGEN UND BEOBACHTUNGEN BIS 1995	196
2.1	Sickerwassermengen	196
2.2	Durchlässigkeitsbetrachtungen zur Basisdichtung	198
2.3	Chemismus	200
2.4	Biotoxizität	203
2.5	Temperaturen	204
3.	WASSERWEGSAMKEITEN	205
3.1	Allgemeines	205
3.2	Setzungen, Rißbildung	205
3.3	Einfluß von Deponieaufbau und Müllschüttung auf die Wasserwegsamkeit	205
3.3.1	Deponieabdeckung	205
3.3.2	Einbaustrukturen	207
3.4	Einfluß der Umsetzungsvorgänge	210
3.5	Materialbedingter Einfluß	210
4.	ACRYLGLASPEGEL FELD II (Beobachtungen mittels TV-Kamera)	211
4.1	Pegeleinbau	211
4.2	TV-Aufnahmen des Pegels FII 1993/94/95	211
4.2.1	Oberer Pegelabschnitt, 0 - 4 m	212
4.2.2	Mittlerer Pegelabschnitt, 4 - 6,3 m	212
4.2.3	Unterer Pegelabschnitt, 6,3 - 9 m	213
5.	SITUATION WASSERWEGIG GELAGERTER ABFALLKÖRPER	216
6.	DIE BEDEUTUNG VON BREITENAU UND DIE DERZEITIGE SITUATION	218
7.	LITERATUR	219
	DISKUSSION	223

*Anschrift der Verfasser:*

*Dr. Georg RIEHL-HERWIRSCH*  
*Inst.f. Geologie*  
*TU-Wien*  
*Karlsplatz 13*  
*A - 1040 Wien*

*Ing. Peter CARNIEL*  
*Michael HACKENBERG*  
*Hauptstraße 70*  
*A - 2801 Katzelsdorf*

*Anmerkung der Autoren:*

*Die vorliegende Publikation wurde anfangs 1997 neu überarbeitet: Gegen die Veröffentlichung der Daten 1991 - 1995 gab es große Bedenken. Da niemand für die laufenden Betriebskosten und für die wissenschaftliche Betreuung der Versuchsanlage Breitenau finanzielle Mittel zur Verfügung stellen wollte, mußten diese Auslagen zum Teil privat bevorschußt werden um den Weiterbestand der Einrichtung zu ermöglichen. Außerhalb Österreichs hat man allerdings die Bedeutung der Deponieforschung bereits erkannt. Mehrere einschlägige Forschungsprojekte und Veröffentlichungen zu diesem Thema waren zu beachten. Datenmaterial und Ergebnisse der Versuchsanlage Breitenau stehen damit für weitere Bearbeitungen zur Verfügung.*

Barbara-Gespräche Payerbach 1995	Band 2	"Geogen - Anthropogen" "Hausmüllversuchsanlage Breitenau"	Seite 191-225 Abb. 1 - 15	Wien 1997
-------------------------------------	--------	--	------------------------------	-----------

# Die Versuchsanlage Breitenau

## Aufbau und Wasserwegsamkeiten. Ergebnisse und Fragen

G. RIEHL - H., P. CARNIEL, M. HACKENBERG

### 1. Planung, Bau und Ergebnisse bis 1991

Bereits 1970 entstand die ursprüngliche Idee zum Forschungsprojekt Hausmüllversuchsanlage Breitenau. Damals waren noch ungeschützte Müllablagerungen in ausgebauten Kiesgruben üblich und die Grundwässer des Wiener Beckens (Mitterndorfer Senke) unter anderem dadurch belastet. Das Problem sollte unter Verwendung der bei der Kieswäsche anfallenden Feinteile durch Nutzung derselben als Deponiebasisdichtung einer konstruktiven Lösung zugeführt werden. In einer ersten Studie (G. RIEHL-H., P. LECHNER 1983) wurden als Schwerpunkt der Untersuchungen folgende Themen gewählt:

- Einfluß von Müll-verfüllten Kiesabbau-gruben auf das Grundwasser
- Eignung von Schlämmrückständen aus der Kieswäsche als Grundwasserschutzschicht
- Einfluß von Deponieabdeckung und Oberflächengestaltung auf den Wasserhaushalt

Zur Beantwortung dieser Fragen waren drei Untersuchungsphasen mit wachsender Modellgröße vorgesehen. Die Ergebnisse der ersten beiden Phasen (Lysimeterversuche an Schluffen, Modelldimension einige Liter, und halbtechnische Versuche, Modelldimension ca. 1m<sup>3</sup>, wurden in einem gesonderten Bericht behandelt (G. RIEHL-H et.al., 1983).

Um die in der Aufgabenstellung formulierten Fragestellungen beantworten zu können, erschien damals als dritte Phase die Projektierung und Ausführung einer Versuchsdeponie in großem Maßstab mit drei weitgehend voneinander unabhängigen Deponierungsabschnitten (Feld I-III) als der beste Weg. Die Unterscheidungen wurden sowohl durch differierende Abdeckungsarten (Variation des Niederschlagseintrages) als auch durch die vorhandene bzw. fehlende mineralische Dichtungsschicht an der Basis der Deponie-Felder erreicht (Abb. 1). Auf den genauen Aufbau der Versuchsanlage Breitenau wird auch in der Arbeit von E. BINNER, Th. LAHNER 1997 in diesem Band eingegangen.

Planung, Ausführung und Untersuchungen des Forschungsprojektes wurden von der TU Wien, Institut für Geologie und Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abt. Abfallwirtschaft durchgeführt, die Projektleitung lag in den Händen von G.RIEHL-H. und P. LECHNER. Finanziert wurde das Projekt bis 1991 vom Amt der NÖ Landesregierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Abt. B/9, Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Österreichischen Wirtschaftskammer, Sektion Gewerbe und Sektion Industrie. Die Finanzierung der Bau- und Ausstattungskosten erfolgte durch Zession der Ablagerungsgebühren an das Bauunternehmen, was in der Folge zu großen finanziellen Problemen geführt hat. Während der Bau- und Einbringungsarbeiten wurde amtlicherseits die Möglichkeit eingeräumt, das ursprünglich geplante Volumen von 15-20.000 m<sup>3</sup> auf

100.000 m<sup>3</sup> zu erhöhen. Damit ist die Versuchsanlage Breitenau zum weltweit größten Forschungsprojekt dieser Art geworden.

Nach fünf Jahren intensiver Beobachtung und Dokumentation wurden die Ergebnisse bis incl. 1991 im Rahmen des Wasserwirtschaftskatasters des BMfLuF veröffentlicht (G. RIEHL-H., P. LECHNER et.al., 1995). Zum Aufbau soll aus dieser Arbeit übernommen werden:

**Feld I: vollständige Abkapselung, Schluff/Ton/Kies-Abdeckung (wie Basisdichtung)**

Nach 3 Jahren Betrieb lassen stark ansteigende Sickerwassermengen - im Gleichlauf mit Niederschlagsspitzen - erkennen, daß sich eine weitgehende Abkapselung auf Dauer technisch sowie ökonomisch als nicht durchführbar erweist. (Abb. 1: "dicht" war Feld I nur ca. 2,5 Jahre nach Fertigstellung der Schluffabdeckung, bis April 1991, auch Abb.2)

**Feld II: Kiesabdeckung mit großer Durchlässigkeit**

Der starke Wassereintrag durch die wenig dichte Abdeckung (teilweise nur Wandkies) wird durch hohe Sickerwassermengen und den damit verbundenen starken Absenkungen im Temperaturgang (Abb. 2, 8) im Müllkörper angezeigt, das Feld fungiert als „Reaktordeponie“ (P.LECHNER 1992).

**Feld III: Rohkompostabdeckung, maximale Speicher- und Verdunstungsmöglichkeit**

Das Niederschlags-Rückhaltevermögen der Rohkompostabdeckung - zusammen mit einer sich überaus rasch entwickelnden Vegetation - hat bezüglich der Sickerwasserminimierung den besten Erfolg gebracht (R. PAWLICK 1988).

Die Temperaturen im Müllkörper erreichen etwa 1-2 Jahre nach Ende der Müllschüttung

ihr Maximum mit ca. 47-50°C. Lokale Bereiche in Feld I und II zeigen markante Temperaturabsenkungen bei großen Niederschlagsereignissen (Feld II seit Beginn der Müll-Ablagerung, Feld I seit einem "Wasser-einbruch" nach der Schneeschmelze im Frühjahr 1991, Abb. Tafeln XII-XII, G. RIEHL-H. et.al. 1995).

Nach dem Einbau des Hausmülls ließen sich in allen drei Feldern deutlich zwei ausgeprägte Gärungsphasen, die sogenannte "saure Phase" und die "stabile Methanphase", erkennen.

Die Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser sanken innerhalb von 2 Jahren auf Werte, die nach Angaben in der Literatur (H.-J. EHRIG 1989) sonst erst in "alten" Deponien, frühestens 6-8 Jahre nach der Verfüllung, auftreten (P. BACCINI et.al. 1987, 1992, H. LÖFFLER 1988). Eine mögliche Erklärung dafür ist die Schaffung eines "günstigen" Wassergehalts im Hausmüll durch Zugabe von Wasser beim Mülleinbau oder durch die Sickerwasserkreislaufführung in Feld II und Feld III. Damit wird eine Verbesserung der Milieubedingungen für das Abbauverhalten im Müllkörper erreicht (Reaktordeponie).

Eine weitere Erklärung ist, daß ein Teil des Einbauwassers und des laufend zutretenden Niederschlagswassers in "gasgetragenen Sickerwasser-Speichern" ("virtueller Wasserspiegel", R. STEGMANN 1990) mit möglicherweise hoher Schadstoffkonzentration zwischengespeichert wird. Bevorzugte, rasch ausgelaugte Wasserwege innerhalb des Müllkörpers lassen so nur scheinbar gering belastete Sickerwässer entstehen!

Der mit Kies und Altreifen ausgeführte seitliche Folienschutz wirkt als Drainage und bietet einem Großteil des Wassers direkten Durchgang ohne wesentlichen Kontakt mit dem Müll. Das schließlich austretende Sickerwasser wird daher in Niederschlagsphasen und zur Zeit von Schneeschmelzen und Starkregenereignissen geringere Belastungen aufweisen als in Trockenphasen, wo hochbelastete Anteile aus den "gasgetragenen Zwischenspeichern" dominieren.

Im Verlauf der Methangärung kommt es bei den Sickerwässern zu einer Änderung des Isotopenverhältnisses, einer Deuteriumanreicherung (D. RANK et.al. 1992). Zusammen mit dem erhöhten Tritiumgehalt des Deponiewassers erlaubt dies, sowohl das isotopisch unterschiedliche Niederschlagswasser im Müllkörper als auch die Wasserbewegung durch die Basisdichtung zu verfolgen (siehe dazu auch Abschnitt 2.2.).

Ein hoher Wirkungsgrad der Basisdichtung aus Schlämmrückständen nach der Kieswäsche konnte nachgewiesen werden ( $k$ -Wert 1991: Feld I...5,5x10<sup>-10</sup>, Feld II...9,8x10<sup>-10</sup>). Eine

zeitliche Veränderung des Rückhaltevermögens der Dichtschichte ist erkennbar (Menge und Qualität des Durchlaufs), müßte aber noch weiter beobachtet werden.

Die durch das Gasdrainagesystem erfaßte Gasproduktion zeigt einen Rückgang auf ca. 1/4 der Anfangsmenge im Zeitraum von 2 Jahren. Im allgemeinen Interesse liegende, detaillierte Aussagen waren leider wegen fehlender finanzieller Mittel nicht möglich. Mit der vorliegenden Arbeit sollen zum Teil die Ergebnisse 1991 bis 1995 nachgetragen und interpretiert werden.

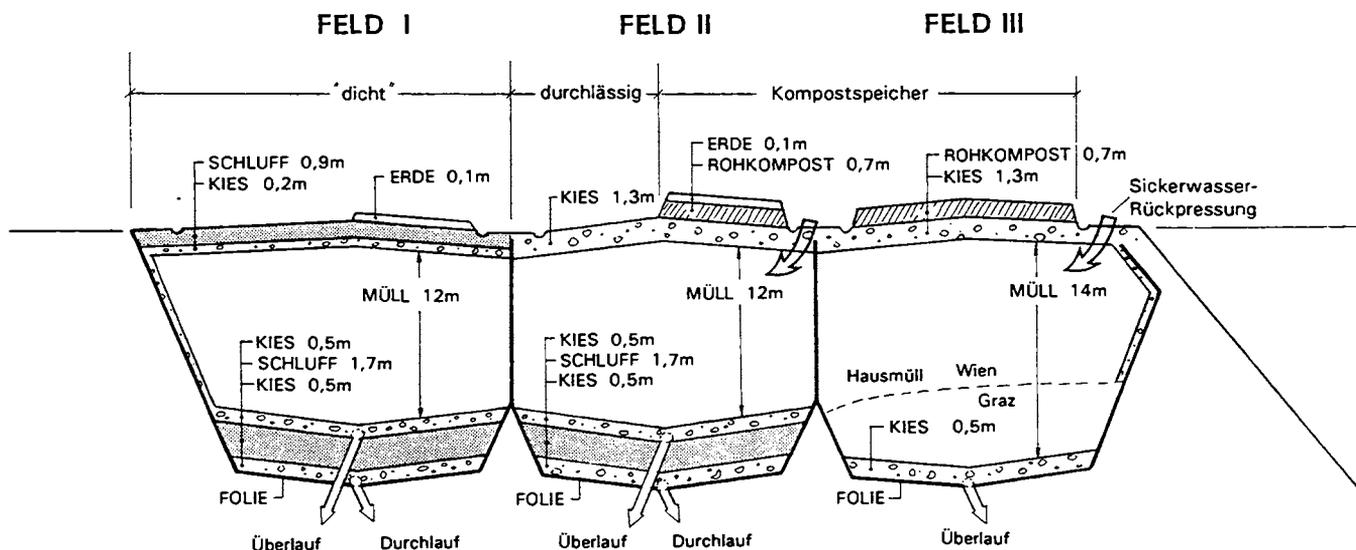


Abb. 1: (aus: G. RIEHL - H. et.al. 1995) Schematischer Aufbau der drei Versuchsfelder der Hausmüllversuchsanlage Breitenau. Die unterschiedlichen Deponieabdeckungen und Oberflächengestaltungen der drei Versuchsfelder haben einen wesentlichen Einfluß auf den Wasserhaushalt (anfallende Sickerwassermengen)

## 2. Messungen und Beobachtungen bis 1995

### 2.1 Sickerwassermengen

Nach der Konstruktion der Anlage lassen sich zwei verschiedene und getrennt nach Feld und Herkunft gesammelte, gemessene und untersuchte Sickerwässer unterscheiden:

das **Überlaufwasser (Ü)**, das oberhalb der mineralischen Dichtschicht abgeleitet wird (bei Feld III gibt es nur Überlaufwasser) und in seiner Qualität einem normalen Deponie-sickerwasser entspricht, und das **Durchlaufwasser (D)** welches unterhalb der mineralischen Dichtschicht gesammelt wird (Abb. 1).

#### Überlauf (Ü I, Ü II, Ü III)

Es zeigte sich, daß die Oberflächenabdeckung und Gestaltung einen entscheidenden Einfluß auf die niederschlagsbedingt anfallenden Sickerwassermengen haben.

In der Abb. 2 wird eine Auswahl der wichtigsten für den Wasserhaushalt relevanten Monatsmengen in ihrer zeitlichen Entwicklung für den Zeitraum 1987-1995 dargestellt.

Als Flüssigkeitseintrag gelten (N) Niederschlag und (R) Sickerwasser-Rückpressung, als Flüssigkeitsaustrag gelten (Ü) Überlauf, die über der Dichtschicht, in freier Vorflut anfallende Flüssigkeitsmenge und (D) Durchlauf, die durch die Basisdichtschicht hindurchtretende Flüssigkeitsmenge. Um einen Vergleich zwischen den einzelnen unterschiedlich aufgebauten Feldern zu ermöglichen, sind die dargestellten Wassermengen auf die jeweilige Fläche bezogen und in l/m<sup>2</sup> angegeben (Niederschlag, Rückpressung und Überlauf auf die Deponie Feldfläche, der Durchlauf auf die Fläche der Dichtschicht).

**Ü I: Feld I**, "vollständig abgekapselt" mit Schluff/Ton/Kies-Abdeckung, eine Hälfte an der Oberfläche zusätzlich mit Bodenmaterial der Umgebung bedeckt, lieferte in den ersten beiden Jahren im Verhältnis zum Niederschlag geringe Sickerwassermengen mit abnehmender Tendenz. Im 2. Quartal des dritten Betriebsjahres lassen stark ansteigende Mengen im

Gleichlauf mit den Niederschlagsspitzen erkennen, daß die Oberflächenabkapselung nicht mehr dicht hält. Das nach Starkregenereignissen "durchschießende" Wasser ist zum Teil auf die Wasserwegigkeit der vorgeschriebenen Randkonstruktion (Autoreifen mit Sand auf der Seite der mit einem Vlies geschützten Folienwanne) zurückzuführen, zum Teil auf Setzungsrisse, die sich besonders im erdabgedeckten Teil des Feldes (I/2) nicht durch "Selbsteilung" (Verschlämmen durch ausgewaschene Feinteile der Abdeckung) schließen. Dies zeigt eindeutig, daß eine Abkapselung, selbst wenn sie sorgfältigst durchgeführt worden ist, auf die Dauer weder technisch noch ökonomisch machbar ist (S. MELCHIOR, 1996), **der Durchbruch kommt, und er kommt dann zu einem unerwarteten Zeitpunkt.** Die durchschnittliche tägliche Sickerwassermenge aus diesem Feld liegt bei 2200 l, mit beachtlichen Schwankungen zwischen 700 l (Trockenperiode) und 32.000 l (Starkregen, nach oben offen)!

**Ü II: Feld II**, Kiesabdeckung, auf einer Hälfte mit erdabgedeckter Rohkompostfraktion auf der Kiesplatte, lieferte große Überlaufmengen im 1. Halbjahr des zweiten Betriebsjahres (Rückpressen von Sickerwässern aus den Felder I und II). Im dritten Betriebsjahr lieferte Feld II noch etwas höhere Mengen pro Quadratmeter als Feld I, ab dem vierten Betriebsjahr nahmen die Sickerwassermengen im Vergleich zu Feld I rapide ab. Die tägliche durchschnittliche Sickerwassermenge aus diesem Feld liegt bei 1500 l, wobei die Minima/Maxima (ohne Rückpreßphase 1990) bei 270/9.000 l liegen.

**Ü III: Feld III (Nullversuch)**, ohne Basisdichtung, aber selbstverständlich in der Folienwanne, abgedeckt mit fraktioniertem Rohkompost, zeigte von allen Feldern das beste Niederschlagsrückhaltevermögen. Die Speicherwirkung der Rohkompostabdeckung - erst nach einer knapp vierwöchigen Regenperiode wurde eine Sättigung des Rohkompostes beobachtet - und die üppig wuchernde Vegetation sorgt für reichliche Verdunstung

**VERSUCHSANLAGE  
BREITENAU  
FLÜSSIGKEITSBILANZ**

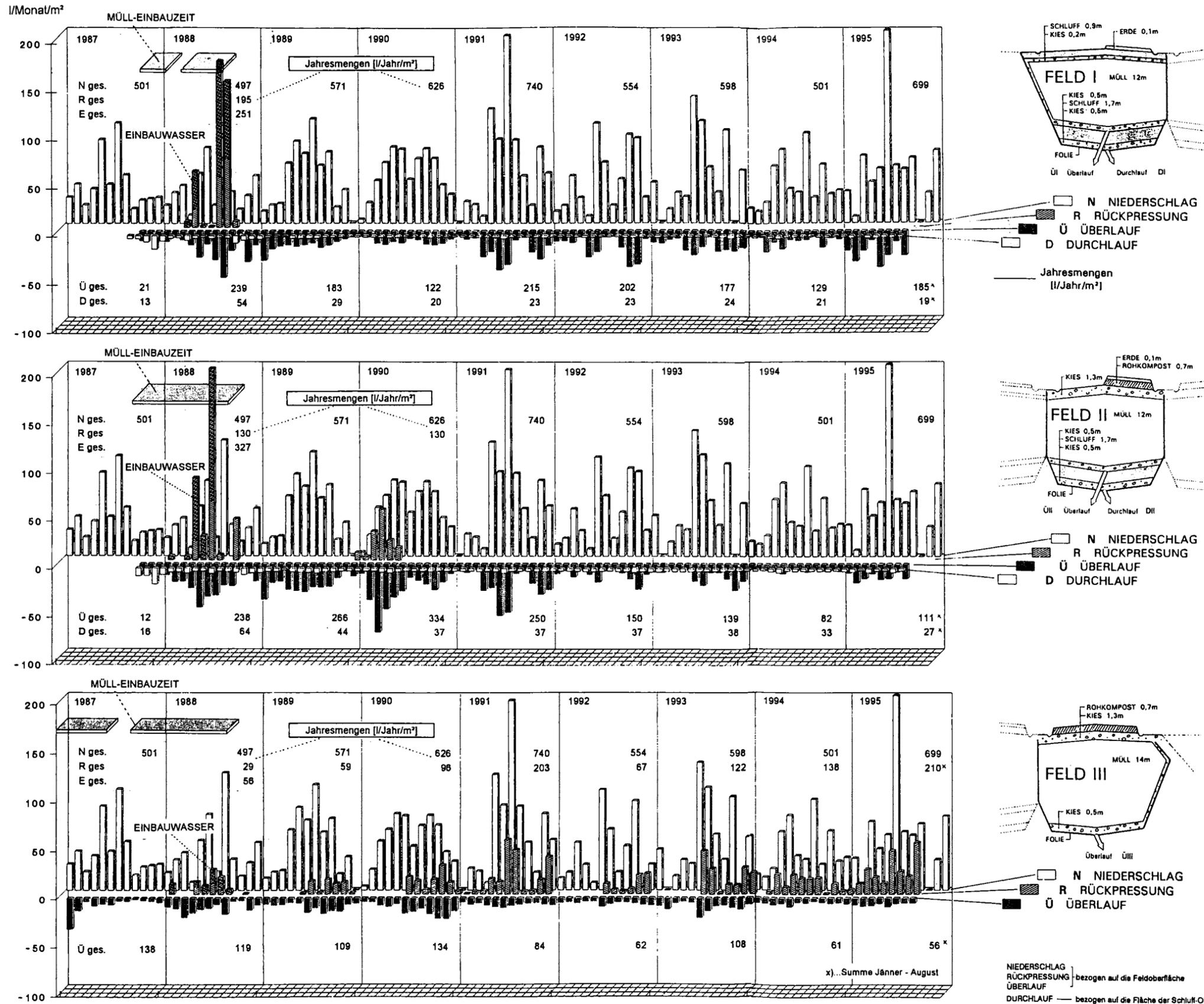


Abb. 2: Niederschlag und Sickerwassermengen. Die Niederschlagsspitzen prägen sich bei Feld I deutlich und bei Feld II schwächer durch, bei Feld III zeigen sie keine Auswirkung. Gut an der Mengenentwicklung 1989-1990 bei Feld I zu erkennen, wie lange die Oberflächenabkapselung dicht gewesen ist.

der meteorischen Wässer. Auch das Rückpressen und die Kreislaufführung von Sickerwässern aus Feld I und Feld II in Feld III führte nur zu einer unwesentlichen Erhöhung der Gesamtmenge, was auf die Speicherkapazität des in diesem Feld eingebrachten „Grazer Mülls“ spricht (Th. LAHNER 1989). Die tägliche durchschnittliche Sickerwassermenge aus diesem Feld liegt bei 1000 l, wobei die Extremwerte trotz Rückpressung nur zwischen 240/2.000 l liegen.

### Durchlauf (DI, DII)

Das unter der mineralischen Dichtschicht anfallende Wasser besteht zum Großteil aus Porenwasser der Feinteilschicht und war daher ursprünglich nahezu unbelastet. Die Menge wurde im ersten Jahr (mit großen Schwankungen) stetig geringer. Seit dem zweiten Jahr beträgt sie für das Feld I ca. 40-50 l/d, für das Feld II 50 - 70 l/d, bei niederschlagsbedingtem Einstau des Überlaufs kommt es zu größeren Abgabemengen auf Grund des erhöhten hydrostatischen Druckes.

Während der Durchlauf I (D I) auch optisch völlig einwandfrei schien, ist beim Durchlauf II (D II) immer schon eine geringe Kontamination auf Grund schwachen  $H_2S$ -Geruches und der im Vergleich zu D I erhöhten Leitfähigkeit feststellbar gewesen. Der Grund hierfür ist in der etwas anderen Konstruktion des Auslaufes sowie in Fehlern der Verschweißung des Einbindestreifens zur Folienwanne zu suchen, die geringe Umläufigkeiten bei Überstau möglich gemacht hat.

Aus den ausgewerteten Daten geht hervor, daß bei **j e d e r** Oberflächengestaltungsvariante Niederschläge in den Deponiekörper eindringen. Eine Einkapselung durch Aufbringen einer Schluff-Ton-Schicht zur Abdichtung der Oberfläche bewirkt **n i c h t z w i n g e n d** geringere Sickerwassermengen als eine durchlässig ausgeführte Oberfläche mit Kompostabdeckung und Bewuchs. Nach Versagen dieser Schluff-Ton-Dichtung (also zu einem nicht vorhersehbaren Zeitpunkt) kommt es dann durch die Wiederbefeuchtung des Mülls zu erhöhter biologischer Aktivität.

Somit ist auch jeder Versuch einer Abkapselung von Abfällen dennoch eine wasserwegige Lagerung und trägt noch zur Komplexität und Unberechenbarkeit von Vorgängen in einer Deponie bei.

Die Versuche in Breitenau zeigten eine **z u m i n d e s t** gleich gute Wirksamkeit einer Kompostabdeckung mit Bewuchs (Verdunstung), wie bei der versuchten Einkapselung mit einer Schluff-Ton-Abdichtung von Feld I. Die Auswertung weist auf eine Schädigung der Oberflächenabdichtung von Feld I bereits innerhalb von 3 Jahren nach ihrer Herstellung hin, während die Wirkung der Vegetation immer besser wird. Trotz Sickerwasserkreislaufführung und höheren Niederschlägen sinkt der Sickerwasseranfall in Feld III, wobei mit einem nicht meßbaren Anteil die o.a. Lagerung und der Feldinhalt daran beteiligt waren.

### 2.2 Durchlässigkeitsbetrachtungen zur Basisdichtung

Die aus den Versuchsfeldern austretenden Durchlaufwässer (Durchlauf = D: die durch die Dichtschicht hindurchtretenden Flüssigkeiten) zeigen eine deutliche Zeitabhängigkeit. In der Anfangsphase zeigen sie eine Abnahme der Mengenwerte, in der anschließenden zweiten Phase schwanken sie um einen gleichbleibenden Wert mit kurzfristigen Spitzen bei erhöhtem Sickerwasserüberstau ober der Dichtschicht. Dieses Verhalten kann so interpretiert werden, daß anfänglich ca. 15 Monate lang die gravitative Konsolidierung gegenüber einer von Kapillarkräften, Strömungsbedingungen usw. bestimmten Durchlässigkeit vorherrscht und zusätzlich überschüssiges Porenwasser austreten läßt. Danach bildet eine konstant bleibende Durchlaufmenge (Durchlässigkeit und Randumläufigkeit) den wesentlichen Anteil an der Gesamtmenge. Beide Phasen können durch mehr oder weniger gut korrelierende Gerade beschrieben werden (Schema in Abb. 4).

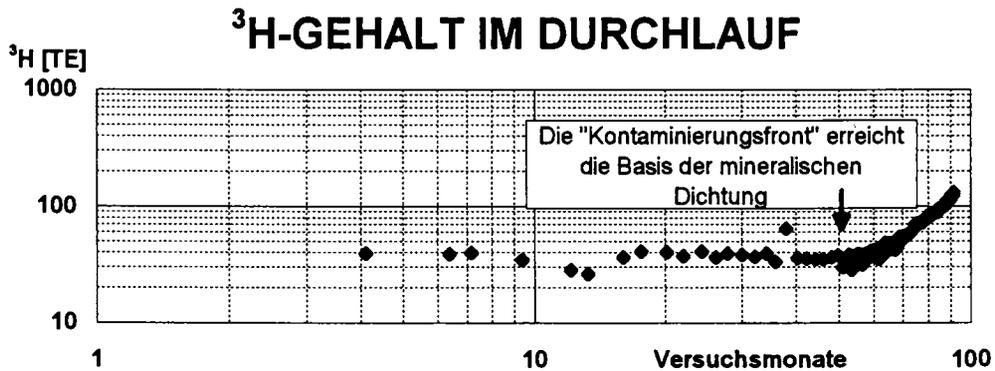


Abb. 3: Isotopenuntersuchungen Breitenau -  $^3\text{H}$ -Gehalte im Durchlauf. Zur Verdeutlichung wurde ein doppelt logarithmischer Maßstab gewählt. Die Tritiumbelastung des Überlaufwassers liegt noch um drei Zehnerpotenzen unter dem für Trinkwasser festgesetzten Grenzwert; mit dem eingebauten Müll sind alte tritiumbeleuchtete Geräte (Uhren, Notausgangsbeleuchtung etc.) in die Deponie gelangt.

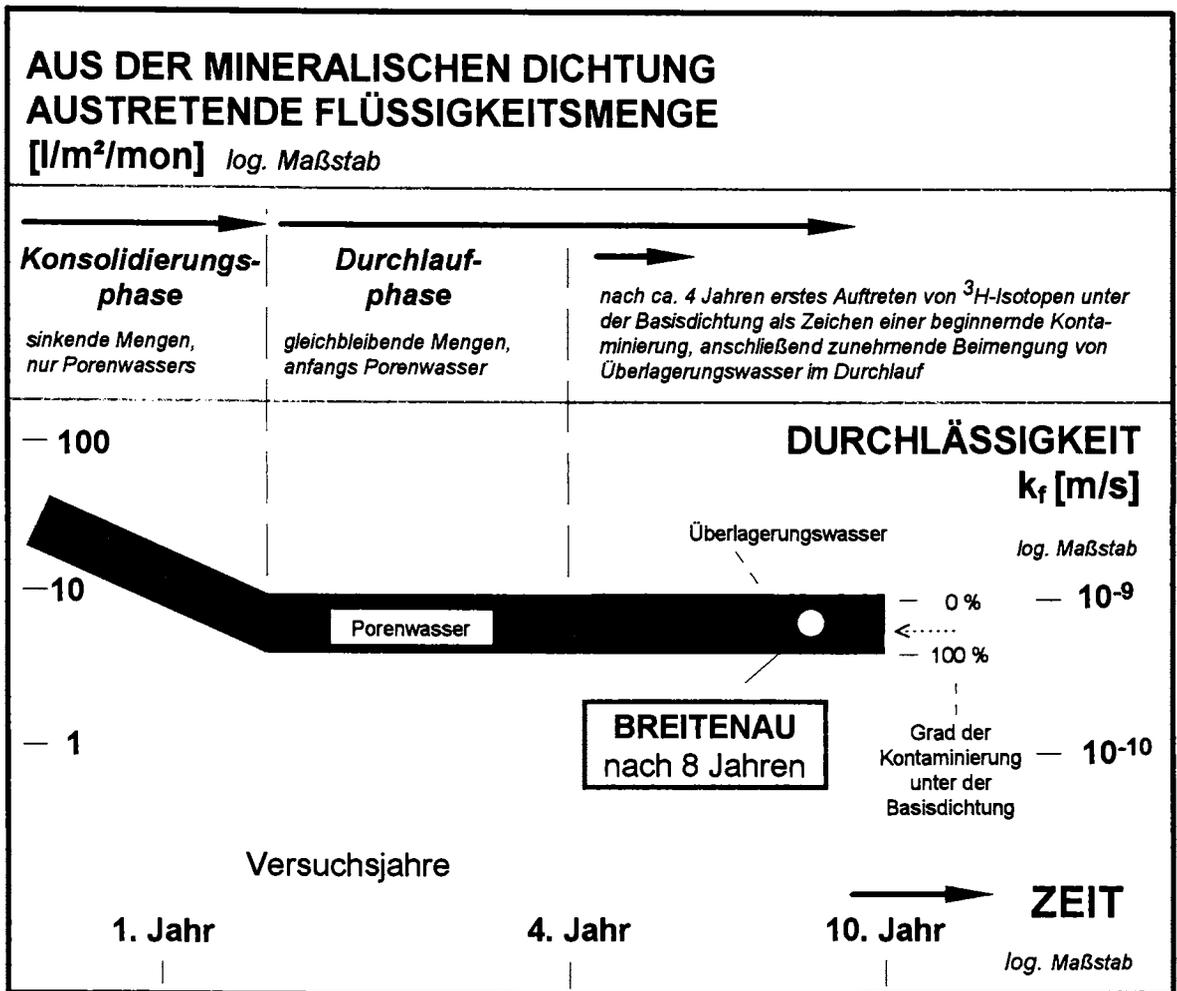


Abb. 4: Das Schema zeigt grob den Verlauf der austretenden Flüssigkeitsmengen während der zwei Entwicklungsphasen: Konsolidierung und Durchlauf. Da ein linearer Maßstab Details des Verlaufs der austretenden Flüssigkeitsmenge nicht sichtbar machen kann, soll die logarithmische Darstellung die Entwicklung dieser Mengen besser verdeutlichen. Zudem können oft natürlich ab- bzw. zunehmende Prozesse in dieser Form der Darstellung als Geradenabschnitte abgebildet werden

Isotopenuntersuchungen der Durchlaufwässer (D. RANK et al., 1997) konnten die Durchsatzgeschwindigkeit von Wassermolekülen des Durchlaufs durch die Dichtungsschicht mit Tritium als Markierung bestimmen. Abb. 3 gibt eine Darstellung der zeitlichen Entwicklung des Tritiumgehalts im Durchlauf. Nach etwa 50 Monaten mit gleichbleibenden Werten markiert ein Anstieg die Ankunft der ersten Wassermoleküle, die die gesamte Schicht durchsetzt haben. Eine "Kontaminierungsfront" ersetzt die intergranuläre Flüssigkeit.

Dieser Zeitpunkt ist zu jenem, der die endende Konsolidierungsphase markiert (Abb. 4), um etwa 40 Monate versetzt. Eine mittlere Geschwindigkeit der "Kontaminierungsfront" läßt sich im Fall Breitenau mit ca. 30 Monaten/m Schichtdicke angeben. Dies entspricht einem  $k_f$ -Wert von ca.  $6 \times 10^{-10}$  m/s.

### 2.3 Chemismus

Abb. 5 gibt einen Überblick zum Großteil der am Sickerwasser ausgeführten Analysen. Abb. 6 zeigt die Ergebnisse der BSB5 und CSB-Werte im Detail.

Das Analysenintervall beträgt bis Mitte 1990 ein Monat. Danach mußte der Zeitabstand aus Kostengründen auf drei Monate erhöht werden, allerdings wurden SIWA-Proben bis 10/96 weiterhin vierzehntägig gezogen und tiefgefroren aufbewahrt.

Die Darstellung von pH-Wert und Leitfähigkeit in Abb. 5 sind in getrennten Diagrammen dargestellt. Der im pH-Diagramm ablesbare Wechsel vom sauren zum basischen

Milieu innerhalb des Müllkörpers ist durch ein Quadrat ( □ ) markiert. Dieser Zeitpunkt ist auch in den Kurven der Stoffkonzentrationen des Überlaufs jeweils gekennzeichnet.

Um den sehr großen Wertebereich der Stoffkonzentrationen aller Analysen innerhalb einer Darstellung festhalten zu können, mußte ein logarithmischer Maßstab gewählt werden, der sieben 10er-Potenzen umfaßt ( 0,01 mg/l bis 100.000 mg/l).

Bei der pH-Wert Darstellung ist der Wechsel vom sauren zum basischen Milieu durch einen Grauraster markiert. Die abgesetzte Darstellung der Diagrammflächen von pH-Wert, Leitfähigkeit und Konzentration erfolgte der größeren Deutlichkeit wegen.

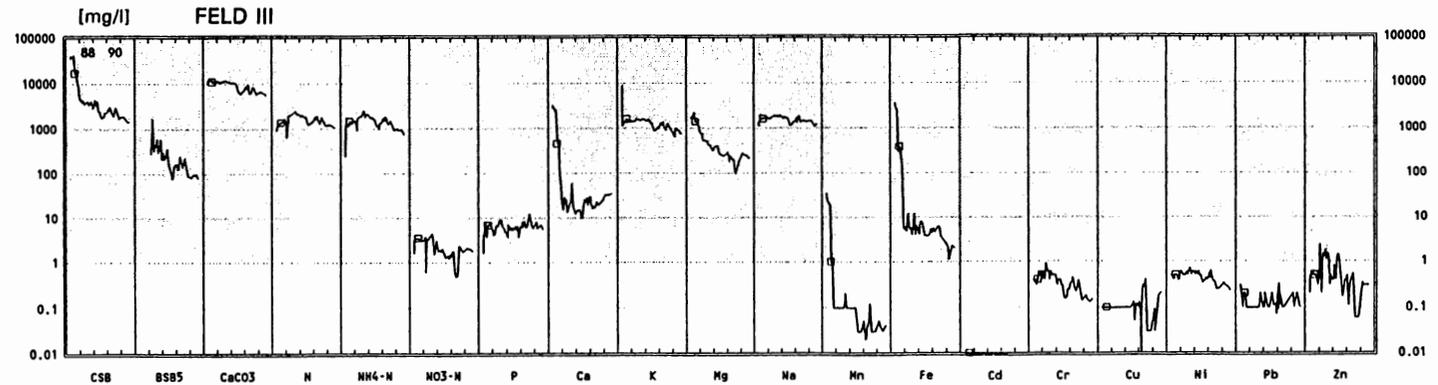
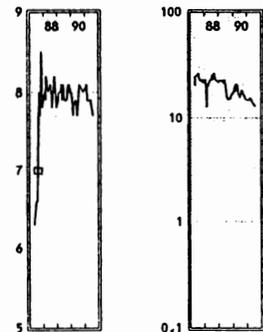
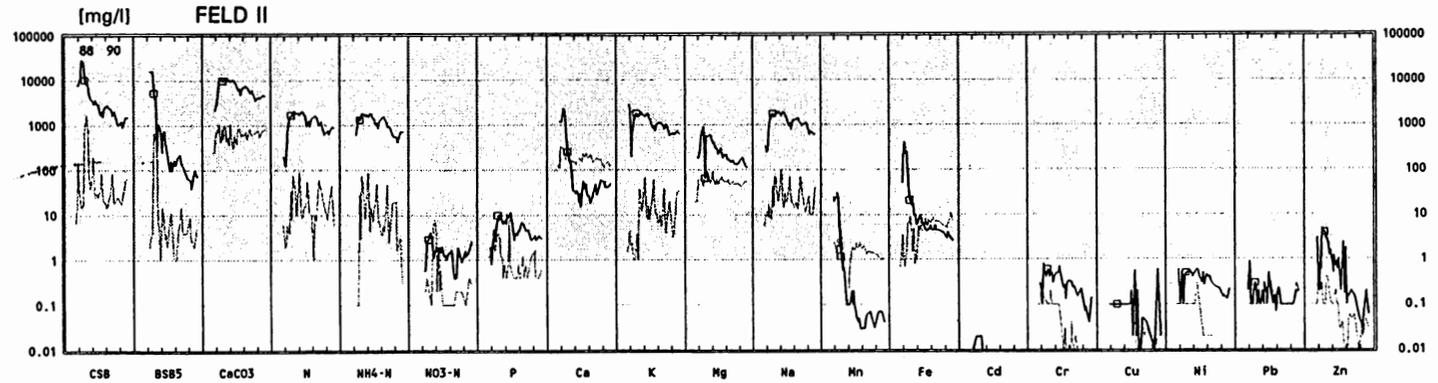
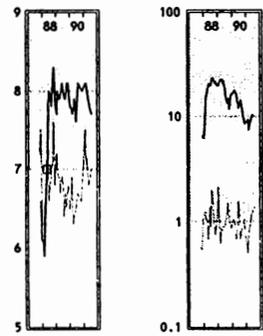
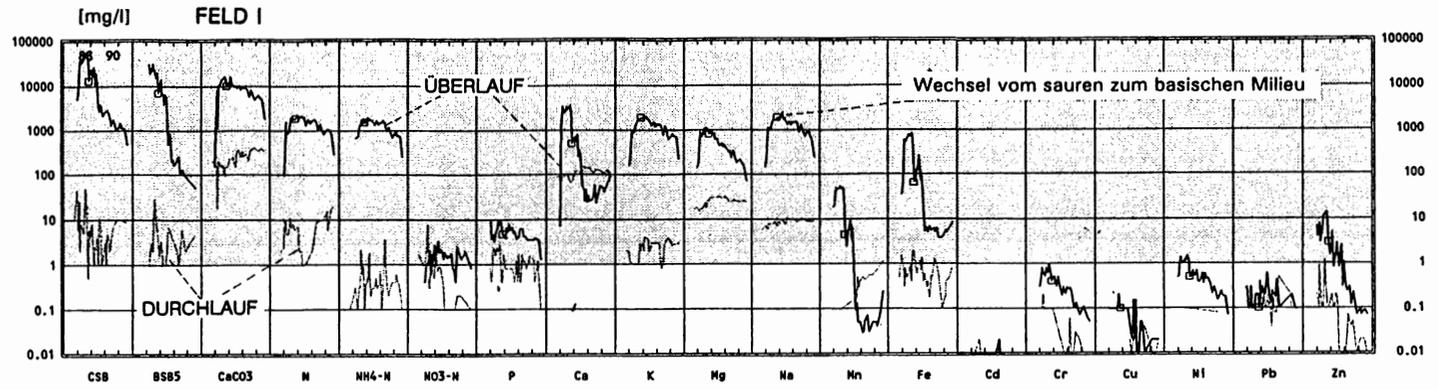
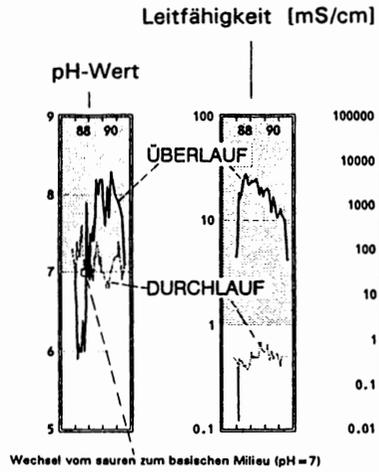
Eine Abschätzung des Schadstoffaustrages aus Deponien kann nicht alleine durch Betrachtung der Sickerwasserkonzentrationen erfolgen. Konzentrationen sind von der Löslichkeit des Inhaltsstoffes und von der Menge (und auch Konzentration - siehe Kreislauführung) des Elutionsmediums Wasser abhängig. Geringe Konzentrationen bedeuten daher nicht zwangsläufig geringe Umweltbelastung, da sie ja auch durch Verdünnung (hohe Sickerwassermengen) hervorgerufen sein können. Die Fragen des Schadstoffaustrages werden besonders ab 1996 bei Feld III von Interesse sein, da ab diesem Zeitpunkt durch die Kanalentsorgung eine klare Niederschlagsaustragslinie eingehalten werden kann.

Über die Themata „chemische Analytik“ und „Abbauvorgänge“ soll wieder auf die Arbeit E. BINNER - Th. LAHNER in diesem Band hingewiesen werden.

---

*Abb. 5 (rechts): Konzentrationen: Die Abbildung stellt die Zusammenfassung der Ergebnisse der chemischen Sickerwasseranalysen dar. Die zeitliche Entwicklung der Konzentrationen (1987-1991) im SIWA-Überlauf und Durchlauf wird jeweils für ein Feld, geordnet nach Stoffen gegenübergestellt. Der Übergang der sauren aeroben Anfangsphase in die Phase der Methangärung (pH 7) ist in den einzelnen Kurven mit einem Quadrat markiert. Abhängigkeiten von dieser "Wende" sind gut erkennbar (Schwermetalle u. a.)*

# STOFFKONZENTRATIONEN IM SICKERWASSER [mg/l]



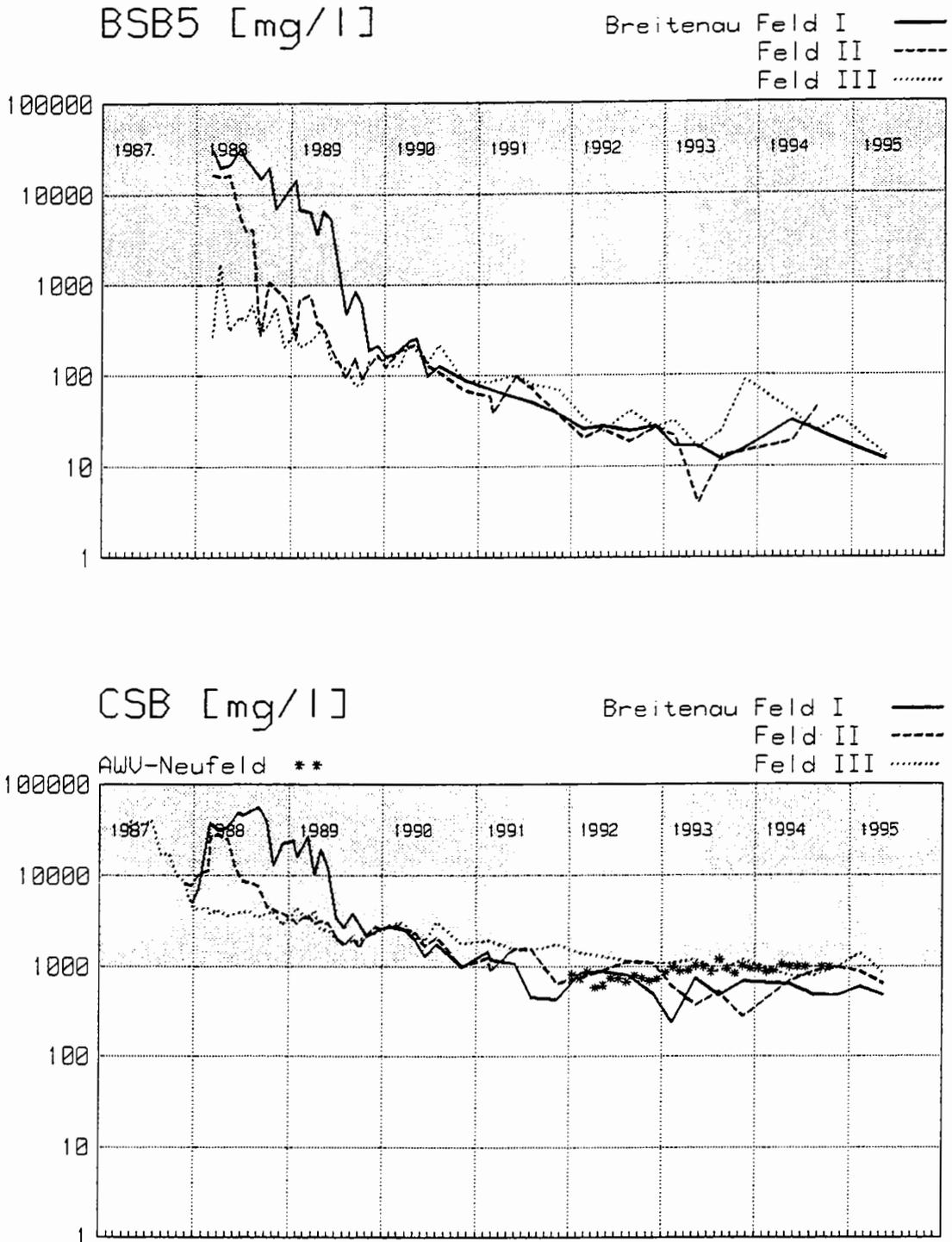


Abb. 6: BSB5 / CSB: Die längere Dauer der sauren Phase in Feld I ist an den erheblich höheren CSB und BSB5-Werten erkennbar. Aussagekräftig für den Abbauzustand ist auch das Verhältnis der beiden Parameter: in der sauren Phase liegt es mit 0,8 bis 0,25 relativ hoch, nach zwei Jahren Bestandsdauer fällt es auf 0,09 bis 0,06. Die stabile Methanphase ist ab einem Verhältnis von 0,1 erreicht.

## 2.4 Biotoxizität

Die Proben der Sickerwässer der 1989-03-10 fertiggestellten Hausmüllversuchsanlage der TU Wien (letzte Mülleinbringung 1988-10-10) waren unstabilisiert tiefgefroren und es sind somit vor allem die ältesten mit gewisser Vorsicht zu betrachten. Die Biotoxizität wurde mittels Leuchtbakterientest (*Vibrium fischeri*) durchgeführt, wobei der  $H_{30}$ -Wert, d.h. die prozentuelle Schädigung der Bakterienkultur nach dreißig Minuten gemessen worden ist.

Die Überlaufwässer aus den drei Feldern zeigen nach einem Minimum 1990/91 einen konstanten Anstieg der Toxizität (Abb. 7), der 1993 kulminiert (M. NOVAHA 1993), wobei der Überlauf Feld III am stärksten belastet ist (75% Hemmung => sehr starke Hemmung, bei Messungen 1993 über 90% Total-schädigung; da der Chemismus des Sickerwassers Schwankungen unterworfen ist und zudem 1993 eine Frischprobe genommen wurde, ist diese Schwankungsbreite durchaus plausibel). Die geringste Belastung weist der Überlauf des Feldes I auf, da in dieses Feld von allen das meiste relativ reine meteorische Wasser eindringt, es auch immer wieder auf bevorzugten mehr oder weniger identen Wegen durchfließt, die dann immer bessere Wegsamkeiten bilden und diese auch auf längere Sicht „ausgewaschen“ werden, und so für Verdünnung der Inhaltsstoffe gesorgt wird.

Der kurze Abfall der Biotoxizität 8-9/94 ist dadurch zu erklären, daß untersuchte Proben nach einem Regenereignis genommen wurden, auch hierbei handelt es sich wohl um einen Verdünnungseffekt.

Der Toxizitätsverlauf der Durchlaufwässer (D I und D II, unter der o.a. Dichtschichte genommen) mit seinem langsamen Anstieg läßt sich durchaus mit den Ergebnissen der Isotopenuntersuchung korrelieren (Abb. 3), mit der zusätzlich zum Porenwasser ein langsam zunehmender Anteil von Müllsickerwasser nachgewiesen werden konnte.

Die hohe Toxizität von Sickerwässern aus anaeroben Ablagerungen wurde auch mit anderen Testmethoden ( $EC_{20}$ ) an anderen Deponien gemessen. Das Eluat von 1kg Müllmaterial müßte mit 1000 l Wasser verdünnt werden, damit weniger als 80% der Leuchtbakterien geschädigt werden. Breitenau stellt somit keinen Einzelfall dar. Von Interesse dabei ist, daß die durch die chemische Analyse festgestellten Inhaltsstoffe keinesfalls diese Toxizität erwarten lassen; es treten hier Synergismen und Antagonismen auf, deren Erforschung noch nicht einmal ansatzweise begonnen worden ist. Unstabilisierte und wasserwegig gebaute Deponien werden Grundwasser und Atmosphäre stets mit unerwünschten Schadstoffen belasten (P.SPILLMANN 1996).

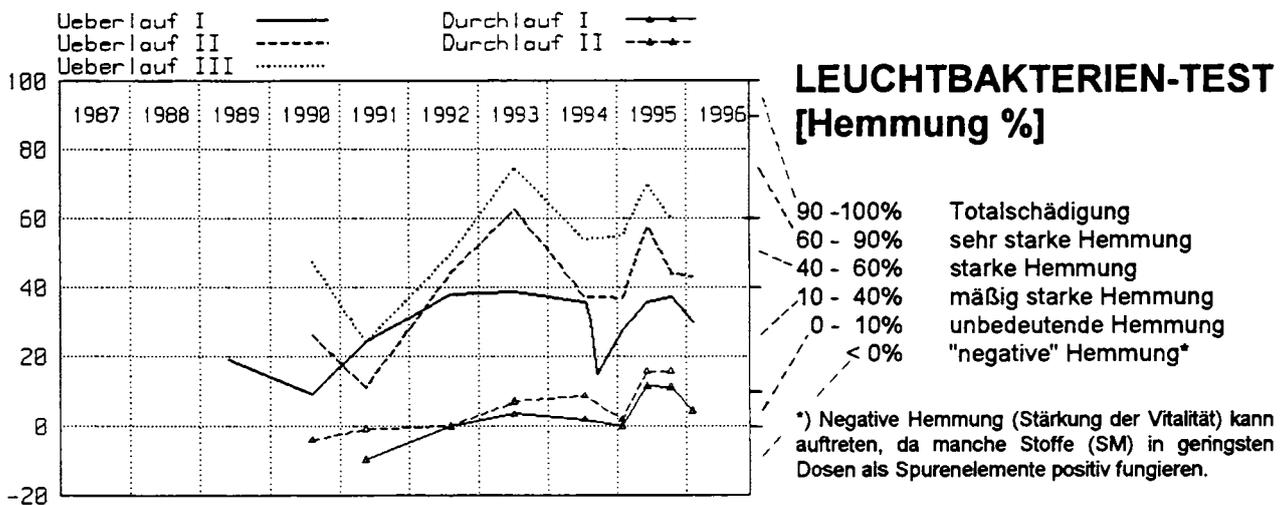


Abb. 7: Verlauf der Biotoxizität in den Müllsickerwässern der Versuchsanlage Breitenau Die Toxizität des Durchlaufes liegt deutlich unter jener des Überlaufes. 1995 ist auch biotoxisch die Kontamination mit Sickerwasser zu erkennen, jedoch immer noch im umweltverträglichen Bereich

### 2.5 Temperaturen

Ein bis zwei Jahre nach dem Ende der Müllschüttung erreichten die Temperaturen mit 47-50°C ihr Maximum. Von da an sanken sie stetig ab und liegen mit Ende 1995 auf 20 - 25°C. Starkregenereignisse lassen sich durch Minima (Abkühlung durch "Frischwasser") erkennen.

Bei Feld I sinkt die Temperatur kontinuierlich seit dem "Durchbruch" der mineralischen Abdeckung 1991.

Feld III hat gegenüber den anderen Feldern höhere Temperaturen. Dies läßt darauf

schließen, daß ehemals trockene und daher inaktive Anteile des Müllkörpers durch das Rückpressen befeuchtet werden und damit eine umfassendere Umsetzungstätigkeit gegeben ist. Parallel dazu setzt erneute Gasbildung ein. Die bei mikrobieller Umsetzung tatsächlich entstehende Wärmeenergie ist sehr gering; das hohe Temperaturniveau beruht auf einem „Kochkisteneffekt“.

Das Absinken der Temperatur in Feld II bei Regenfällen und damit vorwiegend im Sommer kann mit einem stark frequentierten „Wasserweg“ in unmittelbarer Nähe des Temperaturfühlers erklärt werden.

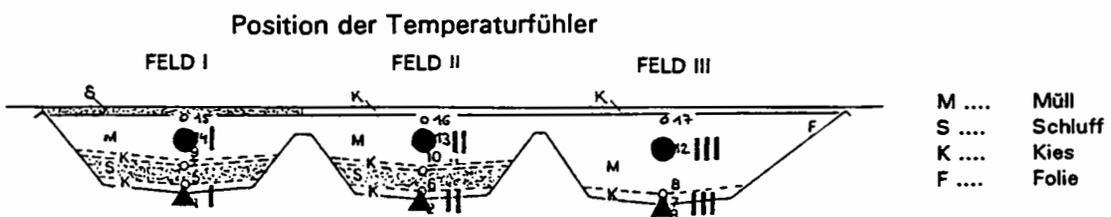
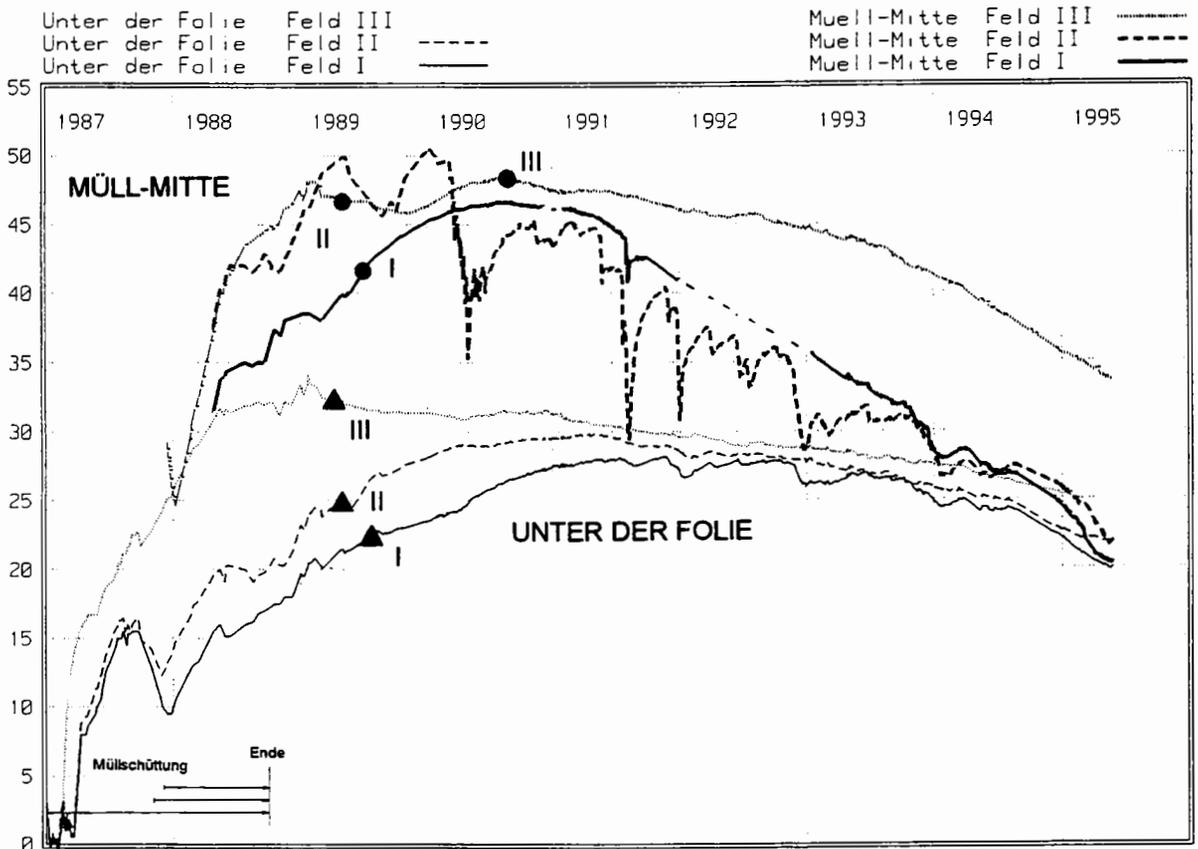


Abb. 8: Temperaturentwicklung im und unterhalb des Müllkörpers

### 3. Wasserwegsamkeiten

#### 3.1 Allgemeines

Die Abbau und Umsetzungsvorgänge innerhalb eines Deponiekörpers sind weitgehend von der Möglichkeit abhängig, in welcher Form und welcher Menge Wasser durch die Deponieoberfläche in den Müllkörper eindringen kann und welche Wege und Verweilzeiten die Flüssigkeit im Müllkörper nimmt.

Obwohl Müll, im vorliegenden Fall Hausmüll, eine heterogene "Masse" ist, kann doch bei einer Deponie mit den Ausmaßen der Versuchsanlage Breitenau von einem relativ homogenen Körper gesprochen werden. Dies würde mehr oder weniger gleichmäßig im Deponiekörper ablaufende Umsetzungsvorgänge erwarten lassen (W. BAUMANN 1985). Die gemessenen Konzentrationen der Schadstoffe in den austretenden Sickerwässern sollten demnach auf den momentanen Abbau- und Auslaugungszustand des gesamten Deponiekörpers schließen lassen.

In der früher üblichen - heute nicht mehr zugelassenen Schrägschüttung ("über die Böschung kippen") - wäre dieses Verhalten plus/minus vorstellbar.

Tatsächlich konnte aus eigenen zusammen mit den in der Literatur beschriebenen Beobachtungen (P. BACCINI et.al. 1987) angenommen werden, daß die Umsetzungsvorgänge deutlich komplexer - lokal und zeitlich inhomogener - ablaufen.

Drei Ursachen können im wesentlichen dafür verantwortlich gemacht werden, Wegsamkeiten im Müllkörper zu beeinflussen und sie sehr komplex zu differenzieren:

Die Gas- und Wasserwegsamkeit im Müllkörper ist abhängig:

- vom eingebauten Material abhängigen Ursachen
- von Aufbau- und schüttungsbedingten Ursachen
- vom Umsetzungsvorgang selbst ausgelösten Ursachen

#### 3.2 Setzungen, Rißbildung

Als Folge der gravitativen Konsolidierung (Setzung, Kompaktion, Entwässerung) und der Umsetzungsvorgänge im Müllkörper (Austrag von Stoff-Frachten durch Sickerwasser) treten Setzungen und Rißbildungen an der Deponieoberfläche auf.

Durch die Setzungen des Deponiekörpers kam es in Breitenau neben Rissen durch die vertikale Bewegung auch zu Dehnungsrisse und dazugehörigen Einengungen, die sich in Aufwölbungen manifestierten. Die Risse verlaufen randparallel. Bedingt durch den Aufbau in Breitenau (geringere Mächtigkeit der Müllablagerung am Rand, größere Mächtigkeit in der Mitte) ist es so zur Bildung einer ringförmigen Rißzone gekommen. Die etwa 1 m mächtige Kiesplatte verhielt sich wie eine Scholle, die gegen den Mittelbereich abgeglitten ist. Zu diesem Vorgang sind sehr gut die randlichen Dehnungsvorgänge (im W von Feld II bildete sich zwischen zwei Rissen ein „Grabenbruchsystem) und die dazu gehörigen Stauchungszonen im Mittelbereich zu erkennen (Abb.9).

Es ist anzunehmen, daß die randlichen Risse als bevorzugte Alimentationswege des Müllkörpers dienen (G. RIEHL, P. LECHNER 1995, pg 153). Die damit in Zusammenhang stehende Höhenverstellung reduzierte und blockierte die Wirkung der beiden oberen Gasdrainagen (Wassersäcke), sodaß es dadurch zusätzlich zu einem Rückstau der Gase im Deponiekörper kommt.

### 3.3 Einfluß von Deponieaufbau und Müllschüttung auf die Wasserwegsamkeit

#### 3.3.1 Deponieabdeckung

Die erste Barriere für die ankommende Flüssigkeit (Niederschlagswasser) stellt die Deponieabdeckung dar (H.J. EHRIG et.al. 1996). Die Versuchsdeponie Breitenau wurde mit unterschiedlichen Abdeckungsvarianten ausgeführt (Feld I: Einkapselung, „dicht“; Feld II:

RISSBILDUNGEN AN DER DEPONIEABDECKUNG

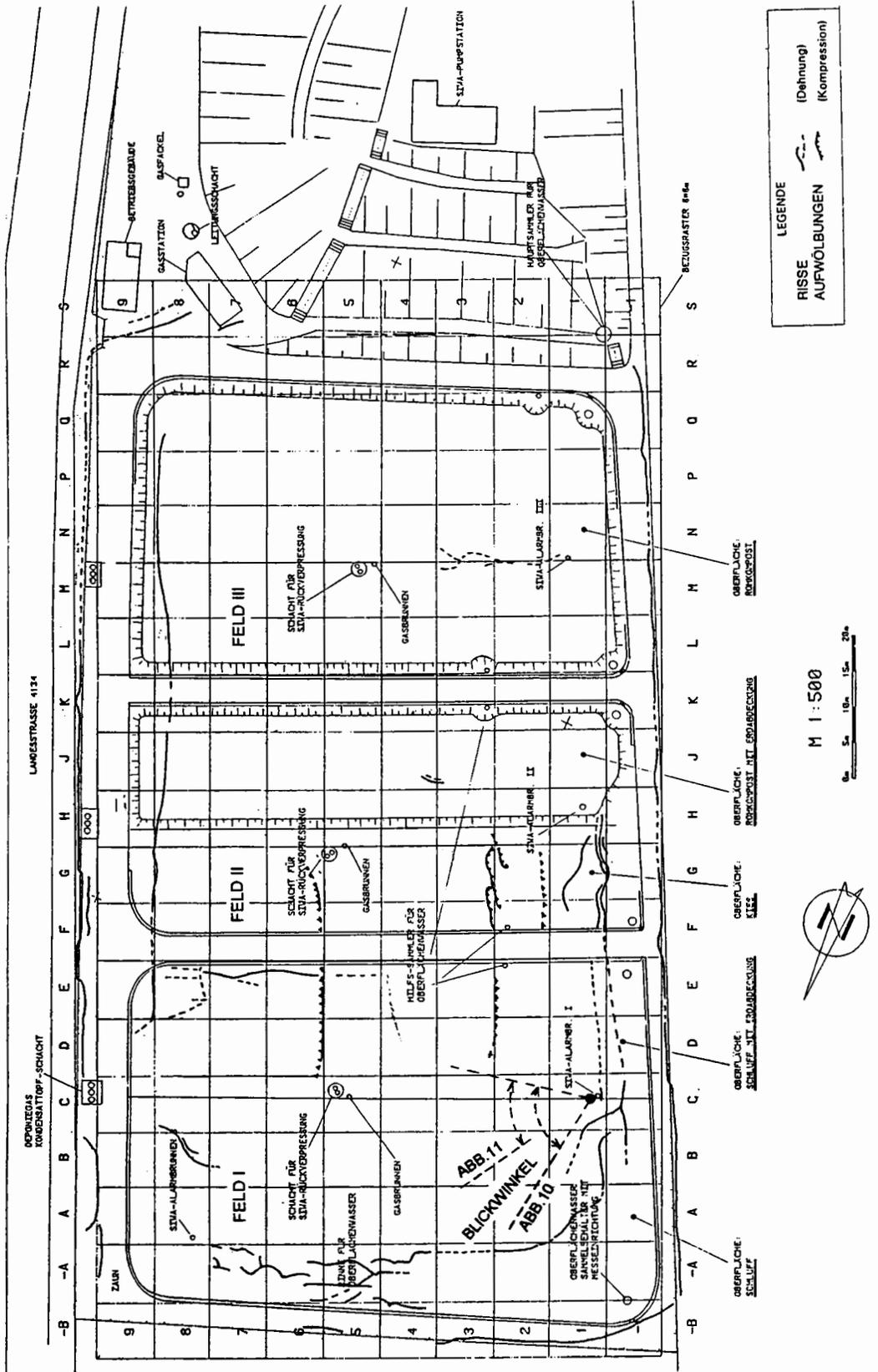


Abb. 9: Risse und Aufschiebungen an der Deponieoberfläche. In den Bereichen, wo die Rißbewegungen sichtbar waren, insbesondere in Feld I/1 und II/1, wurden die meisten Rißbildungen dokumentarisch festgehalten. Sehr schlecht zu beobachten waren sie in I/2, wo die dünne Erdbdeckung die Zuschlämmung durch Feinteile verhindert hat, andererseits aber die Beobachtung der Risse erschwert hat. Nahezu nicht zu beobachten waren Risse auf Feld III, wo die Rohkompostabdeckung und eine dichte Vegetation die Beobachtung erschwert hat. Die Dokumentation abgleitender Platten war besonders gut auf II/1 möglich.

offene Reaktordeponie, „durchlässig“; **Feld III:** Abdeckung mit Rohkompost und Vegetation, „Kompostspeicher“; Mischformen: II/2, I/2, Abb.1). Ihre Auswirkungen wurden, zum Teil in diesem Band, schon beschrieben (R. PAWLICK 1988, E. BINNER u. Th. LAHNER 1997).

An dieser Stelle sei ein Effekt erwähnt, der in den unterschiedlich gestalteten Abschnitten (I/1 und I/2) des Feldes I auftritt. Die das ganze Feld I abdeckende, 0,9 m mächtige Schluff-Ton-Kies-Schicht ist im Bereich I/2 - im Gegensatz zu I/1 - mit einer ca. 10 cm dicken Erdschicht bedeckt.

Die in beiden Feldteilen durch Setzungen entstehenden Risse werden in einem Fall (I/1, keine Erdbedeckung) bei Niederschlägen durch "aufgeschwemmtes" Feinmaterial aus der Schluffschicht selbst abgedichtet. Im anderen Fall (I/2, mit Erdbedeckung) bewegt sich das Niederschlagswasser nach einer Speicherphase in der Abdeckung und einem entsprechend langsamen Sickerweg über der Dichtschicht zu den Spalten, kommt dort verhältnismäßig klar und ungetrübt an, fließt in diesen Spalten durch die Dichtschicht und wirkt dort erweiternd. Damit ist eine nicht beabsichtigte Möglichkeit (erhöhte Wasserwegsamkeit) für Niederschlagswasser gegeben, in den Müllkörper einzudringen. Dieser Vorgang konnte erstmals im April 1991 nach starkem Schmelzwasserandrang beobachtet werden. Eine Endüberdeckung mit Erdüberlagerung bleibt somit trotz einer gewissen Speicherkapazität der Erdschicht wasserdurchlässig. Die blanke Schluff-Ton-Kies-Schicht bleibt durch "Selbstheilung" dicht. Das Ergebnis ist am "See" zubeobachten, der über der Dichtschicht nach Niederschlagsperioden wochenlang erhalten bleibt und nur durch Verdunstung schwindet. Die in Feld I eindringenden Wassermassen dringen über den Erdüberlagerungsteil Feld I/2 ein! Die Lage dieses "Sees" ist im Übersichtsbild (pg.2, Aufnahme 1991-06-21) und im Bild 34 (Aufnahme 1991-12-23, in G. RIEHL - H., P. LECHNER et.al. 1995 dokumentiert (Abb.10). Abb. 11 zeigt, daß sich diese Wasseransammlung auch nach dem "Durchbruch" 1991 bildet.

### 3.3.2 "Einbaustrukturen"

Unregelmäßig stark verdichtete Bereiche innerhalb des Müllkörpers sind baulich und schüttungstechnisch bedingte Ursachen für dichte „Trennschichten“ und beeinflussen dadurch Sickergeschwindigkeiten und Umsetzungsvorgänge. Sie entstehen trotz horizontaler Schüttung (oder gerade durch sie) und mehrfacher Verdichtung mit leistungsfähigen Kompaktoren, durch systemnotwendige Einbauten wie vertikale Drainage-Schächte mit ihren Zuleitungen oder in den äußeren Randbereichen durch den Schutz der Folienauskleidung. Der unmittelbare Nahbereich dieser Zonen kann mit Kompaktoren der notwendigen Größe nicht gefahrlos befahren bzw. bearbeitet werden. Es entstehen daher Zonen mit stark unterschiedlicher Mülldichte - vertikale bzw. randliche Zonen erhöhter Gas- und Wasserwegsamkeit (Abb.12).

Im Fall Breitenau wurde behördlich ein spezieller „Folienschutz“ durch eine Kies-Beschüttung oder/und durch aufgelegte Autoreifen vorgeschrieben. Diese Maßnahme stellt für das gravitative Absinken des eindringenden Niederschlagswassers bzw. für die im Deponekörper entstehenden Sickerwasser und Gase eine besonders gute und bevorzugte Wegsamkeit dar.

Die auch in Breitenau angewandte horizontale Schüttungstechnik verursacht eine horizontale Schichtung des angelieferten Materials und damit eine wechselnde Wegsamkeit für Gas bzw. Sickerwasser.

Die Kompaktierung des Hausmülls erfolgte in Breitenau besonders sorgfältig (erreichte Dichte ca. 1,2 t/m<sup>3</sup>) unter Zugabe von "Einbauwasser". Während der Müll-Schüttphasen wurde beobachtet, daß bei stärkeren Regenfällen das vorhandene Überschuß-Wasser nicht abfließen konnte. Die Kompaktoren mußten den Betrieb teilweise einstellen da die Deponieoberfläche in diesen Abschnitten zu "weich" und damit nicht mehr befahrbar war. So bilden sich weitere Inhomogenitäten in Form von besonders dichten Lagen (dazu Abb.6.7.-1 pg 150, G. RIEHL - H. P.LECHNER et.al. 1995).



91-12-23/23 Dia 14-15

mineralische Oberflächendichtung

mineralische Oberflächendichtung  
mit 10 cm Erdbedeckung

*Abb. 10 (oben, Aufnahme 1991-12-23): Die Wasseransammlung auf FI/1 erfüllt den Senkungsbereich. Drei Jahre nach der Abdeckung mit Schluff/TonKiesgemisch hat noch keine Bodenbildung eingesetzt und sich daher kaum Vegetation angesiedelt, während 10cm Überlagerung mit Erde der Region auf FI/2 (rechter Bildrand) die Vegetation begünstigt. Angewehrte Föhrensamen auf FI/1 sprießen nur zu kümmerlichen Formen auf (ca. 1/10 der Größe der Föhren auf FI/2).*

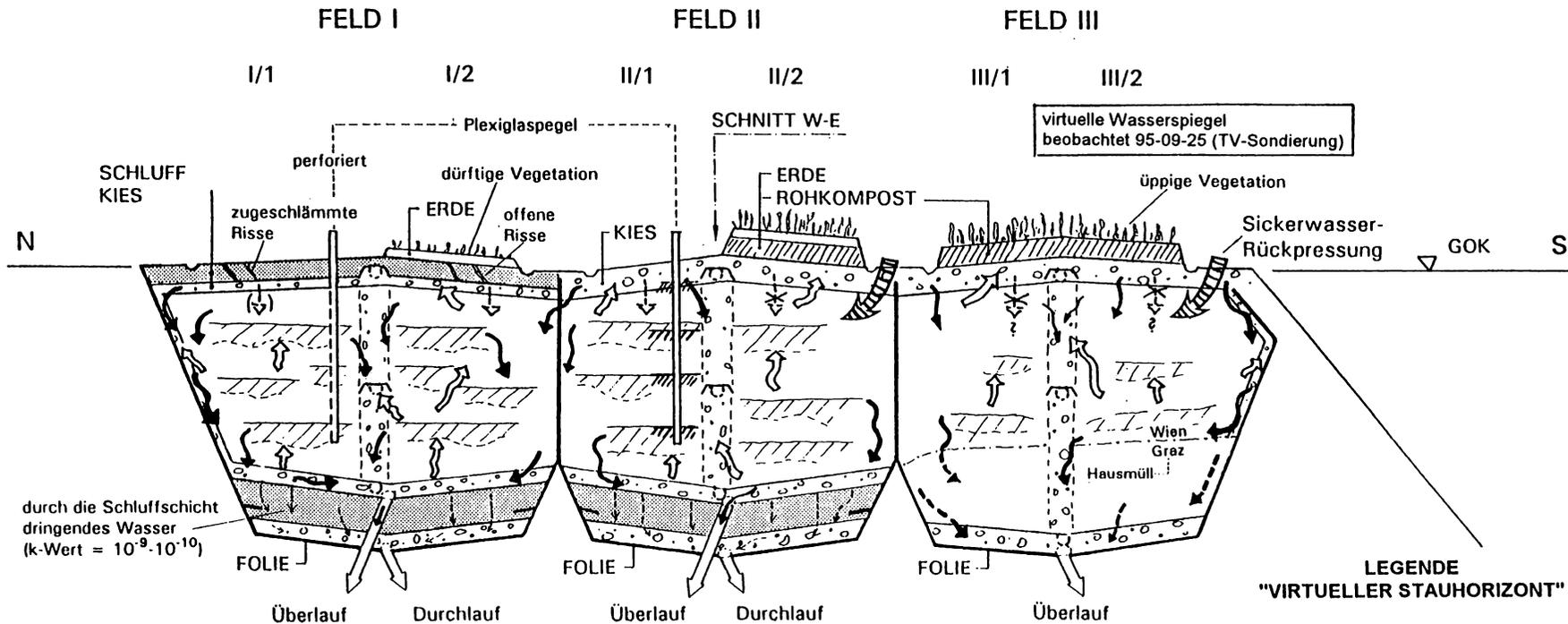
*Abb. 11 (rechts, Aufnahme 1995-03-06): Der "See" auf Feld I/1 nach der Schneeschmelze; er ist flächenmäßig kleiner, zum Teil der stärkeren Senkung im NW-Teil des Feldes wegen, zum anderen Teil wegen geringerer Alimentation. In Bildmitte das rote Pegelrohr (pg. 211 ff) Auf beiden Bildern kann man im Hintergrund nahe dem Wald einen Sickerwasseralarmbrunnen mit Sammelbehälter und am rechten Bildrand das zentrale Entgasungsrohr mit dem Leitungsschacht erkennen. Ab 1994 gedeiht die Vegetation auch auf FI/1, wobei vor allem der Bereich der temporären Wasserlache bevorzugt ist. Der Fotostandort ist in Abb. 9 markiert.*



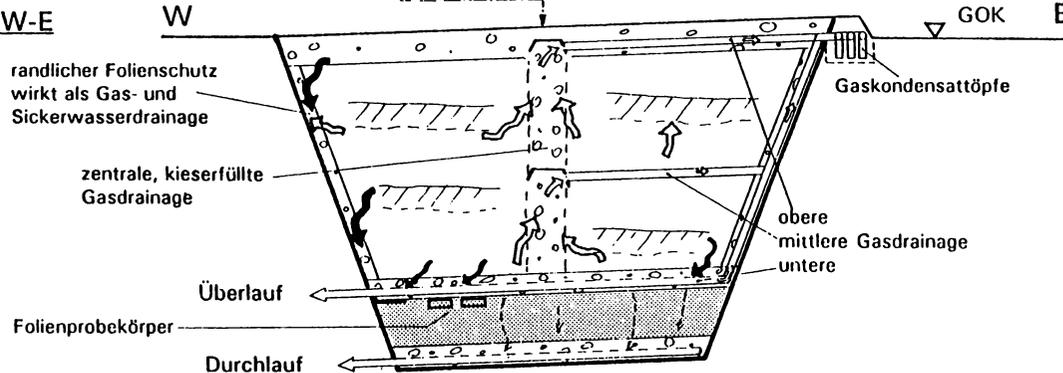
95-02-19 / 03-06 Dia 35

# VORSTELLUNGSMODELL DER GAS- UND WASSERWEGSAMKEIT

## LÄNGSSCHNITT N-S



## QUERSCHNITT W-E



## LEGENDE "VIRTUELLER STAUHORIZONT"

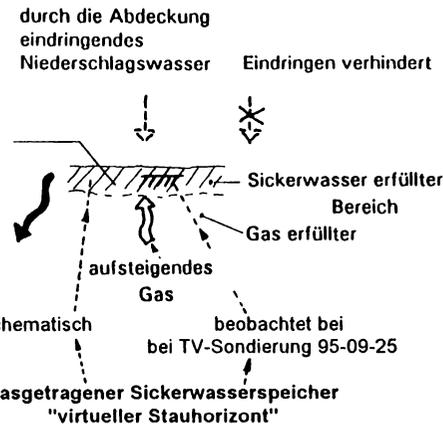


Abb. 12: Schema zum Vorstellungsmodell der Gas- und Wasserwegsamkeit in der Hausmüll-Versuchsdeponie Breitenau (nach G. RIEHL-H., P. LECHNER et al. 1995).

### 3.4 Einfluß der Umsetzungsvorgänge

Das während der Umsetzungsvorgänge entstehende Gas und das Sickerwasser haben unterschiedliche Bewegungsrichtungen. Abhängig von der lokalen Porensituation werden Gas und Sickerwasser aneinander vorbei bewegt oder bilden einen Stauhorizont ("Virtueller Wasserspiegel", R. STEGMANN 1990). Dabei spielen die Mülldichte, aber auch andere Faktoren wie z.B. verstärkte mikrobiologische Aktivität, die zu einer zusätzlichen Verengung des Porenraumes führt, eine Rolle. In Bereichen der Stauhorizonte werden für längere Zeit die Umsetzungsvorgänge wesentlich beeinflusst. Es kommt zu erheblichen Verzögerungen sämtlicher Austräge. Dies könnte eine Komponente sein, die zur beobachteten starken Abnahme von Stoffkonzentrationen im Sickerwasser gegenüber Werten aus der Literatur führt.

Die oben beschriebenen Sachverhalte weisen auf eine stark heterogene räumliche und zeitliche Verteilung und Veränderung des "Auslaugungszustandes" der Deponie hin. In Abb. 12 wird der Versuch unternommen in einem Schema das Prinzip der Wegsamkeiten für die Versuchsdeponie Breitenau darzustellen, wobei die virtuellen Wasserspiegel in Feld II per Stand 1995-09-25 aktualisiert worden sind (TV-Sonde, pg. 210ff).

Drei Beobachtungen im Fall der Versuchsdeponie Breitenau unterstützen dieses Vorstellungmodell:

- Temperaturabsenkungen FII

Der Temperaturfühler aus Feld II "Müllmitte" zeigt in guter Korrelation mit stärkeren Regenereignissen plötzliche und starke Temperatursenkungen (Abb. 8), die aber durch einen e-Potenz Anstieg (Erwärmungsphase) ausgeglichen werden. Man kann daraus schließen, daß dieser Fühler in der Nähe einer der erwähnten Zonen mit erhöhter Wasserwegsamkeit liegt (zentrale Gasdrainage).

- Sickerwasser"änderungen"

Nach längeren Starkregenereignissen und damit verbundenen entsorgungsbedingten SIWA-Einstausituationen zeigt das austretende Sickerwasser eine deutliche Veränderung von Farbe und Geruch. Diese Merkmale sind im wesentlichen vergleichbar mit den Eigenschaften des Sickerwassers aus der anfänglichen sauren Phase (grüne Färbung, übler Geruch und stabile Schaumbildung). Durch den erhöhten Wasserzutritt könnten in der Nähe der wasserstauenden Zonen (semiphreatischer Bereich) "neue Müllbereiche" aktiviert bzw. sauerstoffreichere Wässer in größere Tiefen geführt werden und so diesen Effekt bewirken. Auch ist in Betracht zu ziehen, daß die Qualität des Müllsickerwassers nicht ausreichend „Auskunft“ über die tatsächlichen aktuellen Umsetzungsvorgänge in den verschiedenen Deponiebereichen gibt.

- Sickerwasseralarmbrunnen

Um ein eventuelles Ansteigen von Sickerwasser über die Oberkante der Folienauskleidung verhindern zu können wurden insgesamt 4 sogenannte SIWA-Alarmbrunnen auf der Deponie eingerichtet (ca. 4m tief, Einflußkreis ca. 4-5 m Durchmesser, Abb.9, 11). Alle Pegelrohre dieser Brunnen zeigen mit Ausnahme des in Feld III positionierten einen relativ konstanten Sickerwasserstand, der sich nach Absenken des Spiegels durch Auspumpen rasch wieder einstellt ("virtueller Wasserspiegel", R. STEGMANN 1990).

Durch die oben beschriebenen, prinzipiellen Möglichkeiten der inhomogenen Wasser- und Gaswegsamkeiten, könnten relativ rasch sinkende Konzentrationen im Sickerwasser einerseits einen Verdünnungseffekt bedeuten, andererseits die Folge der erst unvollständig im Müllkörper verteilten Umsetzungsprozesse sein (noch nicht in Gang gekommene oder temporär verzögerte).

Die Beobachtungen aus den 1993 gesetzten Plexiglaspegeln werden weiter unten beschrieben.

### 3.5 Materialbedingter Einfluß

Speziell sind Unterschiede in der Schadstoffbelastung des Sickerwassers aus den drei Feldern der Versuchsdeponie Breitenau auch durch die unterschiedliche "Müllherkunft" mitverursacht. Zu Beginn der Müllschüttung wurde Feld III im unteren Drittel mit **Grazer Hausmüll** befüllt. Da der Grazer Hausmüll (Th. LAHNER, 1989) in zerkleinertem Zustand angeliefert wurde, war eine spezielle Folienschutzschicht nicht erforderlich. Der Rest des Feldes III und die Felder I und II sind mit unbehandeltem **Wiener Hausmüll** verfüllt. Hier wurde der schon erwähnte Folienschutz vorgesehen. Die damit verschieden gestalteten Randbereiche - geringere oder größere Drainagewirkung - aber auch die Strukturunterschiede - feinerer oder gröberer Müll - könnten Einfluß auf die differierenden Stoffkonzentrationen der Sickerwässer aus den drei Versuchsfeldern haben.

## 4. Acrylglaspegel Feld II (Beobachtungen mittels TV-Kamera)

### 4.1 Pegelbau

Im Herbst 1993 sind von R. NIEDERREITER, Fa. UWITEC, Mondsee, zwei Acrylglaspegel in Feld I und Feld II bis in eine Tiefe von ca. 9 m gesetzt worden, wobei die Sonde auf Feld I perforiert und unten offen, das Sondenrohr auf Feld II hingegen geschlossen ausgeführt ist. Es besteht seitdem somit die Möglichkeit mit einer TV-Sonde das Innere des Deponiekörpers zu beobachten. Der oberste Pegelbereich ist mit einem Hüllrohr abgeschlossen, das 29 cm über die Deponieoberkante reicht und mit einem Ton/Schluffgemisch abgedichtet worden ist.

Unmittelbar nach dem Setzen der Pegel 1993-09-23 war wegen des fehlenden Kontaktes Rohrwandung/umgebendes Material nichts zu erkennen. Um Kondenswasserbildung an der Innenseite des Rohres zu vermeiden, wurde für die nachfolgenden Befahrungen der Pegel mit Wasser gefüllt.

1993-10-29 (A), 1993-11-27 (B), 1994-10-06 (C) und 1995-09-25 (D) erfolgten Aufnahmen mit einer TV-Kamera (Abb.13).

Auf Grund dieser neu geschaffenen Beobachtungsmöglichkeit kann man nicht mehr von der „Schwarzen Kiste“ Deponie sprechen (H.J. EHRIG, 1997), vor der man staunend steht und die Qualität der Emissionen betrachtet. Durch die Pegel ist eine Erweiterung der Kenntnis der inneren Vorgänge möglich und die Beobachtung der Auswirkung von Umsetzungs- und Transportvorgängen in situ. Geplant war überdies die Konstruktion eines Probenziehers, mit dem gezielt aus den verschiedenen Niveaus der virtuellen Wasserspiegel Sickerwasser entnommen werden kann.

Ein Projekt zur Anlage von mehreren Pegeln auf den Deponiefeldern wurde 1996 im Zuge der Kampagne gegen Breitenau nicht mehr zugelassen. Die Kosten der ersten TV-Pegel konnten zum Teil aus Firmenspenden (Fa. KIES-UNION) finanziell abgedeckt werden.

### 4.2 TV-Aufnahmen des Pegels FII 1993/94/95

#### *Exkurs zur graphischen Darstellung*

*Bei der graphischen Darstellung (Abb. 13) ergibt sich das Problem des Längen- und Breitenverhältnisses: der im TV-Bild dargestellte Ausschnitt entspricht in der Natur einer Breite von 45 mm, die Säulenhöhe (Pegeltiefe) 9000 mm. Eine maßstabgetreue Wiedergabe war daher nicht darstellbar. Bei dem gewählten Darstellungsmaßstab müßten Strukturen stark verzerrt werden, wodurch ihre Charakteristik verfälscht wird. In die Zeichnung floß daher bereits eine Interpretation ein: Querstrukturen sind im allgemeinen höher dargestellt, erfüllte Porenräume größer. Die senkrecht verlaufenden Kanäle sind hingegen in ihrer Dimension korrekt. Die Verzerrungen überschreiten aber nicht die vom Operator während der Befahrung angegebenen jeweiligen Tiefenwerte.*

*Nicht dargestellt ist die Farbe des Abfallmaterials; während der ersten beiden zeitlich kurz aufeinanderfolgenden Befahrungen sind kaum*

*Unterschiede feststellbar. Bei der etwa ein Jahr später folgenden Befahrung von 1994-10-06 war der obere Sondenbereich bis ca. 6 m Tiefe stark nachgedunkelt, wieder ein Jahr später war das Material im gesamten Sondenbereich fast schwarz. Durch die Verfärbung war es teilweise nicht möglich, Strukturen zu erkennen oder zu identifizieren.*

*Bei Interpretationen sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß der Sondendurchmesser 60 mm beträgt und somit nur die Beobachtung eines Mikrobereichs des Deponiekörpers zuläßt. Die Tiefenangaben erfolgen von der Rohroberkante (ROK = 0m) abwärts.*

#### 4.2.1 Oberer Pegelabschnitt 0 (ROK) - 4m

**93-10-29 (A):** Die Mülloberkante ist noch erkennbar; darunter setzen engräumige (ca. 5 mm) lotrechte Gaskanäle auf, die sich besonders in der S-Hälfte des Pegels häufen. Bei 2,30 m tritt der erste virtuelle Wasserspiegel auf, heftig aufgeschäumt durch an mehreren Stellen einschießendes Gas (Foto). Die Kanäle reichen tiefer hinab, vorbei an einer Zone gasgefüllter, aber abgeschlossener Makroporen bei ca. 2,90 m, zu einem Bereich heftiger Gasbewegungen zwischen 3,00 m und 3,4 m, wo erneut ein Wasserhorizont beobachtet werden kann.. Das Wasser wird wiederum stark von Gas durchströmt (Blasen). Bei 4m ist ein Resedimentationsbereich kenntlich, der eine Durchbewegung der Feinteile mit der Flüssigkeit dokumentiert (starke Auslaugung).

**93-11-27 (B):** Gaszonen sind in den Abdeckungsbereich ober die MOK aufgestiegen; Der Wasserspiegel bei 2,3 m existiert nicht mehr, er hat sich mit dem tieferen vereinigt. Die Hohlräume sind aber noch gasgefüllt vorhanden und strukturell unverändert nach oben gewandert. Alimentiert werden sie aus dem Bereich um 2,9 m (ehem. Poren), wo sich nun jener virtuelle Wasserspiegel befindet, der einen Monat vorher auf 3,4 m positioniert war. Dort finden sich nun Resedimentationen, dafür ist der Sedimentationsbereich bei 4m in der Aufnahme nicht mehr kenntlich. In der Südhälfte treten nach wie vor zahlreiche

lotrechte Kanäle auf. Die Beobachtungen sind durch eine vertikale Gasaufstiegszone erklärbar.

**94-10-06 (C):** An der Position der Gaszonen in der Abdeckung sind Sedimentationsbereiche mit mineralischen Feinteilen aus derselben aufzufinden. Der erste virtuelle Wasserspiegel findet sich bei 1,40 m an der Stelle der MOK, austretendes Gas verwirbelt Feinteile des Abdeckungsmaterials (ungewaschener Kies). Der im Jahr zuvor stark perturbierter Bereich zwischen 1,60 m und 3,30 m zeigt nun zahlreiche Feinstrukturen (Resedimentationen, Mikro- und Makroporen, Kanäle (vor allem wieder um Südteil), im NE-Sektor lassen sich Gasaufstiegswege feststellen. Zwei kleinere Bereiche mit Kondenswasser an Außenseite der Sonde belegen, daß der Abschnitt gasgefüllt ist. Das Abfallmaterial ist im gesamten oberen Bereich dunkel verfärbt. Ab 3,30 m ist das Rohr (Außenseite/zwischen Pegel und Müll) mit Kondenswasser beschlagen.

**95-09-25 (D):** Der oberste virtuelle Wasserspiegel ist auf 1,25 m aufgestiegen und liegt damit bereits im Abdeckungsbereich. Das Wasser ist gasdurchsprudelt und durch mineralische Feinteile des oberen Rohrabschlusses (mit Schlammmaterial gedichtet) gelbbraun verfärbt. Sedimentierte Feinteile dichten die Wasseransammlung teilweise nach unten ab, Gasalimentation ist aus dem SW-Sektor zu erkennen. Das Abfallmaterial ist fast völlig schwarz gefärbt, Strukturen nur mehr schwer zu identifizieren. Bei 1,60 m im SE- und bei 2,10 m im NE-Sektor scheinen stalaktitische mikrobielle Gelbildungen zu sein, in der Folge sind nur mehr die lotrechten Kanäle auszumachen. Bei 3,35 m trifft man auf den nächsten virtuellen Wasserspiegel. Aus einem Aufstiegskanal (Fotoserie) blubbert Gas in das Wasser, das auffallend klar und unverfärbt erscheint.

#### 4.2.2 Mittlerer Pegelabschnitt 4 - 6,30 m

**93-10-29 (A), 93-11-27 (B):** Zwischen 4m und 6m ist das Pegelrohr mit Kondenswasser beschlagen, d.h. daß der Deponiekörper in

diesem Bereich gaserfüllt sein muß. Keine Strukturen zu erkennen.

**94-10-06 (C):** Der Kondensbereich reicht von 3,30 m bis 6,30 m, dahinter sind undeutliche Hohlräume auszumachen, wobei optisch keine Unterscheidung getroffen werden kann, ob senkrechte Streifen Kanäle oder Spuren ablaufender Wassertropfen sind. Querstrukturen bei 5,20 m. Im SW-Sektor ab ca. 4,50 m kein Beschlag (Material zu eng am Rohr anliegend?), senkrechte Kanäle.

**95-09-25 (D):** Der Kondensbereich beginnt sich aufzulösen; durch Versinterungen und Ausfällungen wird das Pegelrohr in weiten Bereichen undurchsichtig. Bei 5,05 m befindet sich ein virtueller Wasserspiegel. Das Wasser ist stark von Gas durchsprudelt Dieses wird durch einen relativ mächtigen (Durchmesser ca. 3 cm) stark gekrümmten Kanal aus dem Inneren des Deponiekörpers gespeist und strömt sodann durch einen anfangs fast eine gesamte-Sektorbreite einnehmenden Bereich weiter nach oben.

#### 4.2.3 Der untere Pegelabschnitt 6,30 - 9 m

**93-10-29 (A):** Unmittelbar unter der Rohrmuffe bei 6,30 m ist über 30-40 cm Kies zu sehen. Dieser stammt aus der mittleren Gasdrainage des Deponiekörpers, die beim Sondensetzen randlich angefahren worden ist. Unter dem Kies ist ein Hohlraum um das gesamte Pegelrohr, besonders großräumig im SW, ausgebildet, der von darunterliegenden Kanälen (Foto) mit Gas beliefert wird. Im Kies und knapp darunter sind zwei "Poren" mit Flüssigkeit zu erkennen, jedoch in unterschiedlicher Höhe und isoliert, sodaß nur von einem Wasserspiegel im Mikrobereich gesprochen werden kann. Unter einem Sedimentationsbereich (6,80 m) folgt eine Querstruktur, teilweise großräumiger geöffnet, teilweise kleinporig. Der tiefste virtuelle Wasserspiegel liegt bei 7,50 m. An der Basis der Wasseran-

sammlung sind - möglicherweise mikrobielle - Bewüchse auszumachen. Bei 8,20 m sind abermals querliegende Hohlräume einzusehen, darunter bis zum Pegelgrund nur mehr kleinporige Bereiche und Müllstrukturen.

**93-11-27 (B):** Die große Querstruktur unter dem Kies hat sich in einzelne Bereich aufgelöst, der größere Hohlraum im SW-Sektor ist zusedimentiert. Ein Gas- Wassergemisch steigt im NW-Sektor vom Wasserspiegel bei 7,50 m (Foto) auf (Fotos) bis 6,80 m (Fotoserie). Hier, bei 6,80 m, kann man auch erkennen, wie Resedimentationen den Verschluß eines Aufstiegskanals und die Ausbildung neuer Wasserwege (im Foto links des Hauptkanals) bewirken können.

**94-10-06 (C):** Bei 6,50 m hat sich im Bereich der großen Querstruktur eine Wasseransammlung herausgebildet, die durch einen breiteren Kanal mit Gas angespeist wird. Der bei A angesprochene Sedimentationsbereich ist nun auf drei Sektoren ausgedehnt. Bei 7,50 m treffen wir wieder auf den Wasserspiegel, aber nicht in einem großen Hohlraum wie 1993, sondern in mehreren Kleinporen, aber höhenmäßig konstant. Das Abfallmaterial ist unter 6,30 m deutlich lichter als darüber. Bei 8,10 m hat sich ein neuer virtueller Wasserspiegel ausgebildet.

**95-09-25 (D):** Der große Hohlraum unter dem Kies ist in mehrere kleinere zerlegt worden, der virtuelle Wasserspiegel verschwunden, der Resedimentationsbereich darunter hat an Mächtigkeit und Erstreckung zugenommen. Das Abfallmaterial ist sehr dunkel gefärbt, Einzelheiten sind kaum mehr auszumachen. Bei 7,50 m ist in zwei Poren des SW-Sektors der virtuelle Wasserspiegel dieses Bereichs noch kenntlich, generell gibt es bis zum Pegelgrund nur mehr kleinere Strukturen als in den vorherigen Befahrungen, In zwei Poren ist der virtuelle Wasserspiegel des Vorjahres bei 8,10 m noch erkennbar, eine zum Teil wassererfüllte Kleinpore liegt im NE-Sektor 30cm darunter. Nahe am Grund zeigen sich im NW-Sektor aufsteigende Gasturbulenzen.

# Hausmüll Versuchsanlage Breitenau

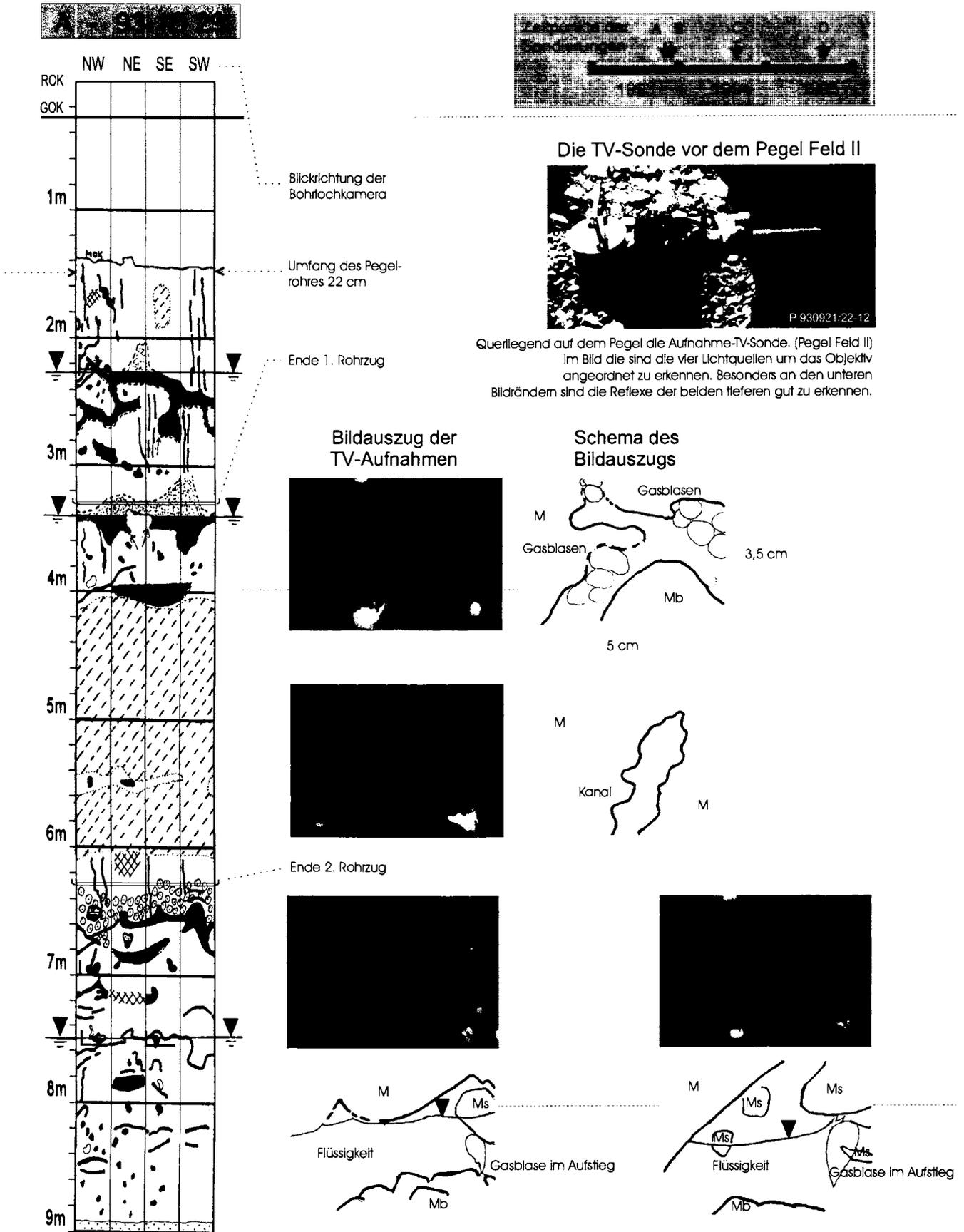
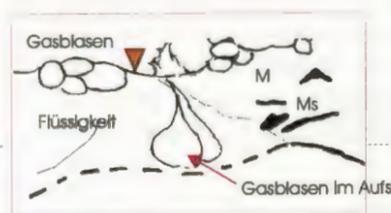
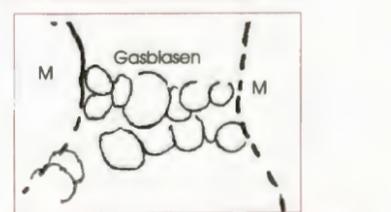
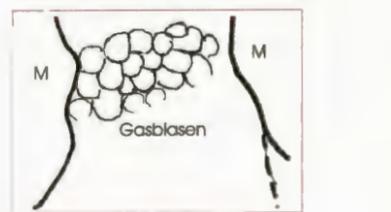
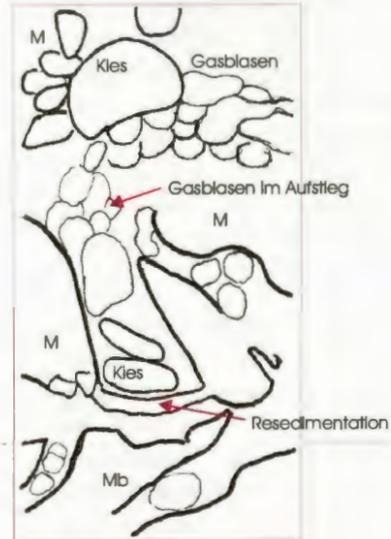
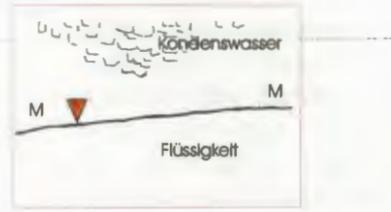
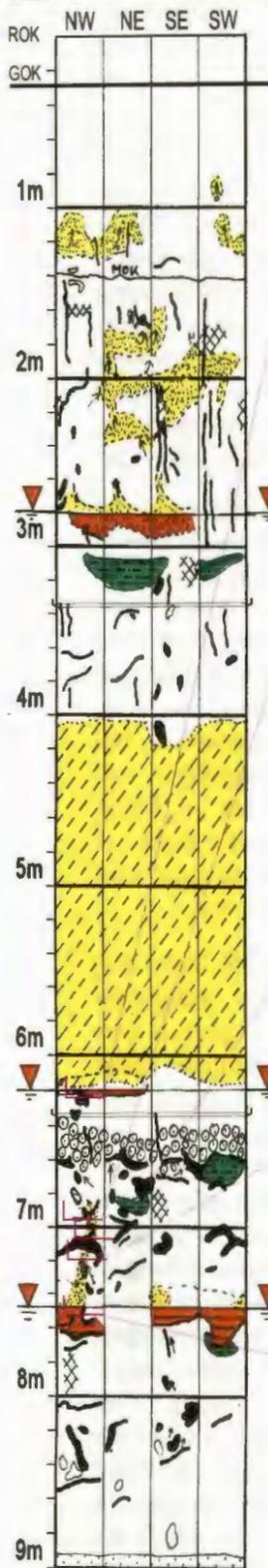


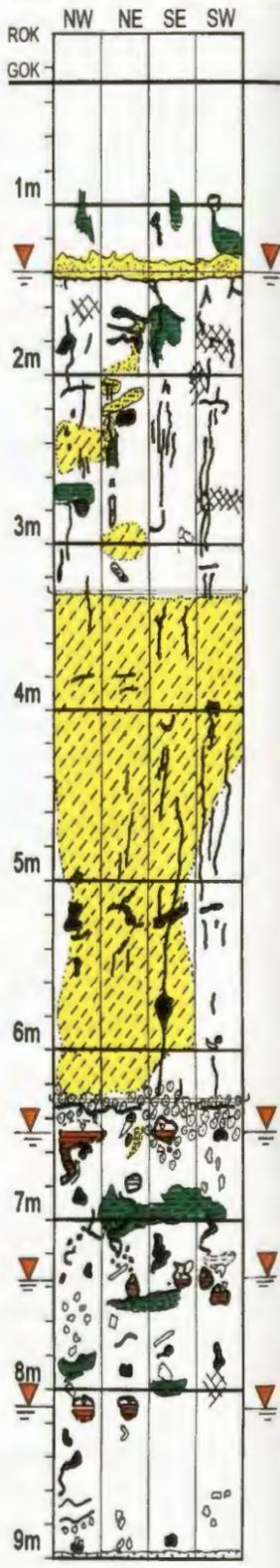
Abb. 13: Die Setzung der Plexiglassonden wurde gemeinsam mit R. NIEDERREITER, Firma UWITEC, Mondsee, geplant, mit dem Ziel, Lage und Position der Gas- und Wasserzonen im Deponiekörper zu beobachten und ihre Schwankungen zu erfassen. Gleichzeitig war vorgesehen, Vergleiche mit dem im Hallenversuch zur DIAGENETISCHE INERTISIERUNG beobachtbaren Verhalten des Altlastenmaterials anzustellen und im Endeffekt den zeitlichen Verlauf der Vorgänge zu vergleichen.

# Schematische Profildarstellung - Plexiglaspegel Feld II

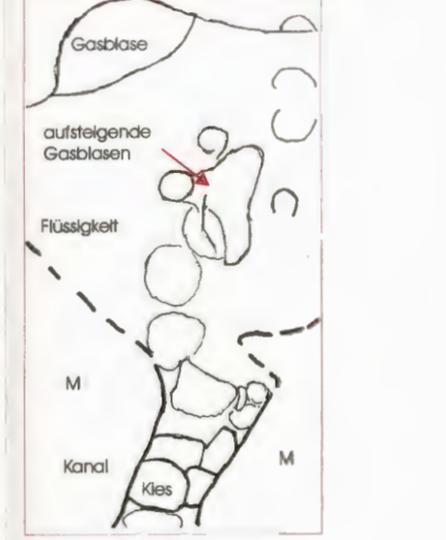
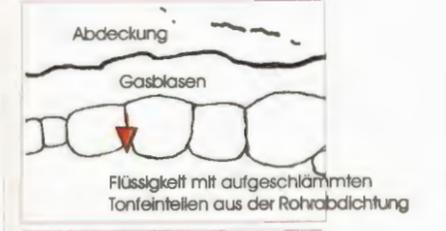
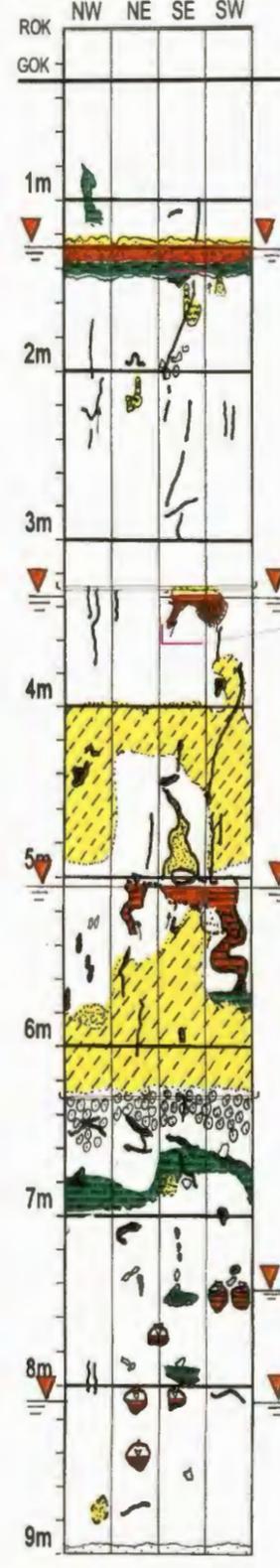
**B - 93 11 27**



**C - 94 10 06**



**D - 95 09 25**



## LEGENDE

- Flüssigkeitspiegel, -bereiche
- Hohraum / Pore allgemein
- Strömungskanal
- horizontale Hohraumstruktur
- Pore mit Flüssigkeitspiegel
- größerer Hohraum deutlich, undeutlich begrenzt
- Gasblasen- Wasserschaum
- poröse Strukturbereiche
- beobachtbare Resedimentation
- Abfallstrukturen
- "Gelstrukturen", mikrobiell verursacht (?)
- Kies
- Rohrbereich mit Kondenswasser (gaserfüllte Bereiche)
- Gasstrom, Gaszutritt (In Flüssigkeit sichtbar)
- Feintelle am Pegelrohrgrund
- M** Müll allgemein
- Mb** Müll mit mikrobiologischer Substanz (?)
- Ms** Müll strukturiert

Im mittleren Bereich ist überall eine Zone mit Überdruck (Gas, gelb ausgeführt) zu erkennen, deren Grenzen leicht schwanken und die sich 1995 aufzulösen beginnt. Eine weitere Zone mit Gas und einem virtuellen Wasserspiegel im oberen Bereich zeigt eine deutliche Verlegung nach oben. Sehr konstant verhält sich hingegen der virtuelle Wasserspiegel bei 7,5 m, der bei allen Befahrungen festgestellt werden konnte.

## 5. Situation wasserwegig gelagerter Abfallkörper

Aus den bisherigen Ergebnissen geht eindeutig hervor, daß es nicht möglich ist, Abfallkörper vollständig und dauerhaft mit technischen Abdeckungen einzukapseln. Auch bei massivem Einsatz flankierender Maßnahmen (B. STEINERT et.al. 1996) bleibt eine konventionelle Deponie ein technisches Bauwerk, ist als solches betreuungsbedürftig, anfällig gegenüber technischen und sonstigen Unzulänglichkeiten und menschlichem Vergessen unterworfen. Zu irgendeinem - dann wohl meist unerwarteten! - Zeitpunkt wird die „Kapsel“ durchlässig und „karstähnliche“ Bedingungen mit allen Umsetzungs- und Lösungsvorgängen (Stofftransport) stellen sich ein.

Die Oberflächenwässer nehmen ihren Weg durch die Deponie auf bevorzugten Bahnen, die einer entsprechend intensiven Auslaugung unterworfen sind. Dabei kommen nicht nur Großformen wie Risse in Frage, bedeutender dürften noch kleinporige Gasaufstiegskanäle sein, die nach dem Ende der lokalen Gasemission bzw. bei Minderung des Gasdruckes dem Eindringen und Durchfließen meteorischer Wässer dienen. Im Pegelrohr Feld II der Hausmüllversuchsanlage Breitenau konnten auf engstem Raum (ca. 4 cm) bis zu vier solcher Tubi, parallel nebeneinander und nicht miteinander verbunden, sichtbar gemacht werden.

Die Anlage und Veränderung all dieser Wasserwege ist von mehreren, nicht zu eliminierenden Faktoren beeinflusst. Morphologische Veränderungen (Setzungen, Risse), baustrukturelle Schwächezonen (geringere Kompaktion, Drainagen, randliche Ausbildung), abfallbedingte Stauer (Kunststofffolien etc.) wirken ebenso wie Umsetzungen und ihre Produkte (Sedimentation von Müllfeinteilen, mikrobielle Schleimbildungen, Gasaufstiegskanäle).

Wie in natürlichen Karsthohlräumen kann es dabei durch Resedimentation auch zu Verlegungen kommen, zur spontanen Ausbildung neuer Wegsamkeiten, die oft die vorher bevorzugten nur zufällig tangieren, aber auch zur Entstehung von Rückstauzonen, wo es beson-

ders im Begegnungsbereich Gas/Wasser zur Bildung gasgestützter Wasserhorizonte („virtuelle Wasserspiegel“) unterschiedlichster Ausdehnung kommt.

Im Zuge der Untersuchungen zur „Diagenetischen Inertisierung“, einer neuen, nicht wasserwegigen Abfallagerungsmethode (G. RIEHL-H.1993, 1994, 1996), sind zur Sichtbarmachung der inneren Vorgänge von Deponien Acrylglaslysimeter mit vorbehandelten und als Nullversuch mit unbehandelten Abfallarten) befüllt worden (Abb. 15), wobei letztere der Lagerung in konventionellen Deponien entsprechen. Auch in dieser Kleindimension stellten sich die verschiedenen Phänomene ein.

Auf Abb. 14 ist solch ein Gasaufstiegskanal deutlich erkennbar. In seinem Bereich finden Auswaschungen, Umlagerungen und Resedimentationen von Feinteilen statt. Diese Resedimentationen, die aus schwer- bis unlöslichen Partikelchen bestehen, können einen Gaskanal zuzementieren und so die Bildung weiterer Kanäle an anderen Positionen verursachen, bei denen es dann erneut zu Auslaugungs- und Umsetzungsvorgängen kommt (Abb. 13, Fotos zu „B“). Der Entgasungskanal endet nicht bei der weißen Kunststoffolie, sondern setzt sich im Inneren des Müllkörpers weiter fort.

All dies macht deutlich, daß große Teile des Deponiekörpers in wasserwegig gelagerten Deponien von den Umsetzungsvorgängen derzeit gar nicht erfaßt werden können und somit zukünftige Gefahrenpotentiale vorgezeichnet sind. Die Vorstellung der Reaktordeponie mit Forcierung der ersten spontanen organischen Reaktionen ist in der Praxis nur mit diesen großen Vorbehalten zu betrachten. Die Komplexität der Wirkungen und Gegenwirkungen zwischen äußeren Einflüssen, Müllzusammensetzung und chemischen wie biochemischen Abläufen, die von Deponie zu Deponie unterschiedlichen Randbedingungen, lassen eine wasserwegige Abfallagerung, und als solche sind alle derzeitigen und nach dem aktuellen Stand der Technik eingerichteten Deponien zu bezeichnen, als inhärent instabil und damit auf die Dauer technisch und gesellschaftlich nicht beherrschbar erscheinen.

# WASSERWEGIGE LAGERUNG BEI UNBEHANDELTEM ALTLASTENMATERIAL

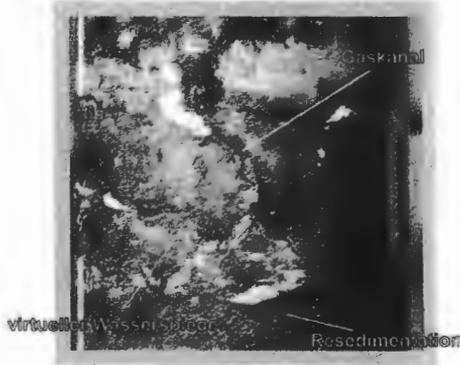
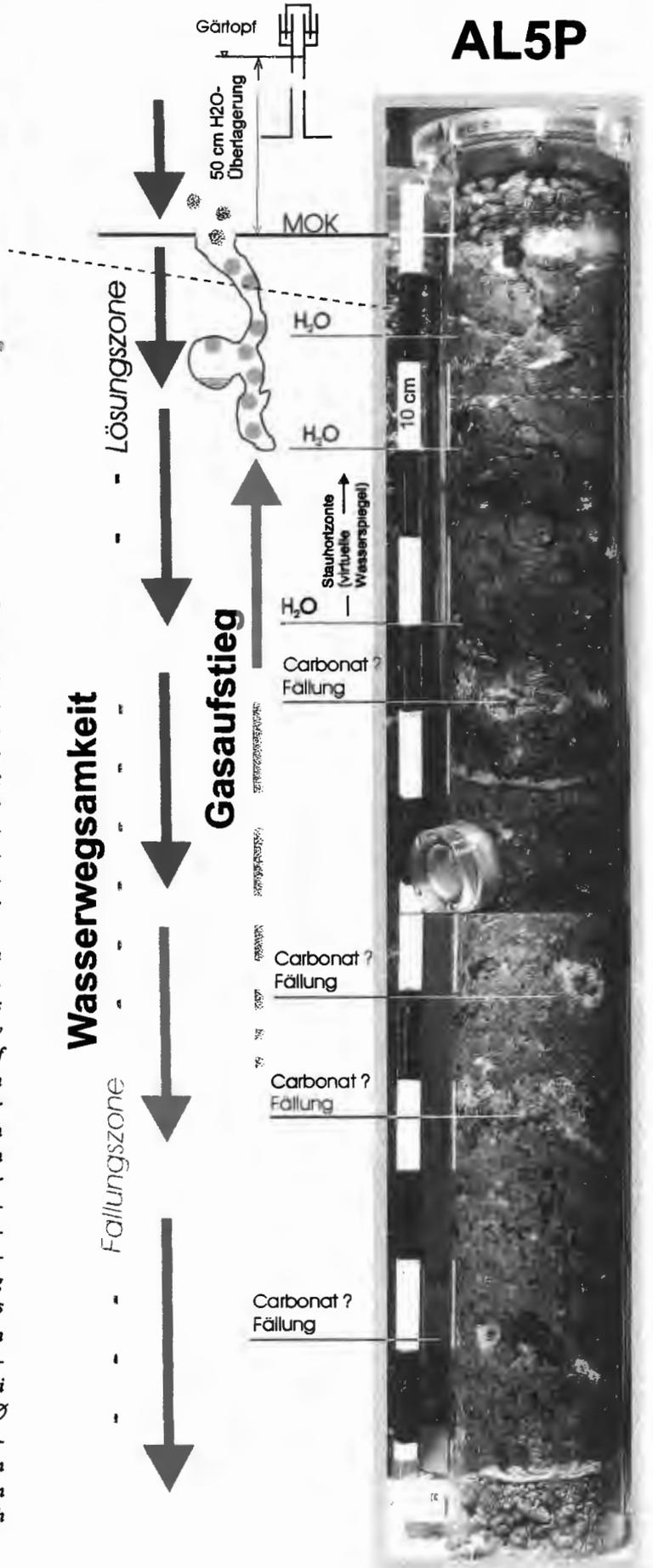


Abb. 14 (oben): (nach G. RIEHL-H. et.al 1996) "Entgasungskanal" im obersten Bereich des AL5P; diese Gaskanäle sind in der oberen Hälfte des Lysimeters erkennbar. In ihrem Bereich findet Auswaschung, Umlagerung und Resedimentation von Feinteilen statt.

Abb. 15: (nach G. RIEHL-H. et.al 1996)) Das Acrylglaslysimeter mit purem unbehandeltem Material zeigt mehrere Stauhohizonte ("virtuelle Wasserspiegel"); bei Öffnen des Entlastungshahnes am Lysimeterdeckel beginnt das im Wasser gehaltene Gas aufzuperlen und im Abfallkörper aufzusteigen. Die Aufwärtsbewegung der Gasblasen beginnt ca. 80 - 100 cm unter der Mülloberkante (ca. 1,5 m H<sub>2</sub>O-Überlagerung). Die Aufstiegswege werden descendent vom Überlagerungswasser genutzt. Aus dem Müllkörper werden lösliche Stoffe durch das Wasser in die tieferen Schichten transportiert. Nach vier Versuchsjahren sind teilweise noch einzelne Organica wie Papier nicht verrottet, Druckerzeugnisse zum Teil lesbar. Dies stimmt mit Beobachtungen aus der New Yorker Abfalldeponie Fresh Kills Landfill auf Long Island überein, in der Zeitungen nach zwanzig Jahren noch einwandfrei lesbar waren. In diesem Lysimeter ist zu beobachten wie die Ausfällungen (RAMKE et.al. 1990) an der Oberfläche von Bakterien erfolgen oder auch lagig um Zonen besonderer Wegsamkeiten ausfallen und dort zu Zementationen führen. Dieses Lysimeter gibt im Gegensatz zu den Großlysimetern nur wenig Sickerwasser ab, da das Durchsickern des Wassers im geringen Ø von 20 cm durch Folienreste etc. ("Größtkorn" bei der Zerkleinerung 10 cm) stark behindert wird. Bei den dazugehörigen Großlysimetern Ø 100 cm bewegt sich das gesamte Aufschlagwasser durch den Müllkörper, desgleichen wohl auch bei allen wasserwegig gelagerten "konventionellen" Deponien, abzüglich etwaiger Abflußmengen und der Evaporation.



## 6. Die Bedeutung von Breitenau und die derzeitige Situation

Mit der Hausmüllversuchsanlage Breitenau steht der Wissenschaft ein Forschungsobjekt zur Verfügung, das bislang einmalig ist: Zum erstenmal wurde eine Abfalldeponie in relevanter Größenordnung allein für Forschungszwecke errichtet und mit den entsprechenden infrastrukturellen Ausstattungen versehen, sodaß alle Probleme der Deponierung von Abfällen vor Ort beobachtet werden können.

Es ist mit der Hausmüllversuchsanlage Breitenau erstmals in diesen Dimensionen ein Instrument geschaffen worden, mit dessen Hilfe es möglich ist, einen Abfallkörper vom Anbeginn der Schüttung in seiner kontinuierlichen Entwicklung zu beobachten und zu messen, samt allen Immissionen und Emissionen, mit allen Nebenfragen und Aspekten, mit allen Möglichkeiten verwandte Forschungsprojekte interdisziplinär, interfakultär und interuniversitär einzubinden.

Bereits im Abschlußbericht über die Hausmüllversuchsanlage Breitenau 1986 - 1991 (Drucklegung 1995, G. RIEHL-H. et al. 1995) wurde darauf hingewiesen, daß internationale Forschungsgruppen besonderes Interesse an der Versuchsdeponie bekundet haben.

Als Themenkreise bieten sich besonders an:

- Versuchsanlage zur Sickerwasseraufbereitung
- Untersuchungen zum Phänomen "virtueller Wasserspiegel"
- Tritiummessungen und <sup>18</sup>O-Messungen
- Biotoxizitätstests
- Denitrifikationsversuche
- Einzelparameter zur AOX-Messung
- Kleinklima und Meßreihen der Abdeckungsvarianten

- Beprobung der Dichtschicht und Bergung der Folien- und Vliesproben<sup>1</sup>
- Sickerwasserreaktionsstrecke
- geophysikalische Modelluntersuchungen
- Permanente Beobachtung der Entwicklung

Die Weiterführung der laufenden Untersuchungen und der angeführten Projekte wäre nicht nur aus wissenschaftlicher Sicht, sondern auch im Hinblick auf im öffentlichen Interesse stehende praxisbezogene Erkenntnisse und Entscheidungen notwendig. Damit könnte ein wichtiger Beitrag für die Entwicklung im Deponiewesen, zur Behandlung von Altlasten und zur Erstellung von Richtlinien, Normen und Vorschriften geleistet werden.

In der Abfallforschung scheint neuerdings der reinen Labormethode nebst punktuellen Stichprobenuntersuchungen der Vorzug gegenüber der Untersuchung an einer Realdeponie gegeben zu werden (H.-J. EHRIG 1997). Zwar können im Labor zeitraffende Methoden angewandt werden und wird unter genauen Randbedingungen gearbeitet, doch kommt es gerade durch die Inhomogenität des Abfalls und die im selben Abfallkörper unterschiedlich einsetzenden Umsetzungsvorgänge zu Synergismen, die nachzuahmen im Laborversuch nahezu unmöglich ist. Ein Anhaltspunkt hierfür ist die trotz fortgeschrittenener Umsetzung stetig hoch bleibende Biotoxizität bei Sickerwässern sowohl des unbehandelten als auch des mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfalls (P. SPILLMANN 1996).

Leider scheint für das mit der Hausmüllversuchsanlage Breitenau zur Verfügung stehende Instrumentarium nur wenig öffentliches Interesse zu herrschen. Seit 1991 werden die für

---

<sup>1</sup> An der Müllbasis von FII sind 45 verschiedene Musterproben von Geotextilien und Kunststofffolien, die zur Abdichtung von Abfalldeponien verwendet werden, für einen Langzeittest unter realen Versuchsbedingungen situiert. Teilproben sollten nach 5 und 10 Jahren geborgen, analysiert, und den „trockengelagerten“ Vergleichsproben gegenübergestellt werden. Aus finanziellen Gründen harren diese Proben noch immer der Bearbeitung....

den laufenden Betrieb (schon gar nicht für Forschungsprojekte!) erforderlichen Mittel (Sickerwasserentsorgung, Beobachtung) nicht zur Verfügung gestellt. Aufwände mußten zum Teil vom Projektleiter privat mit persönlicher Haftung aufgefangen werden, das Projekt wird finanziell ausgehungert. Am geologischen Institut der TU-Wien, das für die Erstellung und den Betrieb der Versuchsanlage Breitenau verantwortlich gezeichnet hat, wurde nach der Emeritierung von F. MAKOVEC jegliches Einfließen geologischer Denkungsweise in die Entsorgungspraxis zurückgenommen. Sogar die Probenahme der Sickerwässer wurde der Projektleitung ausdrücklich untersagt (Dienstorder D. v. HUSEN, 1995).

Dies steht durchaus im Einklang mit dem Bemühen mancher Gruppierungen, geologisch orientiertes Langzeitdenken von diesem Themenkreis fernzuhalten.

Trotz aller müllmengenmindernden Abfallstrategien, die dringendst erforderlich sind, wie etwa Vermeidung, Wiederverwertung und die bei heizbaren Abfällen ökonomisch und ökologisch sinnvolle thermische Verwertung als Ersatz für meist importierte fossile Energieträger, werden immer etwa 30% der anfallenden Abfallmenge auf irgendeine Art und Weise abgelagert werden müssen. Langfristig werden die in die Anthroposphäre eingebauten Stoffe entsorgt werden müssen, und *die einzige nicht-dissipative Möglichkeit, sie der Umwelt zurückzugeben, besteht in der Deponie* (wörtl. Zitat P.H. BRUNNER, 1994). Daher wird es auch in Zukunft notwendig sein Deponieforschung zu betreiben (A. LAGERKVIST et.al. 1997, in diesem Band), auch wenn das gesellschafts- und wirtschaftspolitisch heute nicht unbedingt en vogue ist. Oder will man damit erst wieder beginnen, wenn Feuer am Dach ist?

## 7. Literatur

- P. BACCINI, et al., 1987 "Water and Element Balances of Municipal Solid Waste Landfills". In: Waste Management and Research (1987), 5, pg 483 - 499.
- P. BACCINI, 1992 "Die Deponie in einer ökologisch orientierten Volkswirtschaft." In: GAIA I 1992 no. 1. 1992
- W. BAUMANN 1985 "Minimierung und langfristige Abschätzung von Sickerwasseremissionen aus Hausmülldeponien" INFU Werkstattreihe Heft 15, Institut für Umweltschutz der Universität Dortmund, 1985
- E. BINNER, Th. LAHNER, 1997 Wasserhaushalt und Emissionssituation am Beispiel der Hausmüllversuchsanlage Breitenau, Barbaragespräche 1995, Wien 1997
- P.H. BRUNNER, 1994 Abfall als Langzeitrisiko, Barbaragespräche 1993 „Grenzen der Geotechnik“, pg 103-106, Wien 1994
- H.J. EHRIG, S. HAGEDORN, 1996 Einfluß der Oberflächenabdichtung auf Menge und Qualität des Sickerwassers, in: Entsorgungspraxis 6/96, pg. 49-55, Bertelsmann Fachzeitschriften, Gütersloh 1996
- H.-J. EHRIG, 1989 Water and Element Balances of Landfills. In: Lecture Notes in Earth Sciences. Vol. 20. Baccini, P. (Ed.). 1989
- H.-J. EHRIG, 1997 Einführung in das Verbundvorhaben Deponiekörper, in: Verbundvorhaben Deponiekörper, 2. Statusseminar, pg 1-5; Hrsg. UBA Projektträger Abfallwirtschaft und Altlastensanierung des BMBF, Wuppertal 1997
- A. LAGERKVIST; H. ECKE, 1997 Deponierungsstrategien, Versuchsfelder und die Zukunft, Barbaragespräche 1995, Wien 1997

- Th. LAHNER, 1989 "Untersuchungen zur Zusammensetzung des Grazer Hausmülls." Diplomarbeit am Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU Wien., Wien 1989
- P. LECHNER, 1992 "Reaktordeponie - Generelle Zielsetzungen und Erfahrungen mit der Versuchsdeponie Breitenau", 12 S., In: Deponietechnik und Entsorgungsbau, Hrsg: Fettweis, Golser & Hengerer, Balkema, Rotterdam, 1992
- H. LÖFFLER, 1988 "Anforderungen an eine umweltverträgliche Entsorgung von MVA-Reststoffen." In: Beiträge zum Umweltschutz, Heft 17. Magistrat der Stadt Wien (Hrsg.). Wien 1988
- S. MELCHIOR, 1996 Die Austrocknungsgefährdung von bindigen mineralischen Dichtungen und Bentonitmatten in der Oberflächenabdichtung - Ergebnisse der mehrjährigen In-situ-Versuchen und Aufgrabungen auf der Altdeponie Hamburg-Georgswerder, in: U.MAIER-HARTH:(Hrsg.): Geologische Barriere, Basisabdichtung, Oberflächenabdichtung - Möglichkeiten zur standortbezogenen Optimierung, 3.Deponie-Seminar in Bingen-Büdesheim, 40 S, Mainz 1996
- M. NOHAVA, 1993 Etablierung des Leuchtbakterientests in der Umweltkontrolle, Univ. f. Bodenkultur Wien, Inst. f. angewandte Mikrobiologie, Dipl.Ar., pg. 1-64, Wien 1993
- R. PAWLICK, 1988 "Beitrag zur natürlichen Flächenrotte einer Kompostrohfraktion aus der Müllaufbereitung für die Verwendung als Rekultivierungssubstrat."Dissertation am Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU Wien, Wien 1988
- H.-G. RAMKE, M.BRUNE, 1990, Untersuchungen zur Funktionsfähigkeit von Entwässerungsschichten in Deponiebasisdichtungssystemen, Abschlußbericht Forschungsvorhaben FK BMFT 1450457 3; 225 S, Braunschweig 1990
- D. RANK, W. PAPESCH, V. RAJNER, G RIEHL-HERWIRSCH, 1992 Environmental isotopes study at the Breitenau Experimental Landfill (Lower Austria), pg.173-177, in: H.Hötzl & A.Werner (Hrsg.) Proc.of the 6.Int.Symp.on Water Tracing, Karlsruhe, 1992, A.A. Balkema, Rotterdam, 1992
- D. RANK, W. PAPESCH, 1997 Isotopische Charakterisierung von Müllsickerwässern und die Verfolgung der Wasserbewegung in der Versuchsdeponie Breitenau (südliches Wiener Becken), Barbaragespräche 1995, Wien 1997
- G. RIEHL - HERWIRSCH, P.LECHNER, 1983, Untersuchung über die Verwendung des Schlammmaterials aus der Kieswäsche als Grundwasserschutzschicht, 66 S., In: Wasserwirtschaft - Wasservorsorge, Hrsg.: BMLuF, Wasserwirtschaftskataster, Wien 1983
- G. RIEHL-HERWIRSCH, 1993 Die "Diagenetische Inertisierung" - eine umweltneutrale Rückeinbindung von Abfall in den natürlichen Stoffkreislauf, Restmüll Enquete, Informationsreihe Abfallwirtschaft des Landes Steiermark, Band 1, pg. 69-72, Graz 1993
- G. RIEHL-HERWIRSCH et.al., 1994 Diagenetische Inertisierung, in: UG'94 3. Arbeitstagung "Erdwissenschaftliche Aspekte des Umweltschutzes" BFPZ Arsenal, Geotechn.Inst. (Hrsg. 1994)
- G. RIEHL-HERWIRSCH, P.LECHNER et.al., 1995 Hausmüllversuchsanlage Breitenau, Abschlußbericht zum Beobachtungszeitraum 1986 - 1991, pg. 1-199 BMLuF (Hrsg.), Wasserwirtschaftskataster, Wien 1995
- G. RIEHL-HERWIRSCH, P. CARNIEL, M. HACKENBERG; 1996, Diagenetische Inertisierung - ein Immobilisierungsverfahren, Lysimeterversuche Katzelsdorf, NÖ, 1992-1996, Kurzfassung des Endberichtes, pg. 1-23, Hrsg.: H. HOLZER (BMFUJF), Th STEIRER (Österr. Kommunalkredit AG), Wr. Neustadt 1996

P. SPILLMANN, 1996 Sanierung von Altdeponien durch Rückbau - Grundlagen und Stand der Praxis, in: Kongreßbericht d. 3. Depotech Kongreßmesse Leoben, pg. 127-134, D. HENGERER, M. NELLES, G. WÖBER, (Hrsg.), Balkema, Rotterdam/Brookfield, 1996

R. STEGMANN 1990 Landfill Gas Extraction, in: Sanitary Landfill-

Process, Technology and Enviromental Impact; Academic Press, London, 1990

B. STEINERT, S. MELCHIOR, K. BURGER K. BERGER, M.TÜRK, 1996 Dimensionierung von Kapillarsperren zur Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten, in: Verbundvorhaben Weiterentwicklung von Deponieabdichtungssystemen Teil- BMBF -Vorhaben 39, Kurzfassung, Hamburg 1996



## DISKUSION

## Die Versuchsanlage Breitenau

Aufbau und Wasserwegsamkeiten  
Ergebnisse und Fragen

**CHAMANARA:** Ich hätte eine Frage, was den Untergrundbau betrifft. In der ÖNORM 2074, Teil 2, werden einige Punkte vorgeschrieben, was den Untergrundbau betrifft. Jetzt meine Frage z.B. bei der Basisabdichtung: es wird vorgeschrieben daß man in-situ Versuche im Keuper bestimmt. Meine Frage ist, wie haben Sie das gemacht, haben sie mit Standrohrversuchen gemessen oder habe Sie die Möglichkeit gehabt, eine ungestörte Probe zu nehmen von der Basisabdichtung und die im Labor untersucht?

Die zweite Frage, den natürlichen Untergrund zu verbessern, haben sie angenommen, daß man das überhaupt nicht verbessern braucht oder haben sie irgendwelche Lastplattenversuche gemacht oder wie wurde da vorgegangen?

Die dritte Frage war, wieso Sie im Feld I auf der Seite keine mineralische Basisabdichtung haben. Sie haben nur eine Folie, aber eine Folie ist sehr leicht zu verletzen.

**RIEHL-H:** Die Folie ist sicher überaus leicht zu verletzen, das ist ganz klar. Wir haben da auch Beispiele, wo wir einen Radlader auf der Folie hinuntergelassen haben und Steine sind dazwischengelegen und sie war zerfetzt. Sie haben recht mit der Verletzbarkeit, ich war Tag und Nacht draußen auf der Deponie um zu verhindern, daß die Deponieleute, die ja nicht immer gerade Apotheker sind, mit dem Lader und Kompaktor reinfahren. Es ist auch manchmal passiert und wir mußten es immer wieder flicken. Die Untergrunddichtung, die mineralische Dichtung, ist erst später gekommen, wir haben also noch vor dieser Vorschreibung geplant. Natürlich haben wir mit Lastplattenversuchen den Untergrund untersucht, der Kies ist voll verdichtet, es sind

keinerlei Absenkungen oder so etwas zu erwarten. Es ist ein sehr guter Baugrund und waren Feinsandlagen etc. auch vorgeschrieben und die Vorschreibungen sind alle eingehalten worden. Aber eine mineralische Dichtung unter der Folie gibt es nicht. Ich würde es auch heute absolut ablehnen eine mineralische Dichtung unter der Folie anzulegen, denn was passiert letztendlich? Diese Verbunddichtung, daß man die drauflegt im Preßverbund, das hat noch nirgends geklappt. Es kommt immer Wasser dazwischen oder sonst etwas und à la longue wird ihnen bei den höheren Temperaturen die Tondichtung unten austrocknen und ich habe habe selber gesehen, da war der Kollege Vortisch bei einer Exkursion dabei, bei Billingham, bei dieser Sondermülldeponie, die war damals gerade im Bau, wir haben dort die Folie weggenommen an einem Stück und ich habe meinen Stock, der ist 1 m lang, in diese Risse hineinstecken können. Sie bekommen diese Risse darunter sicher durch Austrocknung und die Dichtung unten ist wirklich schade ums Geld. Die nutzt überhaupt nichts, denn wenn wirklich ein Riß ist, rinnt es durch diese Risse durch. Sie verschlammten sich auch nicht, sondern werden ausgeschwemmt. Also es ist ein relativ sinnloses Unterfangen.

Die  $k_f$ -Werte haben wir im Labor bestimmt. Die waren auch um die  $10^{-9}$  und wir haben dann die zweiten Werte, das können sie in dem Band sehen, wenn sie sich den dann anschauen, rückgerechnet und kommen auf die identen  $10^{-9}$  jetzt.

Das hat die Boku gemacht, also der Prof.PREGL, die haben Proben mitgenommen und haben die dann verdichtet.

Ich habe ja zuerst erwähnt, wir haben das sehr naß eingebaut, schichtweise mit sehr viel Wasser, haben das Wasser verdunsten lassen, Risse reißen lassen und die Risse wieder aufgefüllt. Außerdem ist ja ein Kies-Schluff-Ton-Gemisch eingebaut und da bekommen sie mit den Versuchsbehältern sowieso keine korrekten Werte, weil sie die Kieskörner ja nicht wegbekommen. Wir haben also nur mit dem Schluff-Ton-Gemisch die Versuche im Labor gemacht. Und dann natürlich hat es Probleme mit der Befahrung, mit der Beschüttung gegeben und wir haben auch einen Grundbruch produziert, das heißt die ausführende Firma, ist mit dem Lader draufgefahren und haben dann noch mit den Institutsleuten gemeinsam geschaut, wie oft man mit einem beladenen Japaner, ich glaube so heißen diese kleinen Dinger, hin- und herfahren kann und nach 10 Befahrungen hat es begonnen zu reißen und durchzusitzen. Also ein verspäteter Thixotropieeffekt. Diese Untersuchungen werden noch einmal in der nächsten Zeit publiziert.

Ich bin vorhin auch auf folgendes nicht eingegangen: wir haben 45 Folien im Feld II, also im Mittelfeld, in 1:1-Bedingungen eingegraben. Wir wären sehr gespannt, was daraus geworden ist in der Zeit. Denn unter Deponiebedingungen, also bei 30°C und Überfluß von Sickerwasser, gibt es sicherlich andere Materialveränderungen als bei den parallelgelagerten Folien im Kunststoffinstitut. Wir wären sehr begierig, das herauszubekommen und die beiden Proben einer gleichen Prüfungsprozedur zu unterziehen. Die Kunststoffleute äußern sich ja und sagen, daß die Folien bis 700 Jahre hielten, de facto geben sie aber max. 3 Jahre Garantiefrist und es ist keiner zu bewegen, diese auszudehnen.

**CHAMANARA:** Die Lastplattenversuche die angesprochen worden sind?

**RIEHL-H:** Haben wir unten nicht gemacht. Wir haben es vorher gemacht auf der Kiesunterlage, also den Boden sozusagen

**NORDEN:** Wäre die Diagenetische Intertisierung, ihr Verfahren, auch im sauren Milieu notwendig? Ich denke da an die geplante Mülldeponie in Aspang am Wechsel.

**RIEHL-H:** Das kommt aufs Material an. Was man nach unseren Voruntersuchungen ausschließen muß, sind sicher sehr hohe Anteile an kompostierbarem, organischem Material, die zumindest mit der Gasproduktion Probleme machen. Aber an sich bei Aschenschlacken sollte es kein Problem geben, bei Aschen unter Umständen schon, wir brauchen keine hydraulischen Binder drinnen, denn bei denen kommt es zu Volumsverlust und zur Steife.

**NORDEN:** Müßte das unbedingt so ein karbonathaltiger Tonschluff sein.?

**RIEHL-H:** Das kommt auf die Zusammensetzung des zu entsorgenden Mülls an. Das kann man nicht a priori für alle Dinge sagen. Das ist sicher von mal zu mal verschieden und anzupassen, das kann man nicht für alles von Haus aus sagen.

**VORTISCH:** Es hat sich gezeigt, daß sich die Mischung von Tonmineralen und Feinteilen der karbonatischen Substanz an sich ein ideales, sich selbst stützendes Sicherheitssystem darstellt. Die Tonminerale wirken zum einen dichtend und auch schadstoffbindend und die Karbonatminerale fördern ganz besonders die Fällung von Schwermetallen außerhalb des Sulfidbereiches, z.B. Kadmiumhydroxid oder entsprechende Karbonate und puffern gleichzeitig das Milieu ab, so daß die Tonminerale ihre Schadstoffbindungsfunktion aufrecht erhalten können. Das heißt, die Schadstoffbindung durch Tonminerale wird durch die fein verteilten Karbonatminerale geschützt, gefördert, und die Tonminerale bringen wieder hohes Maß an Dichtigkeit und geben den langsam laufenden Festlegungsprozessen, den langsam laufenden Bindungsprozessen genügend Zeit, um Fällungen und Mitfällungen entsprechend durchlaufen zu lassen. Wir haben im Prinzip ja 3 Bindungsprozesse, d.h. also Schadstoffsorption an bestehenden Mineralphasen, Schadstofffällungen, Mitfällungen an den beiden weiteren, wenn wir von der reinen Filterfunktion feinputikulärer Substanzen einmal absehen.

*Diskussionsbeiträge von:*

*Mag.H. CHAMANARA*  
*Fattstraße 24a*  
*A - 6922 Wolfurt*

*Mag.E. NORDEN*  
*Postfach 35*  
*A - 2870 Aspang*

*Prof.Dr.W. VORTISCH*  
*Inst.f.Prospektion u. angew.*  
*Sedimentologie*  
*Montanuniversität Leoben*  
*A - 8700 Leoben*



Barbara-Gespräche Payerbach 1995	Band 2	"Geogen - Anthropogen" "Hausmüllversuchsanlage Breitenau"	Seite 227 - 255 Abb. 1 - 12	Wien 1997
-------------------------------------	--------	--	--------------------------------	-----------

# BARBARA-GESPRÄCHE

## Payerbach 1995

Wasserhaushalt und Emissionssituation  
am Beispiel der  
Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau

E. BINNER, Th. LAHNER



Payerbach,  
25. November 1995

## INHALT

1	EINLEITUNG	229
2	ZIELE DES PROJEKTES	229
3	VERSUCHSAUFBAU	229
3.1	Randbedingungen in den Deponieabschnitten	231
3.1.1	Deponieabschnitt 1 (= Feld I)	231
3.1.2	Deponieabschnitt 2 (= Feld II)	231
3.1.3	Deponieabschnitt 3 (= Feld III)	232
3.2	Einbau der Abfälle	232
3.3	Einbauwasser und Sickerwasserkreislaufführung	232
3.4	Oberflächengestaltung	233
4	WASSERBILANZ	233
4.1	Meßdaten	233
4.2	Zufluß	234
4.3	Abfluß (= Sickerwassermenge)	235
4.4	Beurteilung des Einflusses unterschiedlicher Deponieabdeckungsvarianten auf den Sickerwasserhaushalt	238
5	SICKERWASSERINHALTSTOFFE	238
5.1	pH-Wert	240
5.2	Milieuabhängige Parameter	240
5.2.1	Chem. Sauerstoffbedarf (CSB)	240
5.2.1.1	Konzentrationen	240
5.2.1.2	Frachten	243
5.3	Milieuunabhängige Parameter	243
5.3.1	Stickstoff	243
5.3.1.1	Konzentrationen	243
5.3.1.2	Frachten	244
6	GASHAUSHALT	246
6.1	Erfassung des Deponiegases	246
7	STOFFBILANZ DER DEPONIE	248
8	ERKENNTNISSE, INTERPRETATION	248
8.1	Wasserhaushalt	248
8.2	Sickerwasserinhaltsstoffe	249
8.3	Gashaushalt	250
9	LITERATUR	251
	DISKUSSION	253

*Anschrift der Verfasser:*

*Dipl.Ing. E.BINNER*

*Universität für Bodenkultur Wien*

*Abteilung Abfallwirtschaft / IWGA*

*Dipl.Ing. Th. LAHNER*

*Technische Universität Wien*

*Abteilung Abfallwirtschaft*

Barbara-Gespräche Payerbach 1995	Band 2	"Geogen - Anthropogen" "Hausmüllversuchsanlage Breitenau"	Seite 227 - 255 Abb. 1 - 12	Wien 1997
-------------------------------------	--------	--	--------------------------------	-----------

# Wasserhaushalt und Emissionssituation am Beispiel der Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau

E. BINNER, Th. LAHNER

## 1. Einleitung

Der Begriff der "Reaktordeponie" wird in den "Leitlinien zur Abfallwirtschaft" aus dem Jahr 1988 (BUNDESMINISTERIUM für UMWELT, JUGEND und FAMILIE, 1988) festgelegt und in den "Richtlinien für die Ablagerung von Abfällen" aus dem Jahr 1989 (BUNDESMINISTERIUM für LAND- und FORSTWIRTSCHAFT, 1989) übernommen. Demnach handelt es sich bei diesem Deponietyp um eine "Deponie mit Verbindung zur Biosphäre und zeitlich begrenzten, kontrollierten Emissionen, die auf Grund von beherrschbaren biologischen, chemischen und physikalischen Vorgängen auftreten". Durch eine Intensivierung der biologischen Abbauvorgänge im Deponiekörper sollen die Emissionen innerhalb eines abschätzbaren, möglichst kurzen Zeitraumes erfolgen. Löse- und Umsetzungsvorgänge sind so zu beeinflussen, daß diese noch während der Standzeit der Barriere "Deponietechnik" weitgehend abgelaufen sind.

Aufgrund der heutigen Erkenntnisse kann die Reaktordeponie in eine Endlagerstrategie nur insofern eingegliedert werden, als getrachtet wird, die "ökologisch relevante" Bestandsdauer durch verschiedene Maßnahmen möglichst kurz zu halten und das Schadstoffpotential zu minimieren. Der Zeitraum ist insbesondere im Hinblick auf die nur begrenzte Lebensdauer der Barriere Deponietechnik wichtig, danach soll die Deponie in die Umwelt entlassen werden können, ohne deren nachhaltige negative Beeinflussung.

## 2. Ziele des Projektes

Eine der Zielsetzungen des 1986 begonnenen Forschungsprojektes „Versuchsdeponie Breitenau“ war die Errichtung einer Reaktordeponie nach den Kriterien der Leitlinien zur Abfallwirtschaft in Österreich. Es wurde versucht, Maßnahmen zur Verbesserung des Abbauverhaltens organischer Substanz von Mülldeponien am Beispiel der Versuchsdeponie Breitenau aufzuzeigen.

Um diesen Zielvorstellungen gerecht zu werden, wurde in Breitenau

- nur Hausmüll mit bekannter Zusammensetzung und definiertem Schadstoffgehalt eingebaut
- auf eine homogene Beschaffenheit des Müllkörpers geachtet
- beim Einbau ein optimaler Wassergehalt durch entsprechende Wasserzugaben angestrebt
- durch Sickerwasserkreislaufführung nach Abschluß des Mülleinbaus eine positive Beeinflussung des Abbauprozesses angestrebt.

## 3. Versuchsaufbau

Die in der Aufgabenstellung des Projektes Hausmüllversuchsanlage Breitenau formulierten Fragestellungen hinsichtlich des Wasserhaushaltes verlangten die Gliederung der Versuchsdeponie in 3 vollständig voneinander

getrennte Abschnitte. Durch das Hochziehen von PEHD-Folien wurden die einzelnen Deponiefelder möglichst flüssigkeitsdicht und gasdicht voneinander getrennt.

Durch die bauliche Trennung der Deponiefelder war es möglich Sickerwasser und Deponiegas aus den einzelnen Teilbereichen gesondert zu sammeln, zu analysieren, und dadurch Aussagen über den Einfluß unterschiedlicher Randbedingungen zu erforschen. Zur Sickerwasseruntersuchung wurden 5 glasfaserverstärkte Zisternen geschaffen, in denen sogenannter „Überlauf“ aus 3 Feldern - er entspricht dem in „normalen“ Deponien anfallenden Sickerwasser - und „Durchlauf“ aus 2 Feldern - er entspricht dem eine mineralische Dichtung durchdringenden Sickerwasser - gesammelt wurden.

Die Gaserfassung erfolgte über in 3 Horizonten übereinander, sternförmig angeordnete Gasdrainagen, die in einen Sammelschacht münden. Jeder Horizont kann einzeln zwangs-entgast werden.

In diesem Vortrag werden die Auswirkungen unterschiedlicher Randbedingungen auf den Wasserhaushalt und die Produktion von Sickerwasser und Deponiegas der Versuchsdeponie dargestellt.

Im folgenden wird näher auf den Aufbau der drei Versuchsfelder eingegangen. Abbildung 1 zeigt einen Schnitt durch die Deponie und gibt einen Überblick über die wesentlichsten baulichen Unterschiede.

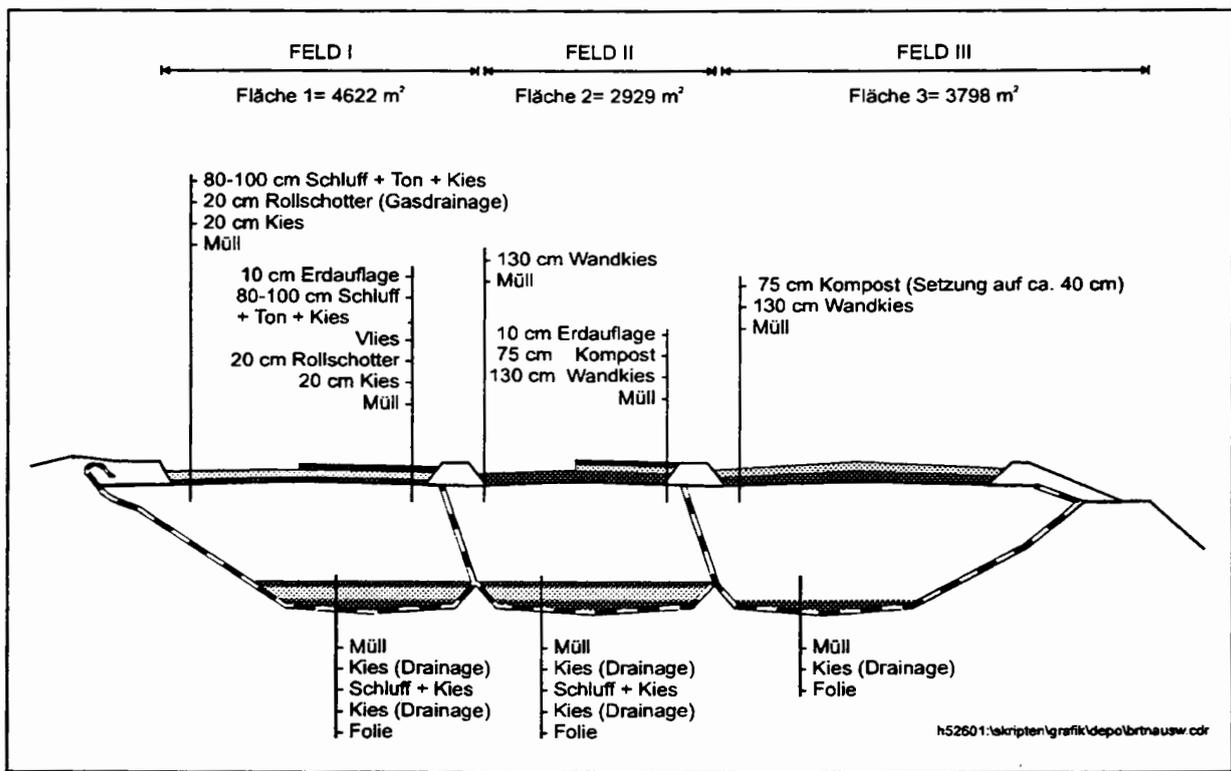


Abb. 1: Schematische Darstellung der Versuchsdeponie Breitenau. Drei Deponiefelder mit unterschiedlicher Feldgröße, Oberflächengestaltung und Basisdichtung.

### 3.1 Randbedingungen in den Deponieabschnitten

#### 3.1.1 Deponieabschnitt 1 (= Feld I)

Oberflächengröße:	4.622 m <sup>2</sup>
Müllmenge:	35.000 t FS
Müllzusammensetzung:	Hausmüll aus Wien, keine Aufbereitung
Schüttbeginn:	November 1987
Schüttende:	September 1988
Schüttdauer:	11 Monate
Schüttgeschwindigkeit:	hoch, Müllmenge < 10.000 t nur 2 Monate
Deponiebasisdichtung:	Schluff-Ton-Kies-Schicht + Folie
Oberflächenabschluß:	Juni 1989
Oberflächengestaltung:	Schluff-Ton-Kiesgemisch, eine Hälfte zusätzlich mit Erdauflage. Begrenzt dicht (Setzungsrisse), geringe Verdunstung.
Einbauwassermenge:	32 l/t Müll
SIWA-Kreislaufführung:	19 l/t Müll während der Einbauphase; nach Oberflächengestaltung keine Sickerwasserkreislaufführung.
Zeitdauer bis zur „stabilen“ Methanphase:	pH-Wert > 7,5 nach 15 Monaten BSB5/CSB < 0,1 nach 24 Monaten

#### 3.1.2 Deponieabschnitt 2 (= Feld II)

Oberflächengröße:	2.929 m <sup>2</sup>
Müllmenge:	25.600 t FS
Müllzusammensetzung:	Hausmüll aus Wien, keine Aufbereitung
Schüttbeginn:	Oktober 1987
Schüttende:	Oktober 1988
Schüttdauer:	12 Monate
Schüttgeschwindigkeit:	Müllmenge < 10.000 t über 6 Monate
Deponiebasisdichtung:	Schluff-Ton-Kies-Schicht + Folie
Oberflächenabschluß:	Juni 1989
Oberflächengestaltung:	130 cm Wandkies, eine Hälfte (B) zus. mit 75 cm Roh-kompost und 10 cm Erdauflage. Durchlässig, geringe Verdunstung und Wasserkapazität in Teil A, hohe Verdunstung und Wasserkapazität in Teil B.
Einbauwassermenge:	36 l/t Müll
SIWA-Kreislaufführung:	16 l/t Müll während der Einbauphase 15 l/t Müll in 1. Halbjahr 1990
Zeitdauer bis zur „stabilen“ Methanphase:	pH-Wert > 7,5 nach 8 Monaten BSB5/CSB < 0,1 nach 18 Monaten

### 3.1.3 Deponieabschnitt 3 (= Feld III)

Oberflächengröße:	3.798 m <sup>2</sup>
Müllmenge:	33.200 t FS
Müllzusammensetzung:	1/3 Hausmüll + Klärschl. aus Graz, aufbereitet (zerkl.), 2/3 Hausmüll aus Wien, keine Aufbereitung
Schüttbeginn:	Jänner 1987
Schüttende:	September 1988
Schüttdauer:	21 Monate
Schüttgeschwindigkeit:	sehr nieder, Müllmenge < 10.000 t über 12 Monate
Deponiebasisdichtung:	Folie
Oberflächenabschluß:	Juni 1989
Oberflächengestaltung:	130 cm Wandkies + 75 cm Rohkompost. Durchlässig, aber hohe Wasserkapazität und hohe Verdunstung.
Einbauwassermenge:	6,5 l/t Müll
SIWA-Kreislaufführung:	3,4 l/t Müll während der Einbauphase 6,4 l/t Müll im 2. Halbjahr 1989 11 l/t Müll im 2. Halbjahr 1990 4,5 l/t Müll im 1. Halbjahr 1991 18,4 l/t Müll im 2. Halbjahr 1991
Zeitdauer bis zur „stabilen“ Methanphase:	pH-Wert > 7,5            nach 8 Monaten BSB5/CSB < 0,1        nach 16 Monaten

### 3.2 Einbau der Abfälle

In die bestehende Grube wurden (als Teilverfüllung; eine freie Sickerwasservorflut ist damit gewährleistet) insgesamt 93.800 t Hausmüll aus Breitenau, Graz und Wien eingebracht, befeuchtet und verdichtet eingebaut. Das verfüllte Volumen nach Verdichtung betrug 76.760 m<sup>3</sup>; damit wurde eine Dichte von 1,22 t/m<sup>3</sup> erzielt. Die Müllzusammensetzungen waren annähernd bekannt.

Von den eingebauten Abfällen stammten rd. 72.000 t aus Wien, rd. 7.000 t aus Graz und geringfügige Anteile aus der Umgebung von Breitenau.

In Feld III wurde im Jänner 1987 mit dem Schüttvorgang begonnen. Um den Schüttvorgang rasch abschließen zu können, waren große Müllmengen erforderlich. Es gelangte daher aufbereiteter (zerkleinerter) Hausmüll aus der Grazer AEVG-Anlage und in nur geringem Umfang Hausmüll aus den Bezirken Neunkirchen und Baden zur Anwendung.

Nach Verfüllen von 1/3 des Deponieabschnittes 3 stand ab Juni 1987 kein Grazer Müll mehr zur Verfügung. Da nicht rasch genug Ersatz gefunden werden konnte, kam es zu einer ungewollten Verzögerung beim Verfüllen von Feld III. Für die restlichen 2/3 von Feld III und die anderen Felder (Schüttbeginn Okt. bzw. Nov. 1987) wurde unzerkleinerter Wiener Hausmüll verwendet. Auch bei Feld II gab es in der Anfangsphase eine Unterbrechung des Schüttvorganges. Feld I wurde sehr rasch verfüllt.

Bedingt durch die Unterbrechung des Schüttvorganges bei Feld III (in geringerem Umfang auch bei Feld II) blieben die Abfälle hier längere Zeit Niederschlägen (und auch Sauerstoffeinfluß) ausgesetzt als bei Feld I. Dies ist bei der Interpretation der Abbauvorgänge und auch der Wasserbilanz zu beachten.

### 3.3 Einbauwasser und Sickerwasserkreislaufführung

Bei allen Feldern wurde versucht den Einbauwassergehalt im Sinne einer Reaktordeponie zu optimieren. Daher wurden zur Befeuchtung, vom Ausgangswassergehalt abhängige Einbauwassermengen zugesetzt. Feld III benötigte mit 6 l/t Müll wesentlich weniger zusätzliches Wasser (Grazer Müll gemischt mit Klärschlamm war von Haus aus feuchter) als die Felder I und II (um die 35 l/t Müll).

Wesentlich für die Interpretation des Wasserhaushaltes sind auch die Unterschiede bei der Sickerwasserkreislaufführung. Neben dem Niederschlagseinfluß ergab sich daraus in Feld III und im ersten Halbjahr 1990 auch in Feld II ein zusätzlicher Wassereintrag in das Schüttgut.

### 3.4 Oberflächengestaltung

Als wesentlichste Einflußgröße auf den Wasserhaushalt der Versuchsdeponie stellte sich die unterschiedliche Oberflächengestaltung heraus.

Bei **Feld I** wurde versucht die Oberfläche flüssigkeitsdicht zu gestalten. Dazu wurde eine 80 bis 100 cm starke Schluff-Ton-Kies-Schicht analog zur Deponiebasisdichtung aufgebracht. Eine Feldhälfte wurde zusätzlich mit 10 cm Erdauflage versehen.

**Feld II** wurde flüssigkeitsdurchlässig mit 130 cm Wandkies abgedeckt. Bei einer Hälfte des Feldes stellte dies die oberste Schicht dar; bei der anderen Hälfte wurden zusätzlich 75 cm Rohkompost und 10 cm Erdauflage aufgebracht.

Bei **Feld III** wurde die 130 cm Wandkies-schicht zur Gänze mit 75 cm Rohkompost abgedeckt. Der Wassereintritt durch die im Prinzip durchlässige Oberfläche wird mit Hilfe des hohen Wasserhaltevermögens des Kompostes und der aktuellen Verdunstung infolge des rasch aufkommenden Bewuchs eingeschränkt.

## 4. Wasserbilanz

### 4.1 Meßdaten

Zur Erstellung der Wasserbilanz werden seit Dezember 1988 auf der Deponie Niederschlagsmessungen (N) durchgeführt. Für den Zeitraum 1987/88 wurden Niederschlagswerte aus Katzelsdorf - durch Parallelbeobachtung im Jahr 1989 korrigiert - herangezogen. Die Niederschlagsganglinie (Abb. 2) zeigt über die Jahre gleich bleibende Charakteristika der Niederschlagsverteilung, mit Maxima im Sommer und Minima im Winter, wobei 1991 der Monat Juli als besonders niederschlagsreich heraussticht. Die für den ostösterreichischen Klimaraum charakteristischen, geringen jährlichen Niederschlägen (durchschnittlich 590 mm/Jahr) erlauben Sickerwasserkreislauf-führung zur Reduzierung der in die Kläranlage zu entsorgenden Sickerwassermengen und zur Optimierung des Wassergehaltes im Deponiekörper.

Die Jahresniederschlagsmengen betragen in mm/a bzw. l/m<sup>2</sup>:

Untersuchungsjahr	Jahresniederschlag
1987	500
1988	497
1989	571
1990	626
1991	740

Der Oberflächenabfluß (O) wird wegen der unterschiedlichen Oberflächengestaltung je Halbfeld getrennt über ein Rinnensystem in Zisternen abgeleitet und gemessen. Durch Kurzschlüsse im Wasserkreislauf (Defekte an der Pumpendichtung) und Setzungen im Rinnensystem traten Fehler bei der Erfassung auf.

Einbauwasser (E) und Sickerwasserrückpressmengen (R) wurden und werden über Volumenmessungen sehr genau erfaßt.

Die aktuelle Verdunstung (V) kann nur mangelhaft abgeschätzt werden. Während der Schüttphase ist die Verdunstung wegen des fehlenden Bewuchses und des Windschutzes (durch die tief unter dem Grubenrand liegende Mülloberfläche) zu vernachlässigbar.

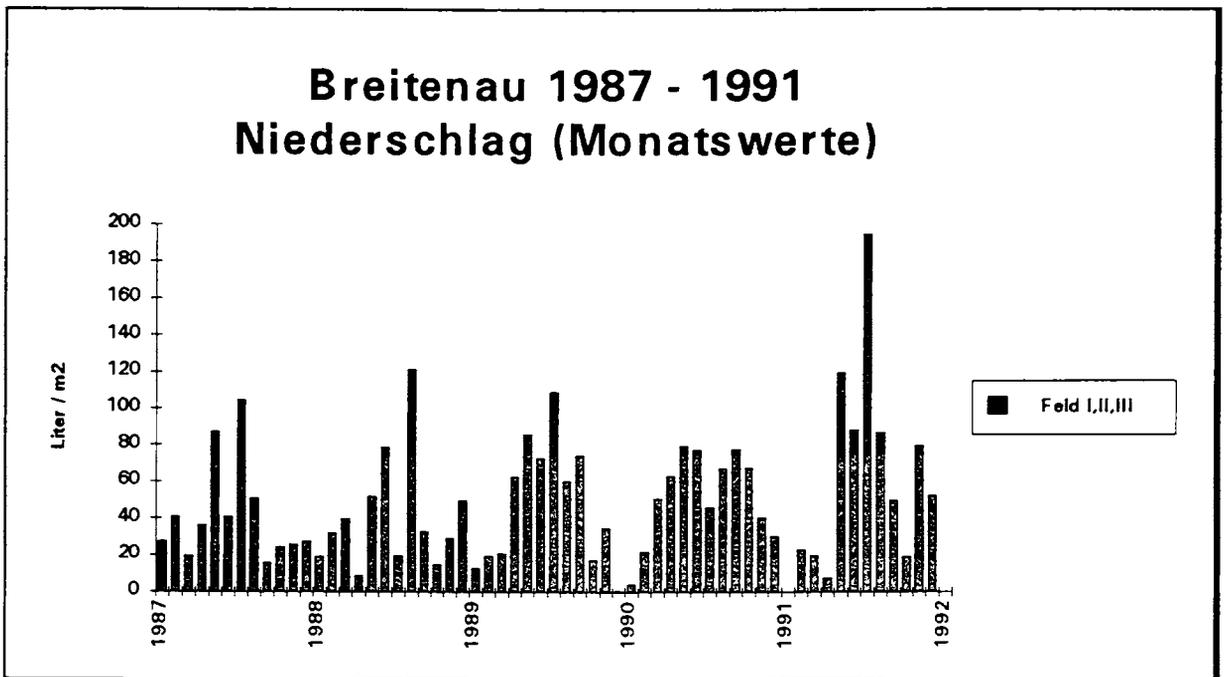


Abb. 2: Niederschlagsverteilung im Raum Breitenau; Beobachtungszeitraum 1987 - 1991.

Nach Abschluß der Deponie steigt sie mit zunehmendem Bewuchs an.

Die Verdunstung und der Einfluß des Wasserhaltevermögens der Abdeckschicht wurden nur qualitativ, nicht jedoch quantitativ berücksichtigt.

Eine qualitative Beurteilung der Verdunstung zeigt folgende Zusammenhänge:

**Feld I/1** glatte dichte Oberfläche (bis zum Auftreten von Setzungsrisen), kein Bewuchs, kein Wasserhaltevermögen,

---> sehr großer Oberflächenabfluß, durch ungleiche Setzungen kommt es zur Ausbildung von Wannen, geringe Verdunstung.

**Feld I/2** dichte Oberfläche (bis zum Auftreten von Setzungsrisen) mit 10 cm Erdauflage, kein Bewuchs,

---> mittlerer Oberflächenabfluß, durch ungleiche Setzungen kommt es zur Ausbildung von Wannen, geringe Verdunstung.

**Feld II/1** sehr durchlässige Oberfläche mit geringer Wasserkapazität, leichter Bewuchs,

--> geringer Oberflächenabfluß, geringe bis mittlere Verdunstung.

**Feld II/2** durchlässige Oberfläche mit hoher Wasserkapazität, mittlerer bis starker Bewuchs,

--> geringer Oberflächenabfluß, mittlere bis hohe Verdunstung.

**Feld III** durchlässige Oberfläche mit sehr hoher Wasserkapazität, sehr starker Bewuchs,

--> geringer Oberflächenabfluß, sehr hohe Verdunstung.

Die Sickerwassermengen (Abfluß) werden aus den voneinander getrennten Feldern in 3 glasfaserverstärkten Kunststoffzisternen gesammelt und mengenmäßig erfaßt.

Ein Teil des anfallenden Sickerwassers (SIWA) wurde alternierend in die Felder II und III zurückgepreßt, der Rest wurde mittels Tankwagen in eine Kläranlage entsorgt. In Feld I wird seit Beendigung des Müllinbaus nicht rückgepreßt. Die Wasserzufuhr erfolgt hier alleine über Niederschläge.

## 4.2 Zufluß

Bedingt durch die ungleichen Feldergrößen ist eine Beurteilung der unterschiedlichen Randbedingungen der Felder nur durch Beziehen der Meßwerte auf die Flächeneinheit  $\text{m}^2$  Feldfläche oder auf die Masseneinheit Tonne eingebauten Mülls möglich. Die Entwicklung der Niederschlagsmengen je Tonne Müll und Monat zeigen bei allen Feldern - mit Ausnahme der Anfangsphase in Feld III durch die sehr geringen Müllmengen - einen ähnlichen Verlauf. Durch die größere Oberfläche sind die Werte bei Feld I generell höher (0 - 3 l/t) als bei den anderen Feldern. Während der Schüttphase liegen die Niederschläge zwischen 3 und 18 l/t und Monat (Feld III bis über 20 l/t). Nach Deponieabschluß liegen die Werte in der Regel unter 10 l/t Müll und Monat (im feuchten Jahr 1991 traten höhere Werte auf).

Der Zufluß wurde aus

Niederschlagsmenge

[mm/Monat x Feldfläche/t Müll]

+ Einbauwasser [l/t u. Monat]

+ Sickerwasserkreislauf [l/t u. Monat]

- Oberflächenabfluß [l/t u. Monat]

errechnet.

Wie bereits eingangs erwähnt wurde die Verdunstung für die Berechnungen nicht berücksichtigt.

## 4.3 Abfluß (=Sickerwassermenge)

Der Sickerwasseranfall dieser Deponie ergibt sich aus den Meßwerten von Überlauf plus Durchlauf. Überlauf ist das über der Schluffdichtung abgeleitete Sickerwasser; Durchlauf ist das die Schluffdichtung durchdringende und an der Folie aufgefangene Sickerwasser.

Schwankungen im Abfluß der einzelnen Felder werden während der Mülleinbringung (bis Ende 1988) vor allem durch unterschiedliche Einbauwassermengen und Sickerwasserkreislaufführung verursacht.

Nach Oberflächenabschluß liegt die Ursache v.a. im unterschiedlichen Eindringen der

Niederschläge und in einer unterschiedlicher Sickerwasserkreislaufführung.

Feld I zeigt, wie durch die dichte Oberfläche zu erwarten war, nach Deponieabschluß sehr geringe Sickerwassermengen. Allerdings zeigt sich auch noch im 2. Jahr nach Oberflächengestaltung (Einflüsse aus der Schüttungsphase können ausgeschlossen werden) ein starker Zusammenhang zwischen Niederschlag und Abfluß. Dies weist auf einige wenige, aber dafür sehr stark durchlässige Bereiche in der Oberflächenabdichtung hin.

1991 treten gegenüber den Vorjahren wesentlich höhere Abflußmengen auf. Das Abflußgeschehen verläuft vergleichbar zu Feld II; die Mengen sind allerdings geringer. Ungleiche Setzungen und Risse lassen die Dichtung zumindest örtlich unwirksam werden. Besonders im mit Erde abgedeckten Teilbereich des Feldes I konnte sehr starke Ribbildung beobachtet werden; mit dem Niederschlag wurde Erde in die Risse eingeschwemmt und verhinderte dadurch die „Selbstheilung“ (= Einwaschen von Feinstteilen) der Schluff-Ton-Dichtung.

Die für diesen Vortrag nicht im Detail zur Verfügung stehenden Vergleichswerte für 1992 bis 1995 zeigen weiterhin hohe Abflußmengen.

Die Spitzen im Abflußgeschehen erfolgen während des Schüttvorganges unmittelbar auf das Niederschlagsereignis, nach Oberflächenabschluß um 1-2 Monate zeitversetzt. Isotopenmessungen (RANK, 1993) zeigen, daß Niederschlagswasser sehr rasch (innerhalb von Stunden) in der Basisdränage ankommt. Zumindes ein Teil des Niederschlags findet somit entlang von leicht durchlässigen (Rand)bereichen (zum Schutz der Folie wurden Altreifen und Kies aufgebracht) zur Deponiebasis. Das länger andauernde Abflußgeschehen nach Beendigung des Niederschlagsereignisses weist allerdings auch darauf hin, daß ein erheblicher Anteil des Niederschlages den Deponekörper durchsickern muß.

**Feld II** zeigt wesentlich stärkere Schwankungen im Sickerwasserabfluß und liefert die höchsten Sickerwassermengen aller drei Felder bis 1990. Niederschläge können - zumindest im Halbfeld 2 - ungehindert eindringen und versickern.

Die signifikanten Abflußspitzen werden durch starke Niederschläge bei gleichzeitiger SIWA-Kreislaufführung (1. Jahreshälfte 1990) hervorgerufen. Die Abflußspitzen erfolgen rasch auf das Niederschlagsereignis, evt. Randeinflüsse machen sich bemerkbar.

**Feld III** Niederschlag und Abfluß zeigen auch hier einen deutlichen Zusammenhang. Bedingt durch die SIWA-Kreislaufführung in der 2. Jahreshälfte kommt es zu länger anhaltenden Abflüssen im Winter. Auch die Abflußspitzen liegen in dieser Zeit (geringe Verdunstung wegen der Vegetationsruhe, SIWA-Kreislaufführung).

1991 bringt Feld III trotz Sickerwasserkreislaufführung die geringsten Sickerwassermengen. Obwohl die Rückpressung im 2. Halbjahr 1991 fast doppelt so hoch ist wie im Vergleichszeitraum 1990, und obwohl höhere Niederschläge auftraten, war der Abfluß geringer als 1990. Wasserspeichervermögen und Verdunstung haben sich offenbar weiter verbessert.

Die Abflußmengen sind verglichen mit Feld II sehr gering und erfolgen mehrere Monate zeitversetzt zu den Niederschlägen. Die Erklärung dafür sind die hohe Verdunstung durch den Bewuchs und das sehr hohe Wasserspeichervermögen der Kompostabdeckung, aber auch des aufbereiteten Grazer Mülls. Möglicherweise spielen auch „virtuelle Wasserspiegel“ eine wichtige Rolle.

Betrachtet man die Sickerwassermenge im Verhältnis zum Jahresniederschlag, so zeigt

Feld I (ohne Sickerwasserkreislaufführung) für den Zeitraum nach der Oberflächengestaltung im Juli 1989 bis Ende 1991 einen Wert von 27%. Vergleichsweise gibt EHRIG (1980) für Deponien mit abgedichteter Oberfläche 10 - 15% an.

Feld II lieferte mit 45% den höchsten Anfall an Sickerwasser (Rückpressung in der 1. Jahreshälfte 1990). EHRIG gibt für Deponien mit lockerer Oberfläche 30 - 60% an.

Feld III zeigt trotz lockerer Oberfläche und hoher Sickerwasserkreislaufführung durch den dichten Bewuchs mit 17% einen deutlich geringeren Sickerwasseranfall als Feld I.

Eine Betrachtung der entsorgten Sickerwassermengen seit 1991 zeigt eine Reduktion in allen Feldern (die Niederschläge waren wesentlich geringer als 1991). Der Gesamt-abfluß von Feld II nähert sich jenem von Feld III an. Als Grund dafür kommen Unterschiede in der Sickerwasserkreislaufführung (seit 1991 nur mehr in Feld III) bzw. eine dichtere Vegetationsdecke auf Feld II in Frage. Eine Interpretation ist allerdings erst nach Kenntnis der Detaildaten 1991 bis 1995 möglich.

	<b>Feld I</b>	<b>Feld II</b>	<b>Feld III</b>
<b>Zufluß:</b>	193 l/t	210 l/t	247 l/t
<b>Abfluß:</b>	69 l/t	99 l/t	37 l/t
<b>Abfluß, in % Niederschlag (89-91):</b>	27%	45%	17%
<b>üblich. Bereich (nach Ehrig, 1989):</b>	10-15%	30-60%	k.A.

*Tabelle 1: Abfluß als %-Satz des Niederschlages seit Oberflächenabschluß. Versuchsdeponie Breitenau, Deponiefelder I - III. Beobachtungszeitraum 1989 - 1991.*

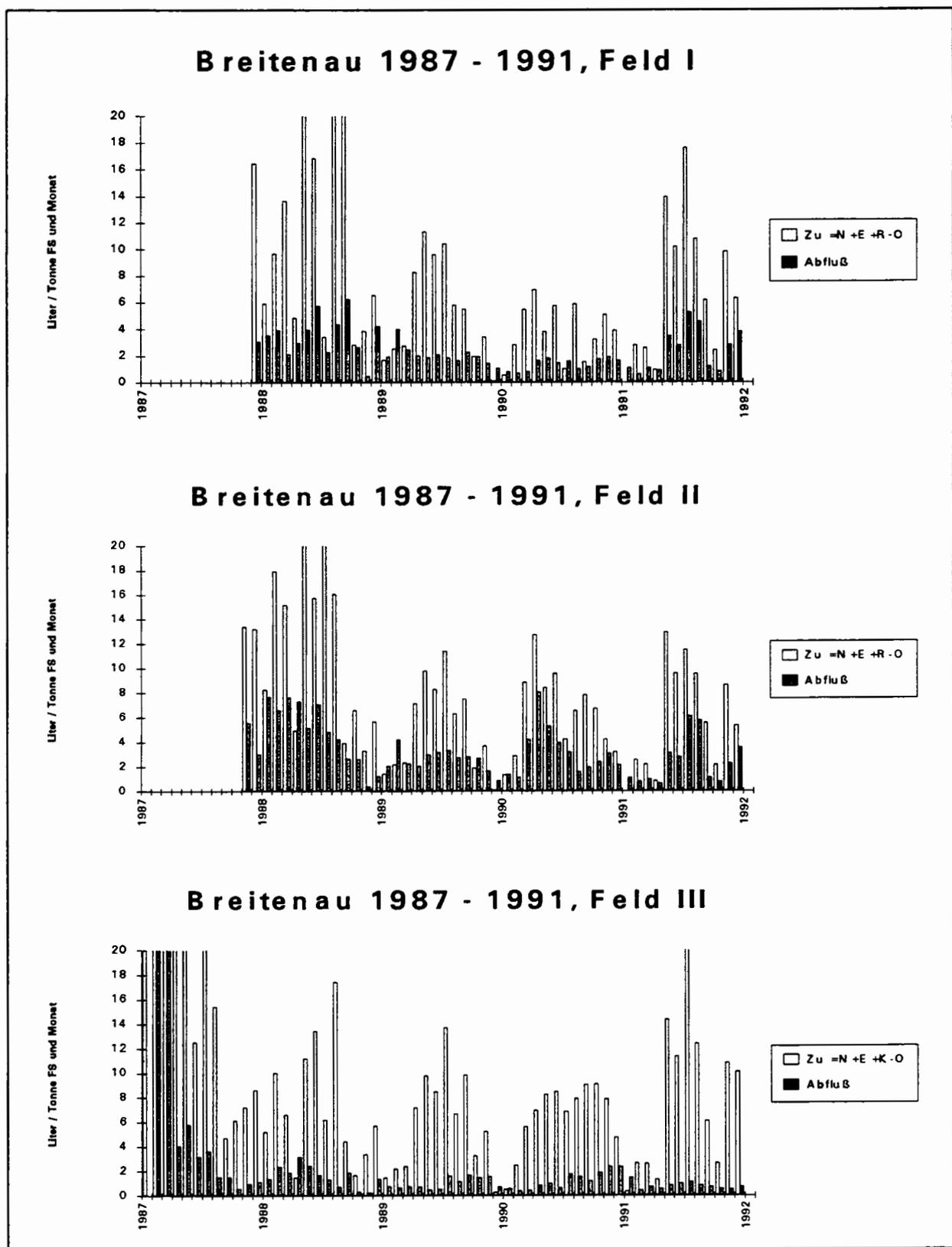


Abb. 3: Wasserbilanz - Zufluß und Abfluß [l/t Müll] Monatswerte; Versuchsdeponie Breitenau, Deponiefelder I - III; Beobachtungszeitraum 1987 - 1991.

#### 4.4 Beurteilung des Einflusses unterschiedlicher Deponieabdeckungsvarianten auf den Sickerwasserhaushalt

Aus den betrachteten Daten geht hervor, daß bei jeder Oberflächengestaltungsvariante Niederschläge in den Deponiekörper eindringen. Eine Einkapselung durch Aufbringen einer Schluff-Ton-Schichte zur Abdichtung der Oberfläche bewirkt nicht zwingend geringere Sickerwassermengen als eine durchlässig ausgeführte Oberfläche mit Kompostabdeckung und Bewuchs. Nach Versagen der Schluff-Ton-Dichtung (also zu einem nicht vorhersagbaren Zeitpunkt) kommt es durch die Wiederbefeuchtung des Mülls zu erhöhter biologischer Aktivität. Ohne Einkapselung wird dieser Vorgang bereits während einer früheren Phase abgeschlossen. Die Versuche in Breitenau zeigten eine zumindest gleich gute und dauerhafte Wirkung einer Kompostabdeckung mit dichtem Bewuchs hinsichtlich des Wasserhaushaltes (Verdunstung), wie eine versuchte Einkapselung mit einer Schluff-Ton-Abdichtung. Die Auswertung 1991 weist auf eine Schädigung der Oberflächenabdichtung von Feld I bereits innerhalb von 3 Jahren nach ihrer Herstellung hin, während die Wirkung der Vegetation offensichtlich immer besser wird. Trotz Sickerwasserkreislaufführung und höheren Niederschlägen 1991 sinkt der Sickerwasseranfall in Feld III. Die nach Deponieabschluß bei Feld III im Winter auftretenden höheren Sickerwassermengen sind sowohl auf die verringerte Verdunstungsleistung (durch Vegetationsruhe) als auch auf die SIWA-Kreislaufführung während dieser Periode zurückzuführen. Feld II zeigt generell den höchsten Sickerwasseranfall, wobei sich im Sommer der Einfluß der SIWA-Kreislaufführung (bis 1990) zusätzlich negativ auswirkte.

durch die Wiederbefeuchtung des Mülls zu erhöhter biologischer Aktivität. Ohne Einkapselung wird dieser Vorgang bereits während einer früheren Phase abgeschlossen. Die Versuche in Breitenau zeigten eine zumindest gleich gute und dauerhafte Wirkung einer Kompostabdeckung mit dichter

tem Bewuchs hinsichtlich des Wasserhaushaltes (Verdunstung), wie eine versuchte Einkapselung mit einer Schluff-Ton-Abdichtung. Die Auswertung 1991 weist auf eine Schädigung der Oberflächenabdichtung von Feld I bereits innerhalb von 3 Jahren nach ihrer Herstellung hin, während die Wirkung der Vegetation offensichtlich immer besser wird. Trotz Sickerwasserkreislaufführung und höheren Nieder

#### 5. Sickerwasserinhaltsstoffe

Aus den Sickerwassersammelbehältern wurden wöchentlich Proben entnommen und zur Stabilisierung tiefgefroren. Eine Probe je Monat, seit August 1990 nur noch alle 3 Monate, wird einer chemischen Analyse unterzogen.

Durch Vergleich der Ganglinien der Stoffkonzentrationen mit den Sickerwassermengen und den Ganglinien des pH-Wertes können Lösungs- und Abbauvorgänge im Deponiekörper beurteilt werden.

Eine Abschätzung des Stoffaustrages aus Deponien kann nicht alleine durch Betrachtung der Sickerwasserkonzentrationen erfolgen. Konzentrationen sind von der Löslichkeit des Inhaltsstoffes und von der Menge des Elutionsmediums abhängig. Geringe Konzentrationen bedeuten daher nicht zwangsläufig geringe Stoffflüsse, da sie ja auch durch Verdünnung (hohe Sickerwassermengen) hervorgerufen sein können.

Aus diesem Grund wurden als nächster Schritt Frachten je Tonne eingebauten Mülls berechnet (Konzentration im Überlauf x Sickerwassermenge [g bzw. mg/t FS und Monat]). Als Sickerwassermenge wurde die Summe aus Überlauf und Durchlauf herangezogen. Die unterschiedlichen Feldgrößen (und damit verbunden unterschiedliche Müllmengen) werden durch Errechnen der Stofffrachten je Tonne eingebauten Mülls berücksichtigt.

Durch Aufsummieren der Monatswerte wurden Jahresfrachten und Gesamtfrachten [g bzw. mg/t] errechnet und in Diagrammen dargestellt

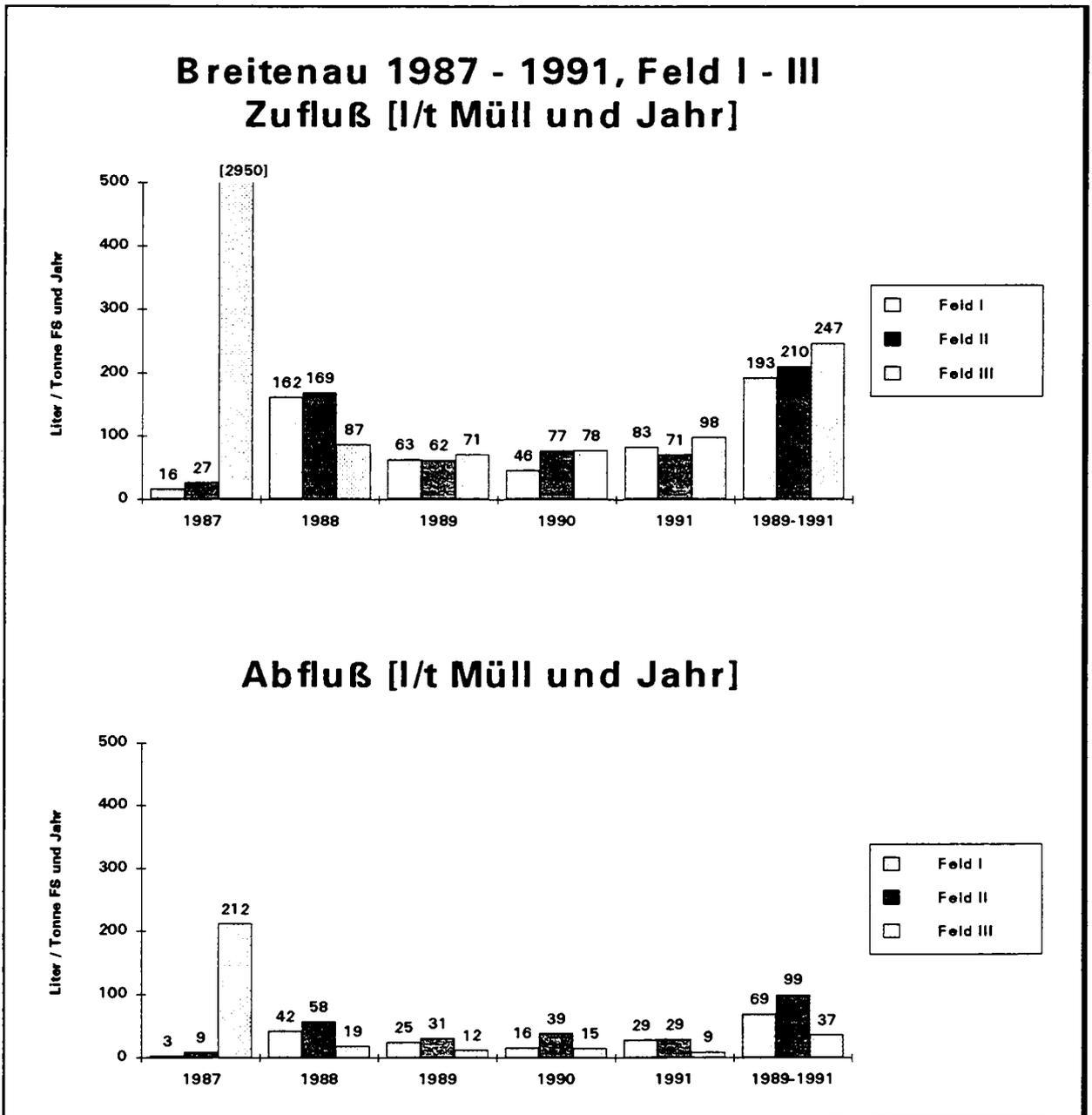


Abb. 4: Wasserbilanz - Zufluß und Abfluß. Jahres- u. Gesamtmengen [l/t Müll]  
Versuchsdeponie Breitenau, Deponiefelder I - III.  
Beobachtungszeitraum 1987 - 1991.

Die Auswertung hat gezeigt, daß die Sickerwasserkonzentration einer Reihe von Inhaltsstoffen stärker milieuhängig (pH-Wert) ist, während sie bei anderen Parametern vom Umgebungsmilieu nicht beeinflusst wird. Eine dritte Gruppe zeigt zusätzlich einen Einfluß unterschiedlicher Müllzusammensetzung oder -aufbereitung (Feld III - zerkleinerter Grazer Müll) bzw. einen Einfluß der Sickerwasserkreislauführung.

1. Zur Gruppe der stark von Milieubedingungen beeinflussten Parametern gehören:

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB = COD), Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB<sub>5</sub> = BOD<sub>5</sub>), Kalzium, Magnesium, Eisen, Mangan, Chrom, Nickel und Zink.

2. Die Gruppe der gering milieubeeinflussten Parameter umfaßt:

Alkalität, Stickstoff ( $N_{KJ}$ ,  $NH_4-N$  und  $NO_3-N$ ), Gesamtphosphor, Kalium, Natrium und Blei.

3. Die in Breitenau offensichtlich von der Müllzusammensetzung beeinflussten Parameter sind (auf diese wird im Vortrag nicht gesondert eingegangen):

Organische Belastung, Kalzium, Magnesium, Natrium, Eisen, Nickel, Chrom (höhere Werte in Feld III) Mangan und Zink (niederere Werte in Feld III). Stickstoff bleibt wesentlich höher als bei den anderen Feldern, was aber auch durch die SIWA-Kreislaufführung mitbeeinflusst sein kann.

## 5.1 pH-Wert

Unmittelbar nach Beginn der Müllschüttung ist das austretende Sickerwasser neutral bis schwach sauer. Nach einer kurzen aeroben Phase unmittelbar nach der Müllschüttung, sinkt der pH-Wert mit Beginn der sauren Phase (einige Monate nach dem Einbau) auf  $pH = 6$ . Die danach einsetzende instabile Methanphase (kann bis zu 10 Jahre dauern) macht sich in einem Anstieg des pH-Wertes bemerkbar.

Die "Stabile Methanphase" mit starker Gasproduktion ist durch pH-Werte zwischen 7,5 und 9 gekennzeichnet. Die "Instabile Methanphase" wird bei den Feldern II und III sehr rasch überwunden. Innerhalb von 8 Monaten werden pH-Werte um 8 erreicht und bleiben ab diesem Zeitpunkt relativ stabil.

Bei Feld I dauerte die "Instabile Phase" wesentlich länger. Ein pH-Wert von 7,5 wurde erst nach 15 Monaten bleibend überschritten. Erst nach 20 Monaten wurde ein pH-Wert von 8 erreicht. Die Schwankungen bleiben größer als bei Feld II und III. Eine mögliche Erklärung für dieses unterschiedliche Verhalten kann die unterschiedliche Schüttgeschwindigkeit sein. Feld I wurde, vor allem in der Anfangsphase sehr rasch geschüttet.

Dadurch wurde das Material nicht so stark durch Niederschläge befeuchtet, wie beispielsweise in Feld III (hohe Sickerwassermengen zu Beginn der Schüttphase). Wahrscheinlich wurde auch der aerobe Abbau in der ersten Müllschicht stärker behindert als in den Feldern mit langsamerer Schüttgeschwindigkeit - die dafür ausreichende Sauerstoffversorgung kann von oben her bis ca 1 m ins Material erfolgen.

## 5.2 Milieuabhängige Parameter

### 5.2.1 Chem. Sauerstoffbedarf (CSB)

#### 5.2.1.1 Konzentrationen

Die organische Verunreinigung zeigt eine sehr deutliche Korrelation mit dem pH-Wert. Niedere pH-Werte (während der "Sauren Phase") liefern sehr hohe CSB (und auch  $BSB_5$ ) Konzentrationen.

**Feld I** erreicht durch die lange dauernde "Saure Phase" sehr hohe CSB-Werte (57.000 mg  $O_2/l$ ). Mit Ansteigen des pH-Wertes über 7,5 gehen die CSB-Konzentrationen auf ca 15.000 mg  $O_2/l$  zurück.

Es zeigt sich eine sehr rasche Abnahme der organische Belastung im Sickerwasser. Bereits nach 2 Jahren liegen Konzentrationen mit 2500 mg/l so nieder, wie sie nach EHRIG (1989) in herkömmlichen Deponien erst nach 6 Jahren erreicht wird. Ob dies auf die optimierten Einbaubedingungen der Versuchsdeponie zurückzuführen ist, wäre mittels Analysen des Abbauszustandes der Abfälle zu untersuchen.

**Feld II** erreichte die stabile "Methanphase" rascher. Dementsprechend niedriger ist die organische Belastung des Sickerwassers. Die maximale CSB-Konzentration beträgt 29.000 mg  $O_2/l$ . In diesem Feld sinken die Konzentrationen mit Erreichen eines pH-Wertes  $> 7,5$  auf unter 10.000 mg  $O_2/l$ .

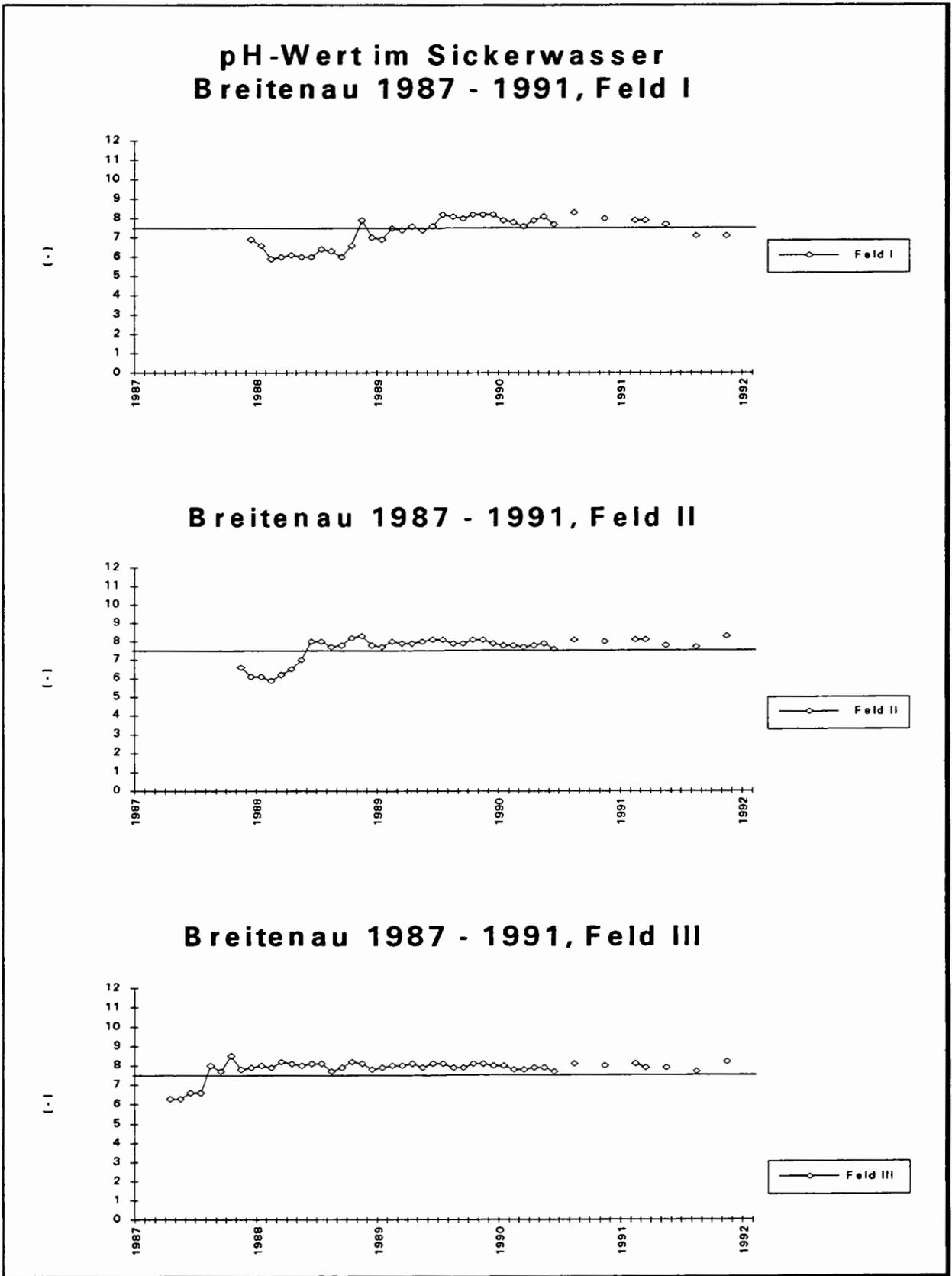


Abb. 5: pH-Werte - Monatswerte im Sickerwasser  
Versuchsdeponie Breitenau, Deponiefeldern I - III  
Beobachtungszeitraum 1987-1991.

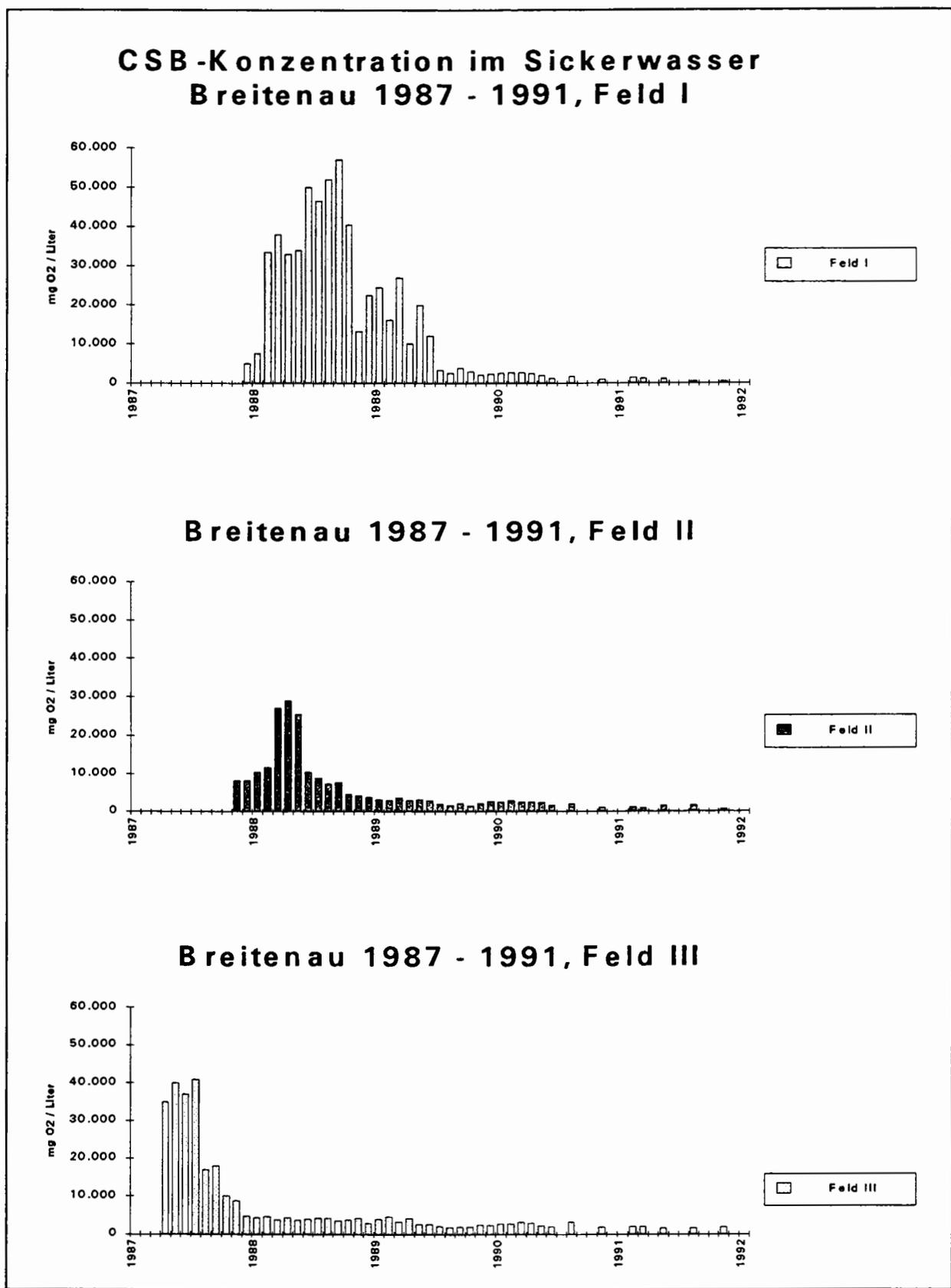


Abb. 6: CSB Konzentrationen - Monatswerte [mg/l] im Sickerwasser Versuchsdeponie Breitenau; Deponiefelder I - III, Beobachtungszeitraum 1987-1991.

**Feld III** zeigt durch den frühen Schüttbeginn die Spitzenbelastungen schon im Juli 1987. Das Deponiealter liegt allerdings zu diesem Zeitpunkt, genauso wie bei den anderen Feldern, bei etwa 5-9 Monaten. Im Unterschied zu Feld II sinken die CSB-Konzentrationen erst kurz nach Erreichen von pH-Werten  $> 7,5$  unter  $10.000 \text{ mg O}_2/\text{l}$ . Dies ist möglicherweise auf die anderen Materialeigenschaften (höherer organischer Anteil, Zerkleinerung) zurückzuführen, die wesentlich höheren Maximalkonzentrationen ( $41.000 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ) bewirken können.

Die  $\text{BSB}_5$ -Konzentrationen liegen wesentlich niedriger als die CSB-Konzentrationen, zeigen aber einen ähnlichen Verlauf.

### 5.2.1.2 Frachten

**Feld I** liefert sowohl bei den Jahresfrachten 1988 und 1989, als auch bei den Gesamtfrachten wegen der lange dauernden "Sauren Phase" und der hohen Abflußmengen - bedingt durch die große Oberfläche - die höchsten Stoffausträge; dies ändert sich ab 1990. Die Oberflächengestaltung (Abdichtung) wirkt sich positiv auf das Abflußgeschehen aus. Feld I zeigt nun geringere Jahresfrachten als Feld II (Abb. 7).

**Feld II** Die Oberflächengestaltung wirkt sich offensichtlich nicht frachtenvermindernd aus. 1988 und 1989 liegen die ausgetragenen Frachten zwischen Feld I und III, ab 1990 treten in Feld II die höchsten Frachten auf. Die abnehmende Tendenz ist auf den fortgeschrittenen Abbau der organischen Substanz zurückzuführen.

**Feld III** zeigt deutlich eine positive Wirkung der Oberflächengestaltung auf Wasserhaushalt und Sickerwasseremissionsfrachten. Durch das Wasserrückhaltevermögen der Kompostschicht und die starke Verdunstung durch die dichte Pflanzendecke aber auch durch die altersbedingte Konzentrationsabnahme kommt es trotz Sickerwasserkreislaufführung zu ähnlich niedrigeren Frachten wie in Feld I.

Sehr aussagekräftig für den Abbauzustand ist das Verhältnis zwischen  $\text{BSB}_5$  und CSB im Sickerwasser. Während der "Sauren Phase" liegt das Verhältnis mit 0,8 bis 0,25 relativ hoch. Nach 2 Jahren Bestandsdauer der Deponie fällt das Verhältnis auf 0,09 bis 0,06. Nach BAUMANN (1985) ist ab einem Verhältnis  $\text{BSB}_5:\text{CSB}$  von ca 0,1 die stabile Methanphase erreicht. Für Deponien mit Sickerwasserkreislaufführung nennt er dafür einen Zeitraum von 4 - 7 Jahren. Die Deponie Breitenau erreicht diese Phase in Feld III bzw. II bereits nach 16 bzw. 18 Monaten. In Feld I dauert es 24 Monate.

Die Elemente Ca, Fe, Mn, Mg, sowie eingeschränkt auch Cr, Ni, und Zn zeigen ein ähnlichen Verlauf der Konzentrationen und Frachten im Sickerwasser wie die organische Inhaltsstoffe.

## 5.3 Milieuunabhängige Parameter

### 5.3.1 Stickstoff

#### 5.3.1.1 Konzentrationen

Auch bei den Kjeldahlstickstoffkonzentrationen (sie entsprechen im Großen und Ganzen den Ammoniumkonzentrationen) zeigt sich ein starker Anstieg während der Anfangsphase. Anders als beim CSB bleiben die Konzentrationen über den ganzen Beobachtungszeitraum in gleicher Größenordnung. Ein ausgeprägter Einfluß des pH-Wertes ist nicht zu sehen.

Ein Einfluß der Sickerwassermengen auf die Höhe der Konzentrationen kann derzeit nicht eindeutig belegt werden. Zwar scheinen hohe Sickerwassermengen geringere Konzentrationen hervorzurufen (Maxima im Herbst/Winter, Minima im Sommer), doch ist der Einfluß der Sickerwasserkreislaufführung noch nicht abschätzbar. Bei Feld III zeigt die Kreislaufführung nicht so starken Einfluß wie bei Feld II. Weiterführende Aussagen dazu sind erst nach Auswertung der Folgejahre, ab 1992 zu erwarten (keine Kreislaufführung in Feld II).

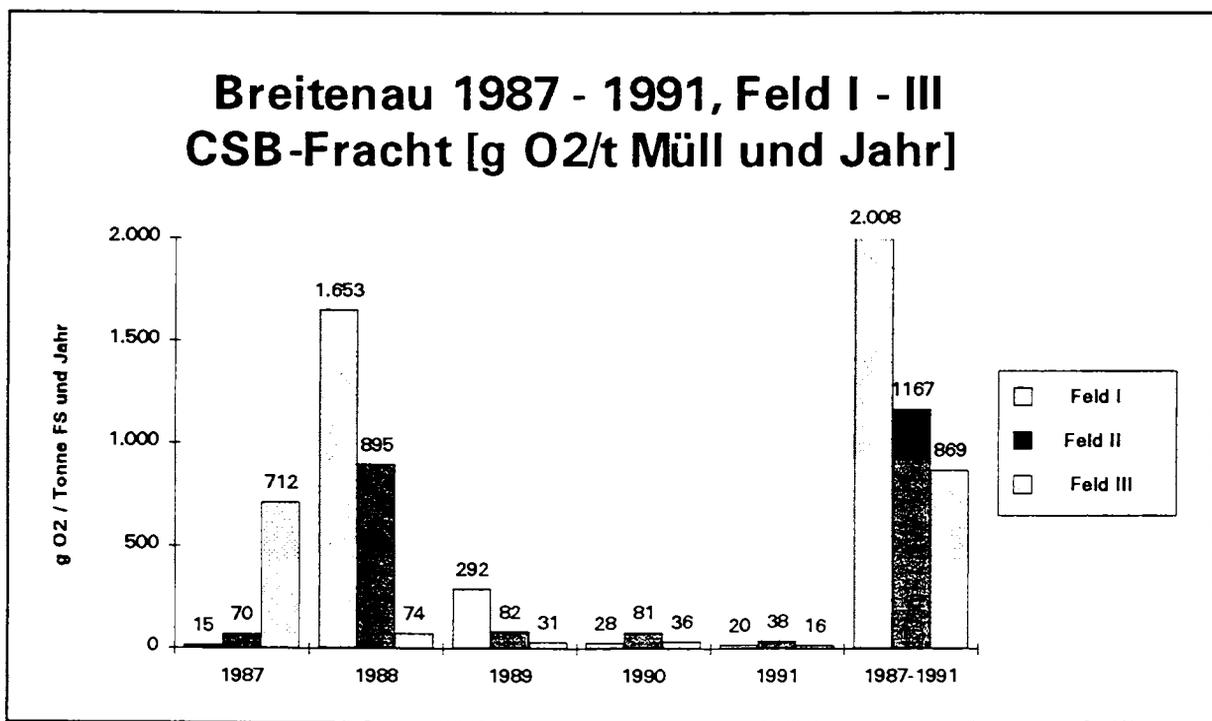


Abb. 7: CSB - Jahres- und Gesamtfrachten/Tonne Müll] im Sickerwasser  
Versuchsdeponie Breitenau, Deponiefelder I - III,  
Beobachtungszeitraum 1987-1991.

### 5.3.1.2 Frachten

Die Frachtenganglinien zeigen eine sehr starke Korrelation zu derjenigen der Abflußmengen. Hohe Sickerwassermengen bewirken hohe Frachten. Diese Tatsache spricht gegen einen Verdünnungseffekt. Bei allen Feldern gibt es nur geringe Konzentrationsschwankungen, auch bei veränderlichen Sickerwassermengen. Feld I zeigt diese Abhängigkeit infolge der generell geringeren Sickerwassermengen nicht so deutlich.

Während bei Feld I (sehr deutlich) und bei Feld III (weniger ausgeprägt) eine Abnahme der Jahresfrachten mit zunehmendem Depo-  
niealter festzustellen ist, bleiben bei Feld II die Jahresfrachten ziemlich konstant. Die Ursache liegt wie in Punkt 4 beschrieben in den unterschiedlichen Sickerwassermengen und den Unterschieden in der Kreislauf-  
führung.

Während bei Feld I (sehr deutlich) und bei Feld III (weniger ausgeprägt) eine Abnahme der Jahresfrachten mit zunehmendem Depo-  
niealter festzustellen ist, bleiben bei Feld II die Jahresfrachten ziemlich konstant. Die Ursache liegt wie oben beschrieben in den unterschiedlichen Sickerwassermengen und den Unterschieden in der Kreislauf-  
führung.

Bei den Gesamtfrachten zeigt sich der gleiche Verlauf wie beim Sickerwasserabfluß (Abbildung 9). Feld II liefert die höchsten Werte, Feld III bis auf 1991 (zu beachten ist die Zeitversetzung durch den unterschiedlichen Schüttbeginn) die niedrigsten. Ursache des Anstieges ist wahrscheinlich die Sickerwasserkreislauf-  
führung. Feld I nähert sich Feld III immer mehr an.

Alkalität, Stickstoff (N<sub>KJ</sub>, NH<sub>4</sub>-N und NO<sub>3</sub>-N), Gesamtphosphor, Kalium, Natrium, Cadmium und Blei zeigen ähnliche Charakteristika in ihrem Verlauf.

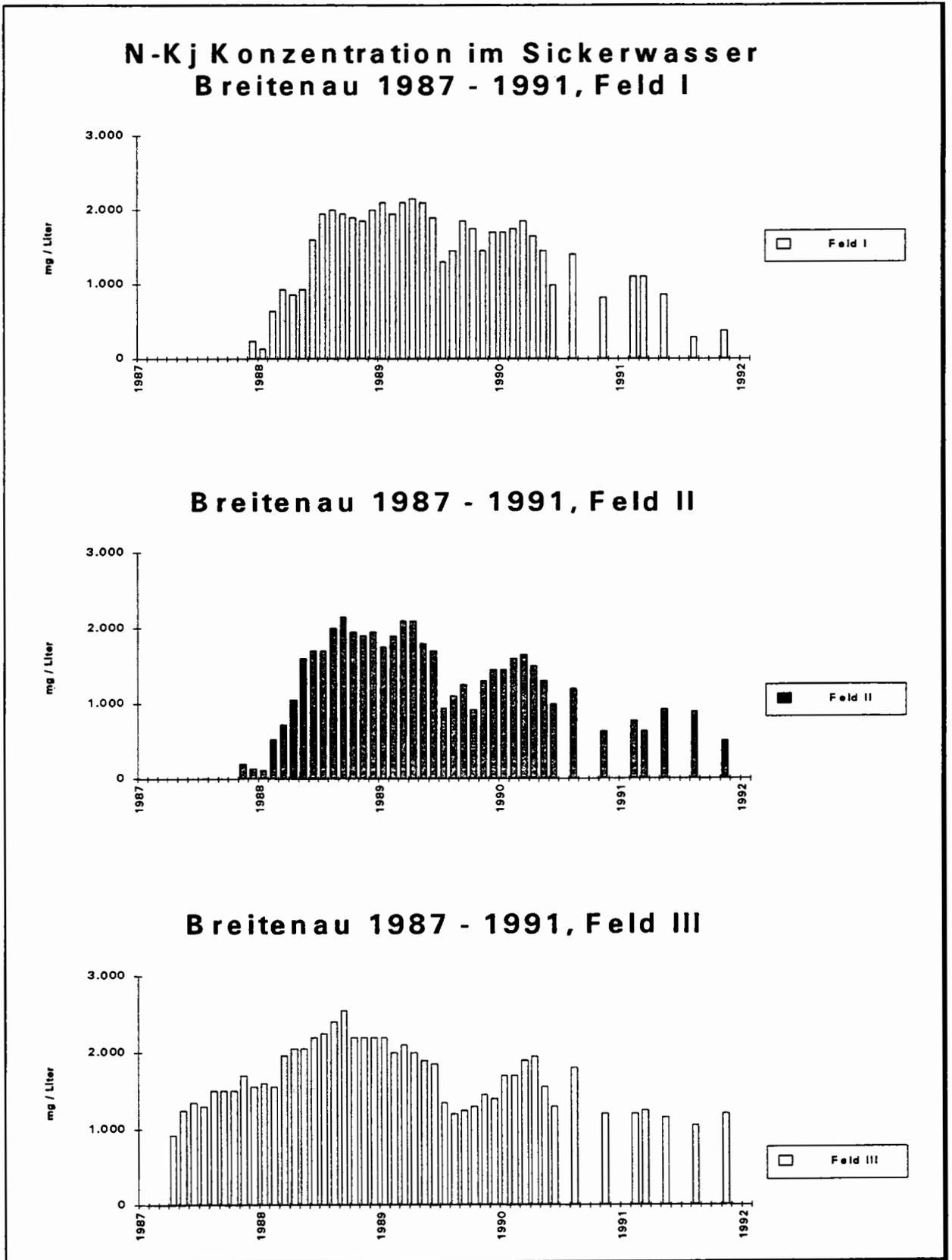


Abb. 8: Kjeldahlstickstoff Konzentrationen - Monatswerte [mg/l] im SIWA Versuchsdeponie Breitenau, Deponiefelder I - III, Beobachtungszeitraum 1987-1991.

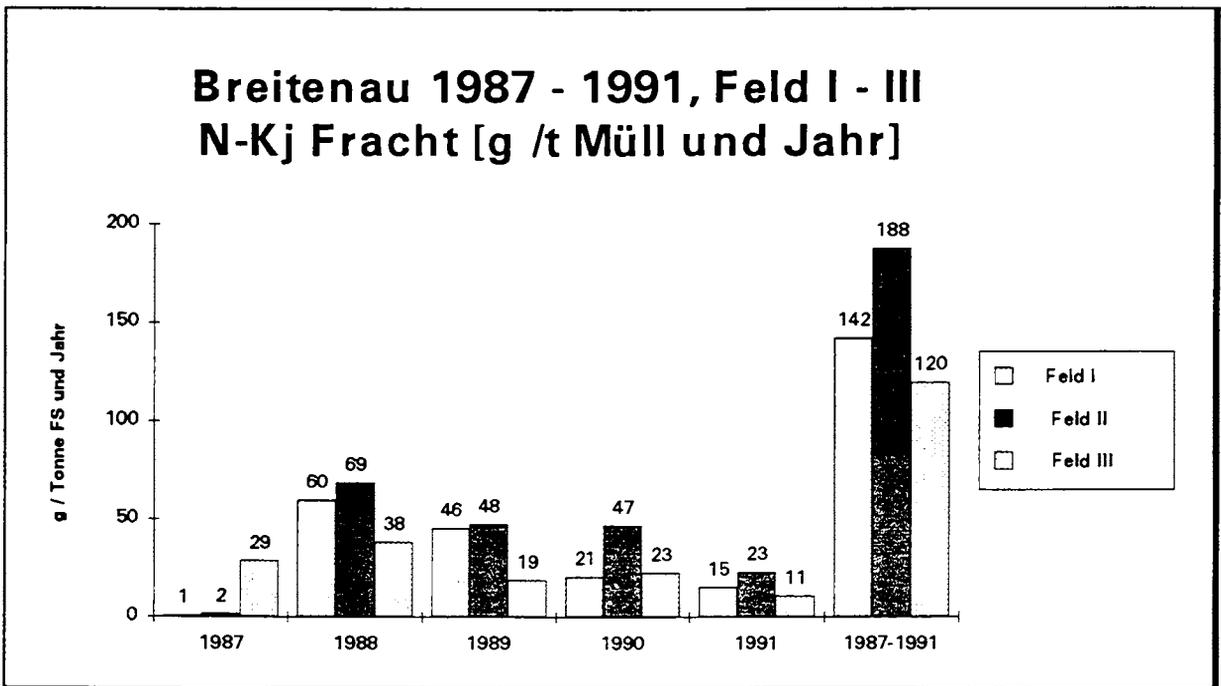


Abb. 9:  $N_{Kj}$  - Jahres- und Gesamtfrachten/Tonne Müll im Sickerwasser  
Versuchsdeponie Breitenau, Deponiefelder I - III,  
Beobachtungszeitraum 1987-1991.

## 6. Gashaushalt

### 6.1 Erfassung des Deponiegases

Das anfallende Deponiegas wurde seit April 1989 mengenmäßig erfasst. Bedingt durch die spezifische Bauweise der Versuchsdeponie war es möglich die Gasmengen aus den einzelnen Deponiefeldern und aus je drei verschiedenen Entgasungshorizonten getrennt zu erfassen.

Da die Deponieabdeckung aber erst einige Zeit nach Beginn der „stabilen“ Methanphase (Feld II 8 Monate, Feld III 20 Monate) aufgebracht wurde, ist ein großer Teil des gebildeten Gases vor Inbetriebnahme der Gaserfassung entwichen. Aufgrund der Inhaltsstoffe des Deponiegases kam es in Teilen des Gaserfassungssystemes zu Korrosionsschäden an den Gaszählern. Die gemessenen Werte sind daher teilweise fehlerbehaftet. Die Gesamtgasmengen von  $< 25 \text{ m}^3/\text{t FS}$  liegen jedenfalls weit unter den zu erwartenden Werten. Theoretische Abschätzungen (über  $C_{\text{org}}$ ) ergeben ein Potential von ca  $130 \text{ m}^3 \text{ Gas}/\text{t FS}$  erwarten, unbehandelter Restmüll setzte in Laborversuchen 30 bis  $80 \text{ m}^3 \text{ Gas}/\text{t FS}$  frei.

Bei der Interpretation der erfassten Deponiegasmenge ist weiters die Art der Deponieabdeckung unbedingt zu berücksichtigen. Feld II wurde mit 130 cm Wandkies abgedeckt. Wegen der durchlässigen Oberflächenabdeckung konnte daher nur ein Teil der gebildeten Gasmengen erfasst werden. Gasmessungen in der Oberflächenabdeckung zeigten vor allem in diesem Feld erhöhte Methankonzentrationen.

Der Verlauf der Gasproduktionskurve zeigt eine deutlich abnehmende Tendenz der gemessenen Werte. Unterschiede lassen sich sowohl zwischen den einzelnen Feldern, als auch zwischen den einzelnen Gaserfassungshorizonten erkennen. Die wesentlichen Gasmengen wurden aus den mittleren und aus den unteren Horizonten abgesaugt.

Feld III, das 1991 kaum mehr Gasbildung gezeigt hatte, setzt zur Zeit (Nov.1995) wieder Gas frei. Wegen der defekten Gaszähler kann die Gasproduktion nicht quantifiziert werden. Ursache dieser unerwarteten Aktivität könnte sein, daß bisher trockenstabile Deponieteile nunmehr durch Kreislauf- bzw. Niederschlagswasser angefeuchtet wurden. Dafür

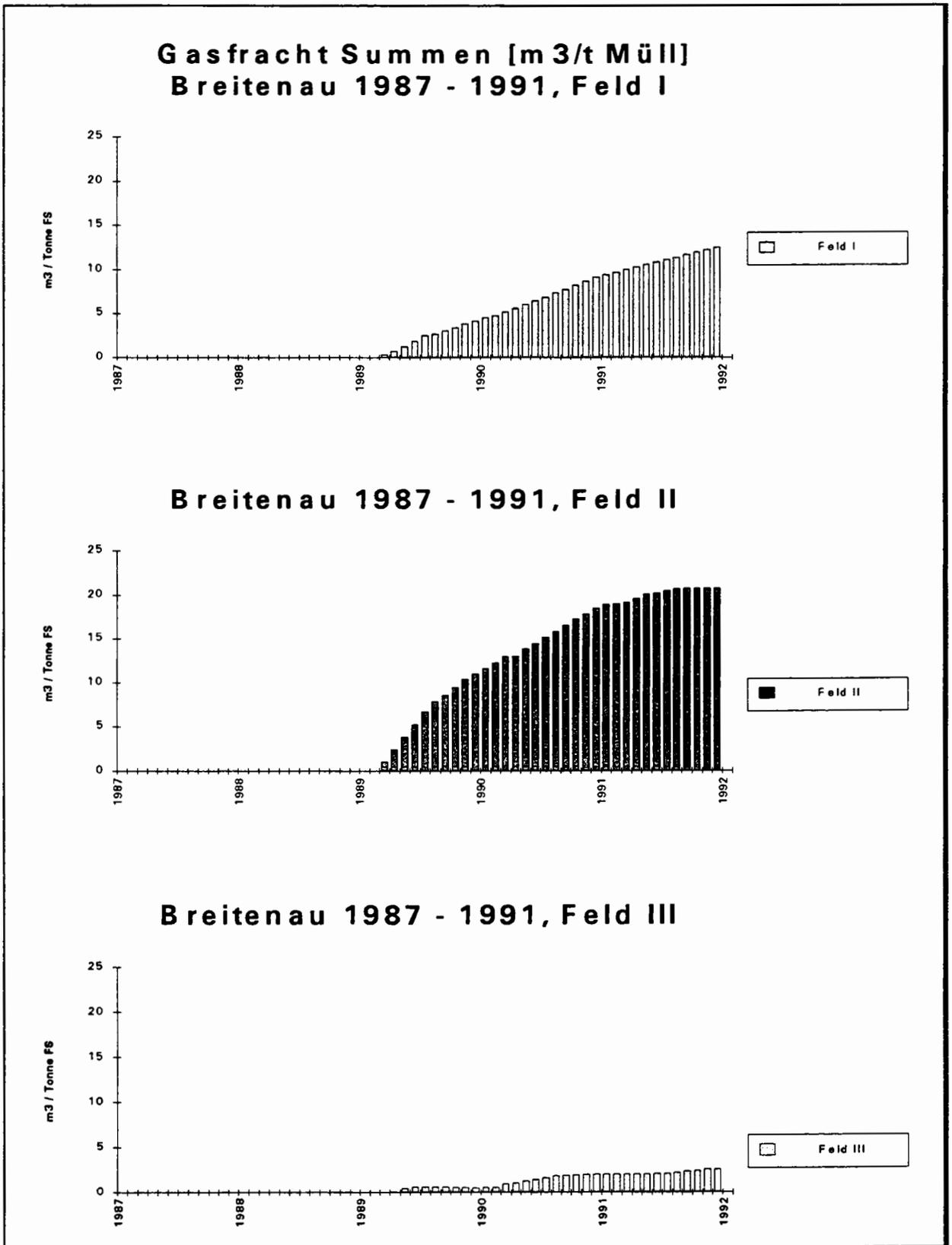


Abb. 10: Gasproduktion pro Tonne Müll (Summenlinie).  
Versuchsdeponie Breitenau, Deponiefelder I - III,  
Beobachtungszeitraum 1989-1991.

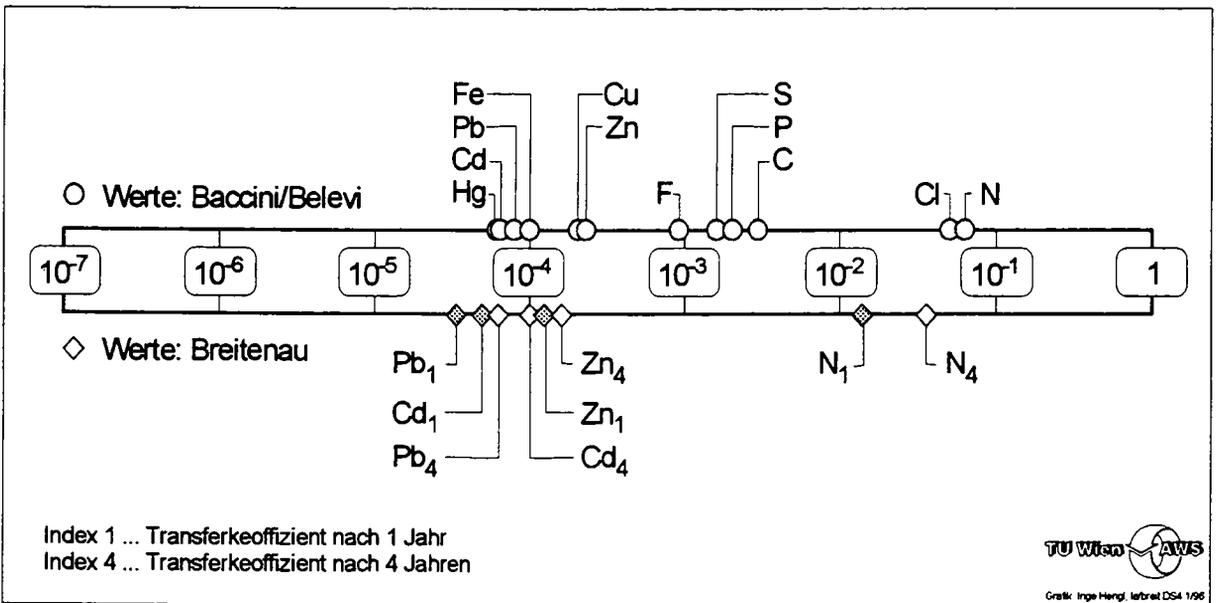


Abb. 11: Vergleich der Transferkoeffizienten für Feld II der Versuchsdeponie Breitenau mit Angaben von BACCINI et al (1987) für Hausmülldeponien mit einem Alter von 10 Jahren

sprechen auch die in Feld III im Vergleich zu den anderen Feldern geringfügig höheren und stärker schwankenden CSB-Konzentrationen im Sickerwasser. Weiterführende Aussagen sind auch hier erst nach einer Auswertung der Meß- und Analysedaten 1992 bis 1995 möglich.

### 7. Stoffbilanz der Deponie

Zur Bestimmung des Stoffhaushaltes einer Reaktordeponie werden Stoffeintrag in die Deponie (Abfälle), Stoffaustrag über Deponiegas und Sickerwasser und Lagerveränderung bestimmt. Der Quotient aus Stoffinput (Masse x abgeschätzte Stoffkonzentrationen des eingebauten Hausmülls) und Stoffoutput (Sickerwassermengen x gemessene Stoffkonzentrationen im Sickerwasser, für Deponiegas war eine derartige Bilanzierung auf Grund der schlechten Datenlage nicht möglich), ergibt für jeden betrachteten Stoff den sogenannten Transferkoeffizienten. Der Transferkoeffizient beschreibt den Transfer eines Stoffes aus dem Abfall in das Sickerwasser ( $k_{S\text{IWA}}$ ) bzw. in das Deponiegas ( $k_{GAS.}$ ), d.h. er gibt an, wieviel des Inputs eines Stoffes die Deponie bis zum betrachteten Zeitpunkt verlassen haben. Die zeitliche Ent-

wicklung des Transferkoeffizienten wird als Transferfunktion bezeichnet ( $k = k(t)$ ).

Allgemein zeigen Stoffhaushaltsuntersuchungen an Reaktordeponien, daß Kohlenstoff im wesentlichen über das Deponiegas aus der Deponie ausgetragen wird, während Metalle vor allem mit dem Sickerwasser ausgetragen werden. Diese Erkenntnisse wurden durch die Untersuchungen an der Versuchsanlage bestätigt. Neue Erkenntnisse konnten vor allem hinsichtlich des zeitlichen Verlaufes der Transferfunktionen gewonnen werden, die Transferkoeffizienten für Feld II der Versuchsdeponie Breitenau mit einem Alter von 4 Jahren entsprechen in etwa jenen einer 10 Jahre alten Hausmülldeponie (BACCINI et al, 1987).

### 8. Erkenntnisse, Interpretation

#### 8.1 Wasserhaushalt

Während der Schüttphase können durch ein möglichst rasches Verfüllen einzelner Deponieabschnitte mit sofortiger Deponieabdeckung die Sickerwassermengen stark reduziert werden. In Feld III mit der längsten Schüttdauer in der Anfangsphase (1987/88) sind große Sickerwassermengen - und damit auch Schadstofffrachten - freigesetzt worden. Diese für die Sickerwasserentsorgung günstige Gege-

benheit (geringe SIWA-Mengen) steht jedoch in Widerspruch zu der geforderten möglichst guten und gleichmäßigen Durchfeuchtung des Mülls als Voraussetzung für optimales Abbauverhalten in der Reaktordeponie.

Als maßgebliche Einflußgröße auf den Wasserhaushalt (Sickerwassermengen) abgeschlossener Deponien erwies sich die Oberflächengestaltung.

Die *Oberflächenabdeckung durch Kompost* mit anschließender Begrünung (Feld III) vermindert die Sickerwassermengen (17% des Niederschlages im Zeitraum 1989-1991) - zumindest im Pannonischen Klimaraum mit Niederschlagsmengen unter 750 mm - in gleichem Maße wie eine Abdichtung der Deponieoberfläche (Feld I) mit mineralischem Material (27% des Niederschlages). Eine *Oberflächenabdichtung* hat jedoch den Nachteil eines "vorprogrammierten Versagens" durch Setzungen des Deponiekörpers, zu einem nicht vorhersagbaren Zeitpunkt. Rißbildung und erhöhte Durchlässigkeit sind die Folge. 1991 stieg der Sickerwasseranfall in Feld I zufolge Rißbildung, wie Altersbestimmungen am Sickerwasser zeigten (RIEHL und LECHNER, 1995), auf 29% des Niederschlages, während er bei Feld III auf 11% sank

Die *Kombination aus leicht durchlässigem Boden* (im konkreten Fall Wandkies) und *geringer Pflanzenbedeckung*, wie sie bei Feld II vorliegt, ist bezüglich Sickerwasserbildung die ungünstigste Art der Oberflächengestaltung (Sickerwasseranfall 45% vom Niederschlag bzw 35% im Jahr 1991).

## 8.2 Sickerwasserinhaltsstoffe

Die Konzentrationen im Sickerwasser nehmen mit zunehmender Lagerungsdauer deutlich ab. Eine derart rasche Konzentrationsabnahme ist einerseits durch extreme Intensivierung der Abbauprozesse in der Reaktordeponie zu erklären, wobei sich vor allem der sorgfältige Einbau (Ablagerung ausschließlich von Hausmüll, Zugabe von Einbauwasser) sehr positiv ausgewirkt hat. Einfluß hat aber andererseits auch der rasche Deponieabschluß nach

weniger als einem Jahr - herkömmliche Deponien werden über wesentlich längere Zeiträume geschüttet.

Die Kreislaufführung zeigte keinen positiven Einfluß auf die Sickerwasserzusammensetzung. Durch den Stoffrücktransport blieben die Konzentrationen im Gegenteil sogar höher. Die Stickstoffbelastungen des nach Rückpressen austretenden Sickerwassers (Feld II und III) liegen höher als die von ausschließlich durch Niederschlagswasser gebildetem Sickerwasser (Feld I). Diese Aussage muß durch Analysen ab 1992 noch bestätigt werden. Bei Feld III wird der Effekt möglicherweise auch durch die andere Müllzusammensetzung (Hausmüll Graz) verstärkt.

Trotzdem wurden in allen Feldern nach 2-3 Jahren CSB-Konzentrationen erreicht, die nach Literaturangaben nach frühestens 6-8 Jahren erreichbar sind (Abb. 12).

Ob die Konzentrationsabnahme im Sickerwasser tatsächlich auf günstigere Abbaubedingungen im gesamten Deponiekörper zurückzuführen ist, oder ob durch die Ausbildung bevorzugter Sickerwege nur örtliche Bereiche durchströmt und dadurch intensiv abgebaut und ausgelaugt wurden, kann erst nach dem geplanten Aufgraben des Deponiefeldes II mit Sicherheit geklärt werden.

Die starke Konzentrationsabnahme der milieuhängigen Parameter (z.B. CSB), bei nur geringem Absinken der Konzentrationen jener Parameter die physikalischen bzw. chemischen Lösungsvorgängen unterworfen sind (z.B. Leitfähigkeit, Stickstoff) lassen eher großräumigen Abbau vermuten. Beim Durchströmen einzelner Bereiche durch großen Wassermengen müßten verschiedene Parameter, wie beispielsweise die Leitfähigkeit wesentlich stärker abnehmen. Dieser Effekt zeigt sich 1991 in Feld I. Bei Feld III könnten die höher bleibenden Konzentrationen auch auf die Sickerwasserkreislaufführung zurückzuführen sein. Dagegen spricht allerdings der parallele Verlauf in Feld II, in dem seit Juli 1990 nicht mehr rückgepreßt wird.

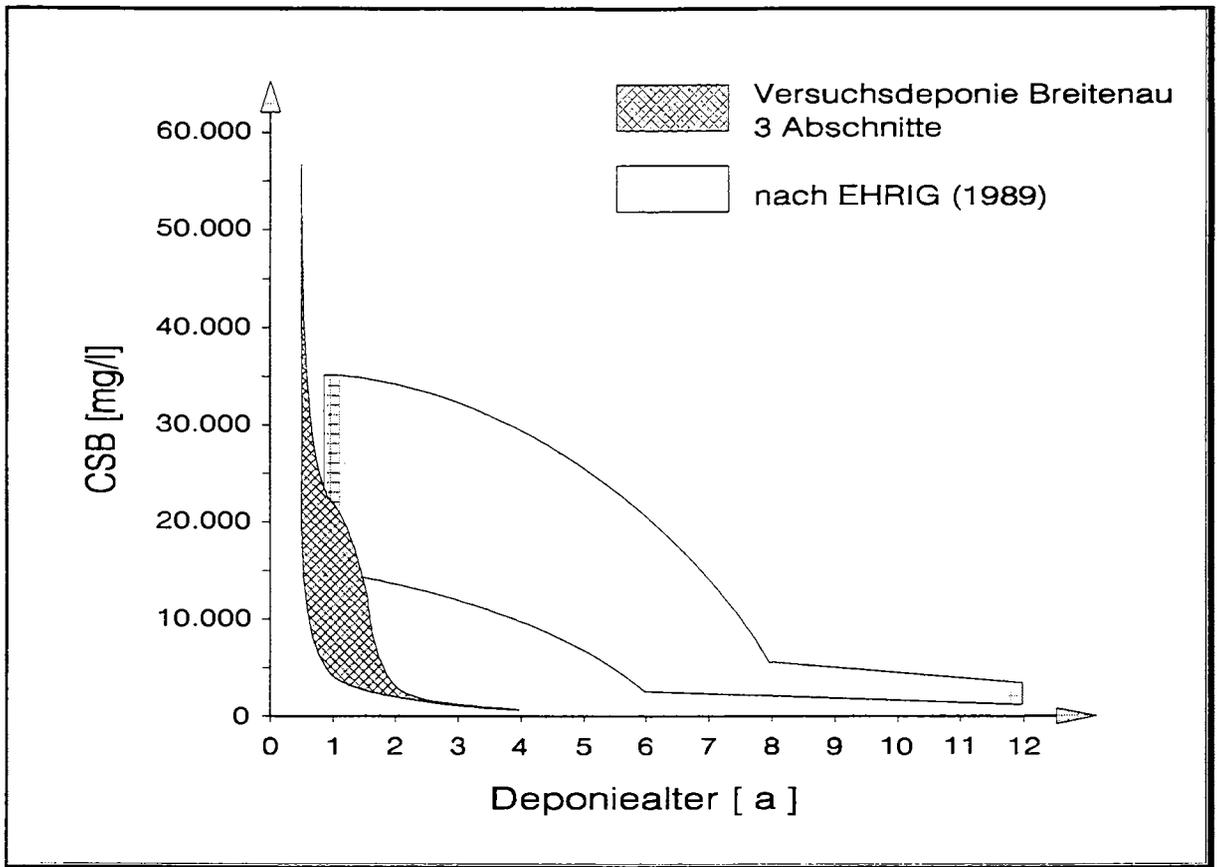


Abb. 12: Sickerwasserkonzentrationen in Abhängigkeit vom Deponiealter - Vergleich der Versuchsdeponie Breitenau mit Literaturangaben (EHRIG, 1989).

Auf die Ausbildung von bevorzugten Sickerwegen lassen die stark schwankenden Temperaturen in Feldmitte von Feld I und II schließen. Hier dürften bevorzugte Sickerwege direkt am Temperaturfühler vorbeiführen, wodurch Niederschlagsereignisse starke Temperaturabnahmen hervorrufen.

Auch die eher geringe Gasproduktion - die Mengenaufzeichnung ist allerdings stark fehlerbehaftet - läßt örtliche Sickerwege wahrscheinlicher erscheinen als gleichmäßigen Abbau im gesamten Deponiekörper.

### 8.3 Gashaushalt

Für das Erreichen der „stabilen“ Methanphase (angezeigt durch ein  $BSB_5/CSB$ -Verhältnis  $< 0,1$ ) zeigt sich ein positiver Einfluß der Sickerwasserkreislaufführung. Bereits nach 24 Monaten (Feld I) bzw. 16-18 Monate (Feld III und II) liegt das Verhältnis unter  $0,1$ . BAUMANN 1985 gibt für Deponien mit Sickerwasserkreislaufführung einen Zeitraum von

4-7 Jahren bis zum Eintreten der „stabilen“ Methanphase an.

Feld III zeigt den raschesten Übergang zur „stabilen“ Methanphase. Da Feld II ein ähnliches Verhalten wie Feld III zeigt, ist die unterschiedliche Müllzusammensetzung alleine (im Feld III ist zerkleinerter Grazer Müll eingebaut) keine Erklärungsmöglichkeit. Das unterschiedliche Verhalten kann auf eine bessere Durchfeuchtung bzw auf aerobe Milieubedingungen über einen längeren Zeitraum nach dem Einbau - bedingt durch den langsameren Mülleinbau - und das sich daraus ergebende günstigere Abbauverhalten im Deponiekörper zurückzuführen sein. Eine Verstärkung dieses Effektes könnte durch eine entsprechende Vorbehandlung des Hausmülls erreicht werden. Dadurch wird die Phase der Hydrolyse und Versäuerung vorweggenommen; rascheres Erreichen der „stabilen“ Methanphase und geringere Sickerwasserkonzentrationen sind die Folge. Bei längerer

biologischer Vorbehandlung kann auch die Gasbildung beträchtlich vermindert werden.

Die Unterschiede zwischen Feld I und den beiden anderen können durch schlechteres Abbauverhalten bedingt durch raschere Müllschüttung (schlechtere Durchfeuchtung, aerober Abbau nur sehr kurzzeitig) erklärt werden. SIWA-Kreislaufführung als mögliche Ursache scheidet aus, da diese in den beiden ersten Jahren in allen Feldern parallel erfolgte.

Eine weitergehende Beurteilung der SIWA-Kreislaufführung kann erst nach einigen weiteren Beobachtungsjahren erfolgen. Vor allem der Einfluß auf die Sickerwassermengen und die Gasproduktion konnte noch nicht geklärt werden. Feld II und Feld III wurden mit Sickerwasserkreislauf geführt. Bis 1990 lieferte Feld II große Gasmengen, Feld III dagegen äußerst geringe; wegen der späten Inbetriebnahme der Zwangsentgasung fehlen hier allerdings 20 Monate Gaserfassung. Feld I ohne Kreislaufführung zeigt 1991 immer noch beträchtliche Gasproduktion. Seit 1991 erfolgt eine Sickerwasserkreislaufführung nur noch in Feld III; damit ergibt sich die Möglichkeit mit Hilfe der Meßwerte nach 1991 noch offene Fragen betreffend Sickerwasserkreislaufführung zu beantworten.

## 9. Literatur

- BACCINI P. et al. 1987: Water and Element Balances of Municipale Solid Waste Landfills. In: Waste Management and Research 5, pp 483-299, 1987.
- BAUMANN W. 1985: Minimierung und langfristige Abschätzung von Sickerwasseremissionen aus Hausmülldeponien. INFU Werkstattreihe Heft 15, Institut für Umweltschutz der Universität Dortmund, 1985.
- EHRIG H.-J. 1980: "Beitrag zum quantitativen und qualitativen Wasserhaushalt von Mülldeponien" Veröffentlichungen des Institutes für Stadtbauwesens der TU Braunschweig, Heft 26, 1980.
- EHRIG H.-J. 1989: Water and Element Balances of Landfills. In: Lecture Notes in Earth Sciences. Vol. 20. Baccini, P. (Ed.). 1989.
- RANK D., PAPESCH W. und RAJNER V. 1995: Environmental Isotopes Study at the Research Landfill (Breitenau, Lower Austria). In: Extended Synopses: International Symposium on Isotopes in Water Resources Management, 301/301, Wien (IAEA), 1995.
- RIEHL-H G., LECHNER P. et al 1995: Hausmüllversuchsanlage Breitenau Untersuchungen zum quantitativen und qualitativen Wasserhaushalt (1986-1991). Hrsgb. Bundesministerium f. Land und Forstwirtschaft (1995).



## DISKUSSION :

### Wasserhaushalt und Emissionssituation am Beispiel der Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau

HENRICH: Ich habe eine technische Frage. Ich habe wahrscheinlich überhört, wie die einzelnen Felder gegeneinander abgedichtet sind. Auch durch Folien ?

BINNER: Ja, sie sind durch Folien abgedichtet.

LAGERKVIST: Bei der Bezeichnung "stabile" Methangärung habe ich Bedenken, da es sich ja um verschiedene Milieus in verschiedenen Teilen dieses Mülls handelt. Man könnte eher von einer dominierenden Methangärung sprechen. Wenn man will, daß diese schnell einsetzt, gibt es verschiedene Methoden. Ihre Ergebnisse zeigen, daß die Belüftung die effektivste Maßnahme ist und das hat sich auch in vielen anderen Fällen gezeigt. Es gibt bereits 1991 eine Doktorarbeit in Hamburg, wo man das systematisch in großem Maßstab auf Deponien untersucht hat und es hat sich gezeigt, daß man sofort Methanbildung hat, wenn man eine kompostierte Bodenschicht verwendet. Das kann man also durch technische Maßnahmen beeinflussen. Zu diesen fehlenden Daten über die Gasmenge könnte man vielleicht mit einer Feststoffprobenahme durch alle Profile Ergebnisse bekommen.

BINNER: Ich glaube eher nicht, daß das gehen wird. Wenn ich mir überlege, welche Probleme wir schon im Kompost aufgrund der Probeninhomogenität mit Massenbilanzen haben um allein den organischen Abbau zu bestimmen, so wage ich es auszuschließen, daß wir durch chemische Analysen von Festproben aus der Deponie tatsächlich eine Bilanz machen können. Man kann sicherlich abschätzen, wie weit ist der Streubereich, wie schaut

das Material jetzt aus, wieviel organische Substanz ist in etwa abgebaut worden. Aber eine Bilanz selbst kann man sicher nicht erstellen.

LAGERKVIST: Muß man da vielleicht die ganze Anlage ausräumen ?

BINNER: Ja, man müßte die ganze Anlage ausräumen, durch eine Mühle schicken und dann analysieren. Zu ihrer ersten Anmerkung mit der biologischen Vorbehandlung: das ist sehr richtig, wir schlagen heute nicht mehr vor, die Reaktordeponie so aufzubauen, wie wir es in Breitenau versucht haben, das war Wissensstand 1986. Wir stehen heute auf dem Standpunkt, daß eine biologische Vorbehandlung des abzulagernden Materials unbedingt erforderlich ist. Damit kann ich die saure Phase aus der Deponie auslagern, d.h. die CSB-Konzentrationen, die Schadstoffkonzentrationen, die über das Sickerwasser ausgetragen werden, können minimiert werden. Und natürlich können dann auch die Gasemissionen dann, sehr stark minimiert werden, das hängt aber von der Zeitdauer der biologischen Behandlung ab. Salzburg-Siegerwiesen zeigt, daß 3 Wochen Vorbehandlung für die Stabilisierung des Materials zu wenig sind, daß aber 3 Wochen für die Vorwegnahme dieser sauren Phase sehr gut geeignet sind. Das Material beginnt dort sehr rasch und intensiv zu gasen. Will man die Gasproduktion verhindern, dann müßte man über wesentlich längere Zeiträume biologisch vorbehandeln. Man kommt da bestimmt in den Bereich von 4-6 Monaten, um das Gasemissionspotential um 95 % zu vermindern.

LAGERKVIST: Es gibt noch einen anderen Denkansatz: warum soll man überhaupt diese saure Phase überwinden? Man kann diese saure Phase nützen um die Methanproduktion zu vermindern oder sogar über einen langen Zeitraum zu verhindern. Wir haben in Luleau ein Versuchsfeld, das seit 1988 in die saure Phase ohne Methanproduktion getrieben worden ist. Wir nehmen das Sickerwasser, filtern es, und fangen das Methan sehr einfach ein. Da kann man auch die Schwermetalle sehr rasch auslaugen. Wir haben einen pH von 5,5 und 30 g bis 50 g COD und in diesem Milieu laugen sich viele Komponenten sehr rasch aus und dann bekommt man diese stabilisierten Rückstände.

BINNER: Sie laugen also sehr intensiv aus in der Anfangsphase und machen die Methanproduktion in einem 2.Schritt nebenbei.

RIEHL-H. Vielleicht darf ich ganz kurz zu ihren Ausführungen ergänzen: Ich glaube, daß noch jetzt nach dem sehr langen und intensiven Zurückpressen im Feld III trockene Bereiche von Flüssigkeiten erfaßt werden, denn dort steigt die Temperatur, bzw. sie bleibt länger oben, wir haben noch über 30 Grad im Feld III und unten noch höhere Temperaturen. Dort scheint zwar ein erster Bereich ganz früh begonnen zu haben, ein großer Bereich jedoch dürfte erst jetzt durch das intensive Zurückpressen von Wässern erfaßt sein, der durch die gute Abdeckung/-Vegetation noch trocken gewesen ist und jetzt nachziehen dürfte. Wir haben die hohen Temperaturen im Feld III, die sich länger halten, der besser zerkleinerte Müll ist scheinbar trocken gefallen und jetzt bekommt er wieder genug Wasser.

BINNER: Die wieder steigende Gasproduktion in Feld III deutet ja darauf hin.

RIEHL-H. Das wäre eine Interpretationsmöglichkeit. Ich möchte dazu noch kurz zur finanziellen Situation etwas sagen. Die ganze Versuchsanlage hat den Steuerzahler so gut wie nichts gekostet. Die Schüttung erfolgte durch die bauausführende Firma im Austausch zum Müllerlös. Allein die Untersuchungen wurden von der öffentlichen Hand getragen, und das waren über die gesamte Zeit 4 Mio.

Schilling, also das ist so gut wie gar nichts, wenn man es mit anderen Projekten vergleicht. Wir haben dann immer wieder aufmerksam gemacht, wir brauchen zumindest 500.000,-- Schilling im Jahr, aber das wurde nicht bewilligt. Alle haben dauernd von unserem Finanzbedarf gewußt und es wurde nicht bewilligt. Ich möchte sagen, daß das eher eine Verhinderungsstrategie ist, sodaß die Versuchsanlage Breitenau nicht weiterlaufen soll, eventuell von politischer Seite, ich kann es mir sonst nicht erklären. Das ist eine sehr komplexe Angelegenheit.

TUFAR: Beim Müll geht es ja um sehr viel Geld.

RIEHL-H. Es geht um sehr viel Geld und niemand will wissen, was wirklich genau drinnen ist. Das ist sicher für viele eine Strategie, die sehr nahe liegt. Das ist genau dasselbe, wie bei der Inertisierung, daß es da genug viele gibt, die das gerne möglichst lange hinauszögern wollen.

VORTISCH: Trotzdem sollte man jetzt darauf hinweisen, daß die Versuchsanlage Breitenau besser und funktioneller gebaut worden ist als die meisten Deponien Ende der Achziger, Anfang der Neunzigerjahre. Ich möchte hier noch einen Vermerk zur Diagenetischen Inertisierung machen, denn der total andere Gedanke ist, den Schadstoffbinder mit dem Schadstoffgeber so zu vermengen, daß es überhaupt keine langen Transportwege mehr geben kann und dadurch auch keine Konzentrationssteigerung. Bei gleichzeitig wesentlich günstigerem Verhältnis zwischen Schadstoffgeber und Schadstoffbinder als in jeder anderen Deponie. Der Anteil an wirksamer mineralischer Substanz ist bei der Diagenetischen Inertisierung ein Vielfaches im Verhältnis zu einer konventionellen Deponie. Trotzdem geht kein Deponieraum verloren.

BINNER: Ich gebe Ihnen recht, wenn es sich um vorbehandelte Abfälle handelt.

GRAFENEDER: Ich hätte noch eine Frage zur Gasemission. Sind nach der Abdeckung die Konzentrationswerte der Restemissionen an der Oberfläche untersucht worden?

BINNER: Wir haben in der Oberflächenabdeckung Gasmessungen durchgeführt und immer wieder Methan festgestellt bis in Bereiche von etwa 20-30 % sowie Sauerstoffzehrung, wobei ich die detaillierten Werte hier nicht verfügbar habe. Es wurden Messungen in allen drei Feldern vorgenommen, wobei wir in Feld I, wo Schluffabdichtung war, besondere Probleme gehabt haben, die Sonden zu setzen.

GRAFENEDER: Das waren also die Methankonzentrationen bis etwa 30 %. Mich würde aber interessieren, welche Gasmengen da ausgetreten sind. Gängig ist da  $l/m^2/h$ .

BINNER: In dieser Richtung wurden keine Messungen durchgeführt. Wir haben nur mittels Sondenentnahme Gasproben auf ihre Zusammensetzung untersucht um zu schauen, ob überhaupt Deponiegas in die Abdeckungsschicht eindringt.

*Diskussionsbeiträge von:*

*GRAFENEDER*

*Dr. W. HENRICH*  
*Vöslauer Heilquellenverwertungs AG*  
*Paitzriegelgasse 2*  
*A - 2540 Bad Vöslau*

*Dr. A. LAGERKVIST*  
*Lulea Univ. of Technology*  
*The Landfill Group*  
*S-971 87 Lulea, Schweden*

*Dr. G. RIEHL-HERWIRSCH*  
*Institut für Geologie*  
*TU - Wien*  
*Karlsplatz 13*  
*1040 Wien*

*Prof. Dr. W. TUFAR*  
*Philipps-Univ. Marburg,*  
*Fachbereich Geowissenschaften*  
*Hans-Meerwein-Straße*  
*D-35032 Marburg/Lahn*

*Prof. Dr. W. VORTISCH*  
*Inst. f. Prospektion u. angew. Sedimentologie*  
*Montanuniversität Leoben*  
*A - 8700 Leoben*



G E O S C H U L E P A Y E R B A C H

BARBARA-GESPRÄCHE  
Payerbach 1995

Isotopische Charakterisierung von Müllsickerwässern  
und die Verfolgung der Wasserbewegung  
in der Versuchsdeponie Breitenau  
(Südliches Wiener Becken)

D. RANK, W. PAPESCH



**INHALT**

Zusammenfassung	259
1 Einleitung	259
2 3H-Gehalt der Müllsickerwässer (Überlauf)	261
3 2H- und 18O-Gehalt der Müllsickerwässer (Überlauf)	262
4 Auswirkung von Niederschlagsereignissen nach dem Undichtwerden der Abdeckung von Feld I	264
5 Isotopenverhältnisse der Sickerwässer unter der mineralischen Basisdichtung	265
6 <sup>13</sup> C-Untersuchungen am gelösten anorganischen Kohlenstoff	266
7 Isotopenuntersuchungen am Deponiegas	266
8 Schlußfolgerungen und Ausblick	267
Literatur	269
Diskussion	271

*Anschrift der Verfasser:*

*HR Dr. Dieter RANK  
Dipl.Ing. W. PAPESCH  
BFPZ-Arsenal  
Geotechnisches Inst., Abt. Geohydrologie  
Arsenal - Obj. 214  
Faraday Gasse 3  
A - 1030 Wien*

# Isotopische Charakterisierung von Müllsickerwässern und die Verfolgung der Wasserbewegung in der Versuchsdeponie Breitenau (Südliches Wiener Becken)

D. RANK, W. PAPESCH

## Zusammenfassung

*Isotopenuntersuchungen ( $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ) an Sickerwässern der Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau Wien geben Einblick in Einzelheiten der Sickerwasserbewegung im Deponiekörper. Von besonderem Interesse sind dabei der Durchgang von Sickerwasser durch die mineralische Dichtungsschicht an der Basis der Deponie und der Mechanismus, wie Niederschlagswässer in Abhängigkeit von der Art der Abdeckung der Deponie den Müllkörper passieren. Als Isotopensignale für die Untersuchungen bieten sich der erhöhte Tritiumgehalt des Sickerwassers (bis 3000 TE) - verursacht durch eine offensichtlich mit dem Müll abgelagerte Tritiumquelle - sowie die starke Deuteriumanreicherung im Sickerwasser als Folge der Methanproduktion an ( $\delta^2\text{H}$ -Werte steigen um 30-40 ‰ an). Da die Isotopenverhältnisse Moleküleigenschaften des Wassers sind, charakterisieren sie die tatsächliche Bewegung des Wassers (Stofftransport) und werden nicht wie gelöste Stoffe von Adsorption und Desorption beeinflusst.*

*Wichtigste methodische Erkenntnis der Isotopenuntersuchungen in Breitenau ist, daß Deponie-sickerwässer und auch Deponiegase durch ihre Isotopenverhältnisse eindeutig charakterisiert sind. Damit lassen sich Sickerwasseranteile im Grundwasser ebenso wie migrierende Deponiegase über Isotopenuntersuchungen identifizieren.*

## 1. Einleitung

Hauptthemen des Forschungsprojektes "Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau" sind der Einfluß von Müll-verfüllten Kiesabbaugruben auf das Grundwasser, die Eignung von Schlämmrückständen aus der Kieswäsche als Grundwasserschutzschicht und der Einfluß der Deponieabdeckung und der Oberflächengestaltung auf den Wasserhaushalt (RIEHL-HERWIRSCH et al. 1995). Die Anlage mit einer abgelagerten Gesamtmenge von ungefähr 100.000 t Hausmüll umfaßt drei voneinander weitgehend unabhängige Deponiefelder, die sich durch unterschiedliche Abdeckungsarten - unterschiedlicher Niederschlagseinfluß - sowie

durch das Vorhandensein oder Fehlen einer mineralischen Dichtungsschicht an der Basis unterscheiden (Abb. 1).

In Feld I und II wurde ein Schluff-Ton-Kies-Gemisch als Basisabdichtung eingebaut. Die Kontrolle der Dichtwirkung erfolgt über eine darunterliegende Drainage, die ihrerseits auf einer Kunststoffdichtungswanne verlegt ist. In Feld I fand ein ähnliches Schluff-Ton-Kies-Gemisch als Oberflächenabdeckung Verwendung. Die Abfallablagerung wird in ihrem Langzeitverhalten sowohl bei vollkommener Einkapselung (Feld I) als auch in Form der "Reaktordeponie" (Feld II, Umsetzungen unter Wasserzutritt) unter natürlichen Randbedin-

gungen untersucht. Die Anlage ermöglicht eine vollständige Erfassung der milieubedingten Reaktionen und der Reaktionsprodukte - Deponiegas und Deponiesickerwasser. Die Untersuchungen sollen eine objektive Aussage über das tatsächliche Gefährdungspotential von Abfallablagerungen in diesem Klimaraum (Mitterndorfer Senke) ermöglichen.

Seit der Errichtung der Versuchsdeponie Breitenau wurden dem Sickerwasser wöchentlich Proben entnommen und in gefrorenem Zustand gelagert. Auf der Basis dieses Probenmaterials bot sich die einmalige Gelegenheit, die zeitliche Entwicklung der Isotopenverhältnisse im Deponiewasser seit dem Einbau des Mülls zu verfolgen, so z.B. während des Überganges von der sauren Gärung zur Methanphase (Anstieg des <sup>2</sup>H-Gehaltes des Deponiewassers). Eine offensichtlich mit dem Müll abgelagerte Tritiumquelle führte zusätzlich zu einer starken Tritiummarkierung des Deponiewassers (bis 3000 TE). Infolge der

zeitweiligen Rückpressung von Sickerwasser in die Deponie dürften jetzt weite Bereiche des Müllkörpers in den drei Feldern mit Tritium markiert sein. Das Deponiewasser unterscheidet sich damit in den Isotopenverhältnissen signifikant vom Niederschlagswasser und vom Einbauwasser der Basisdichtung.

Ziel der Isotopenuntersuchungen sind einerseits Aussagen über den Durchgang von Deponiewasser durch die mineralische Dichtungsschicht an der Basis der Deponie und andererseits über den Mechanismus, wie das Wasser von einzelnen Niederschlagsereignissen in Abhängigkeit von der Art der Abdeckung der Deponie den Müllkörper passiert. Diese Kenntnis der Wasserbewegung im Deponiekörper ist eine Voraussetzung für das Verständnis des Stoffumsatzes in der Versuchsanlage. Methodische Untersuchungen zur Isotopenfraktionierung ergänzen das Meßprogramm.

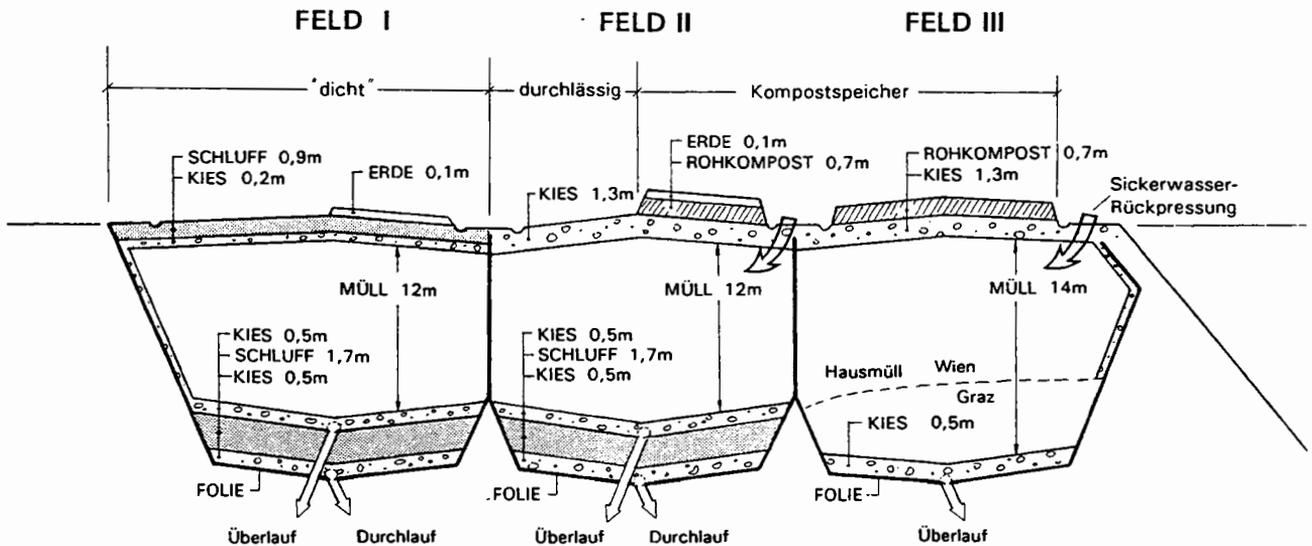


Abb. 1: Schematischer Aufbau der drei Versuchsfelder der Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau (RIEHL-HERWIRSCH et al. 1995).

1991 wurde mit einer Isotopenübersichtsuntersuchung begonnen, die zunächst Wasserproben von jedem zweiten Monat umfaßte (Überlauf I, II, III = Sickerwasser an der Basis des eingebauten Mülls; Durchlauf I, II = Sickerwasser unter der mineralischen Dichtungsschicht). Für die  $^3\text{H}$ -Messung mußte ein Teil der Proben durch Schütteln mit Aktivkohle gereinigt werden. Für die Messung der stabilen Isotope wurden die Proben in einem Ultraschallbad 15 Minuten im Helium-Strom gereinigt. Dies sollte ein übermäßiges Entgasen der Probe im Massenspektrometer verhindern (RANK et al. 1992).

Die Interpretation der im Folgenden behandelten Isotopen-Zeitreihen wird dadurch erschwert, daß aus betrieblichen Gründen zeitweise eine Mischung aus dem Überlaufwasser aller drei Felder in den Müllkörper rückgepreßt worden ist - vor allem in Feld III - und daß bisher nur ein Teil der Wasserhaus-

haltsdaten verfügbar ist (RIEHL-HERWIRSCH et al. 1995). Weiters sind die Isotopenverhältnisse des Einbauwassers nicht bekannt.

## 2. $^3\text{H}$ -Gehalt der Müllsickerwässer (Überlauf)

Die Sickerwässer an der Basis des Müllkörpers weisen wesentlich höhere  $^3\text{H}$ -Gehalte auf (Abb. 2), als sie dem allgemeinen Verlauf des  $^3\text{H}$ -Gehaltes in der Umwelt entsprechen (siehe z. B. RANK et al. 1994). Der  $^3\text{H}$ -Gehalt des aktuellen Niederschlagswassers und auch der des Einbauwassers (= mit dem Schluff-Ton-Kies-Gemisch und mit dem Müll eingebrachtes Wasser) liegen 1-2 Größenordnungen unter diesen Werten. Offenbar wurde mit dem Hausmüll eine - bisher nicht identifizierte -  $^3\text{H}$ -Quelle in die Deponie ein-

gebracht. Als Quelle kommen in erster Linie Uhren oder andere Gebrauchsartikel mit Leuchtskalen in Frage. Die  $^3\text{H}$ -Konzentrationen im Sickerwasser stiegen auf über 3000 TE an (Feld III), und gingen in den folgenden Jahren durch den Einfluß von Niederschlagswasser und den radioaktiven Zerfall - Halbwertszeit: 12,43 a - langsam zurück. Eine überschlagsmäßige Abschätzung der bis 1993 ausgesickerten  $^3\text{H}$ -Gesamtmenge ergibt eine Größenordnung von  $0,5 \cdot 10^9$  Bq.

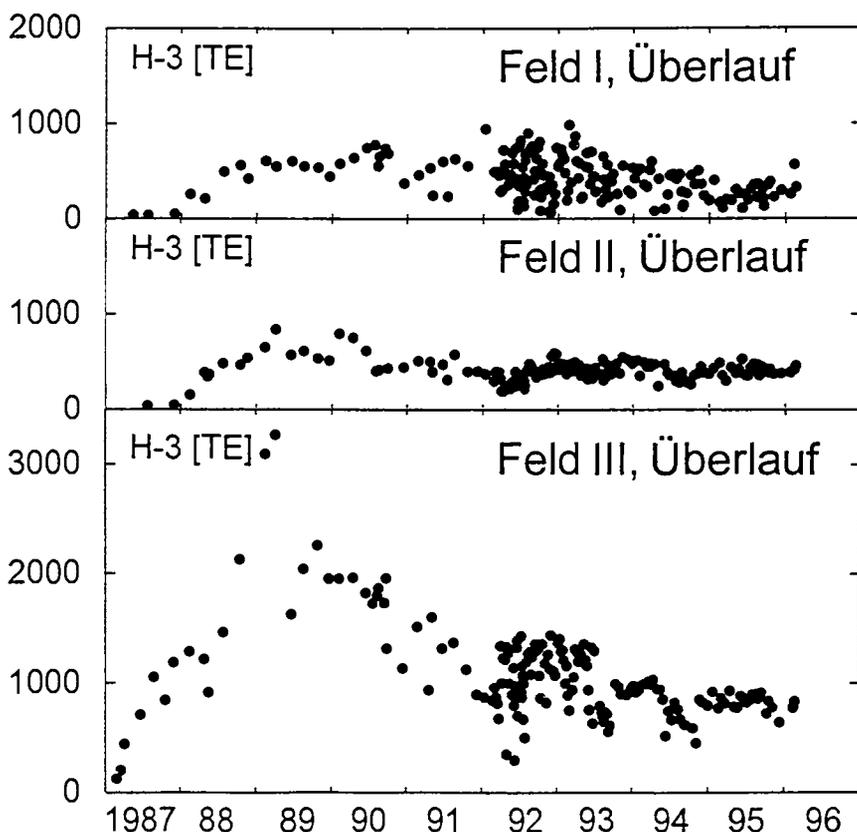


Abb. 2: Verlauf des  $^3\text{H}$ -Gehaltes des Sickerwassers in den drei Feldern der Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau (1 TE entspricht 0,118 Bq/kg für Wasser).

Die höheren  $^3\text{H}$ -Gehalte von Feld III und das spätere Auftreten erhöhter  $^3\text{H}$ -Konzentrationen im Sickerwasser der Felder I und II könnten darauf hindeuten, daß sich die  $^3\text{H}$ -Quelle in Feld III befindet und die anderen Felder erst durch Rückpressen von Sickerwasser mit Tritium kontaminiert worden sind. In jedem Fall dürften durch die Rückpressung von Sickerwasser seither weite Bereiche der Müllkörper in den drei Feldern mit Tritium markiert sein.

Auffällig sind die erhöhten Schwankungen des  $^3\text{H}$ -Gehaltes im Sickerwasser der Felder I und III ab 1991. Ursache hierfür ist das Undichtwerden der Abdeckung des Feldes I, wodurch  $^3\text{H}$ -arme Niederschlagswässer unmittelbar ins Sickerwasser gelangen (siehe Abschnitt 4). Durch Rückpressung des Überlaufwassers in das Feld III treten auch hier diese Schwankungen auf. Auch die Schwankungen vor 1991 sind zumindest zum Teil durch das Rückpressen verursacht. In Feld II - Reaktordeponie - dringen die Niederschlagswässer zwar rasch in den Deponiekörper ein, gelangen aber nicht wie bei Feld I seit 1991 über bevorzugte Wegigkeiten unmittelbar in den Drainagebereich unter dem Müllkörper.

Erhöhte  $^3\text{H}$ -Konzentrationen im Sickerwasser wurden auch bei anderen Deponien in Österreich gefunden. Bei der Deponie Seebensteinthal wurden Werte um 600 TE im Sickerwasser festgestellt (RANK et al. 1994). Wesentlich höhere Konzentrationen - um 5000 TE - hat BRUNNER (1992) im Sickerwasser einer Deponie im Ahrntal südlich von Innsbruck festgestellt, hier wurden wahrscheinlich  $^3\text{H}$ -hältige Industrieabfälle abgelagert. Es ist damit zu rechnen, daß bei der Mehrzahl der im letzten Jahrzehnt betriebenen Deponien erhöhte  $^3\text{H}$ -Konzentrationen auftreten. Die bis jetzt festgestellten  $^3\text{H}$ -Gehalte liegen aber alle weit unter der nach der Strahlenschutzgesetzgebung maximal zulässigen  $^3\text{H}$ -Konzentration für Trinkwasser (37.000 Bq/kg  $\approx$  3,2 · 10<sup>5</sup> TE).

### 3. $^2\text{H}$ - und $^{18}\text{O}$ -Gehalt der Müllsickerwässer (Überlauf)

Im zeitlichen Verlauf des  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehaltes fallen die charakteristischen Änderungen beim Übergang von der sauren Gärung zur Methanphase auf (Abb. 3, 4). Während davor das  $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Verhältnis des Sickerwassers dem von Niederschlagswässern entspricht, zeigen die Werte nach dem Übergang zur Methanphase eine starke  $^2\text{H}$ -Anreicherung. Die  $\delta^2\text{H}$ -Werte steigen um 30-40 ‰ an. Im  $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ -Diagramm liegen diese Werte oberhalb der Niederschlagsgeraden, hingegen die Anfangswerte - vor der Methanphase - im Bereich der Geraden (Abb. 5). Die niedrigen  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalte im Jahr 1987 sind aus der Herkunft des verwendeten Einbauwassers zu erklären (Jahresgang der Isotopenkonzentration in natürlichen Gewässern - Leitha).

Im längerfristigen Verlauf der Isotopenverhältnisse sind ebenso wie beim Tritium auch hier kurzzeitige Minima und Maxima bei den Feldern I und III ab 1991 zu erkennen (Abb. 6), die einem unmittelbaren Niederschlagseinfluß bzw. dem Rückpressen dieser Niederschlagswässer in Feld III zuzuschreiben sind (Abschnitt 4). Mit dem Rückgang der Methanproduktion und der zunehmenden Verdünnung des Deponiewassers durch Niederschlagswasser nimmt auch der  $^2\text{H}$ -Gehalt des Sickerwassers langsam ab und nähert sich langfristig dem Wert im Niederschlagswasser.

In den Langzeitverläufen scheint sich auch eine geringe anfängliche  $^{18}\text{O}$ -Anreicherung abzuzeichnen. Als Ursache kämen entweder biochemische Abbauprozesse oder Verdunstungseffekte bei den erhöhten Temperaturen im Müllkörper - bis 50°C - in Frage. Da die Isotopenverhältnisse des Einbauwassers nicht genügend genau bekannt sind, können hier keine endgültigen Schlüsse gezogen werden.

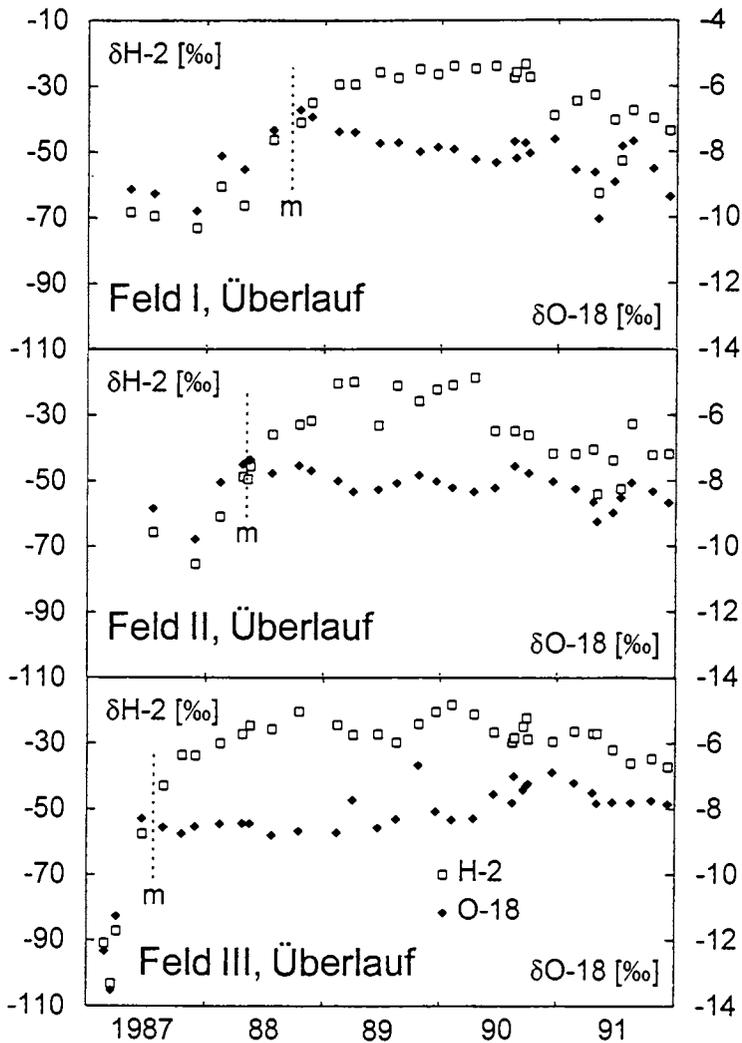


Abb. 3: Verlauf des  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehaltes des Sickerwassers in den drei Feldern der Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau bis 1991; m = Beginn der Methanphase.

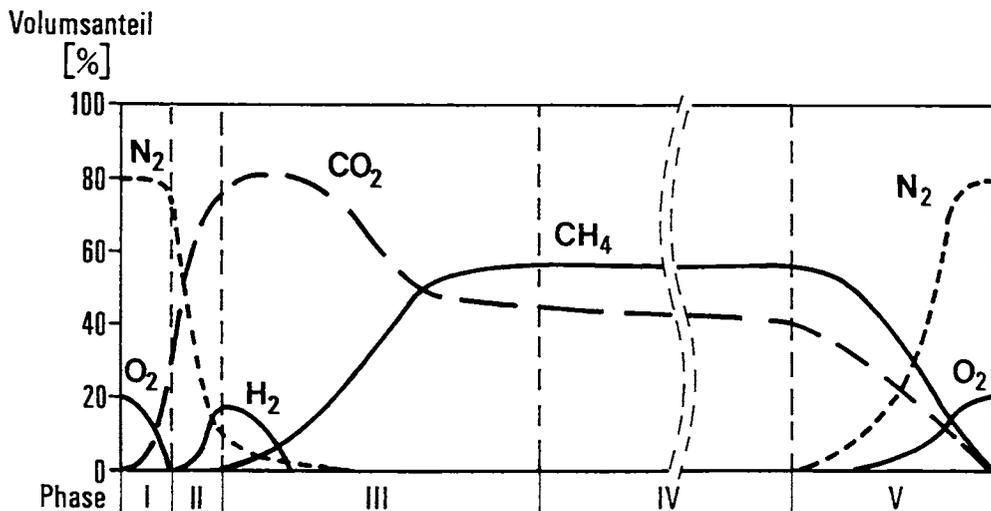


Abb. 4: Zusammensetzung des Deponiegases (schematisch). I: aerobe Phase, II: Phase der Hydrolyse und Versäuerung, III: Startphase der Methanbildung, IV: stabile Methanphase, V: Ausklingphase - Phase des Rückganges der biologischen Aktivität (nach LECHNER, LAHNER 1992).

#### 4. Auswirkung von Niederschlagsereignissen nach dem Undichtwerden der Abdeckung von Feld I

Mit der Rißbildung in der vorher "dichten" Deckschicht (Schluff-Ton-Kies-Gemisch) von Feld I und dem Anstieg der Sickerwassermengen im Jahr 1991 (RIEHL-HERWIRSCH et al. 1995) erhob sich die Frage nach der Wasserbewegung im Deponiekörper bei Niederschlagsereignissen. Verdichtete Probenahmen während einiger Perioden mit stärkeren Niederschlägen im Jahre 1992 brachten näheren Aufschluß. Der Verlauf des <sup>3</sup>H-Gehaltes im Sickerwasser von Feld I zeigt an, daß der Anteil des unmittelbar abfließenden Niederschlagswassers am Sickerwasser bis zu 90 %

betragen kann. (Abb. 7). Das Niederschlagswasser dringt offensichtlich über Risse in der Deckschicht rasch ein und gelangt über besonders durchlässige Bereiche - z.B. den den Müllkörper einhüllenden Kiesmantel - kurzfristig an die Basis des Deponiekörpers.

Auch im <sup>2</sup>H-Gehalt des Sickerwassers zeichnet sich der hohe Anteil an unmittelbar abfließenden Niederschlagswasser deutlich ab. Während das Isotopensignal im <sup>2</sup>H-Verlauf wegen der starken <sup>2</sup>H-Anreicherung im Deponiewasser verhältnismäßig groß ist, unterscheiden sich die <sup>18</sup>O-Mittelwerte von Deponiewasser und Niederschlag nur wenig, sodaß das <sup>18</sup>O-Signal der Einzelniederschläge im allgemeinen weniger ausgeprägt ist als das <sup>2</sup>H- und <sup>3</sup>H-Signal.

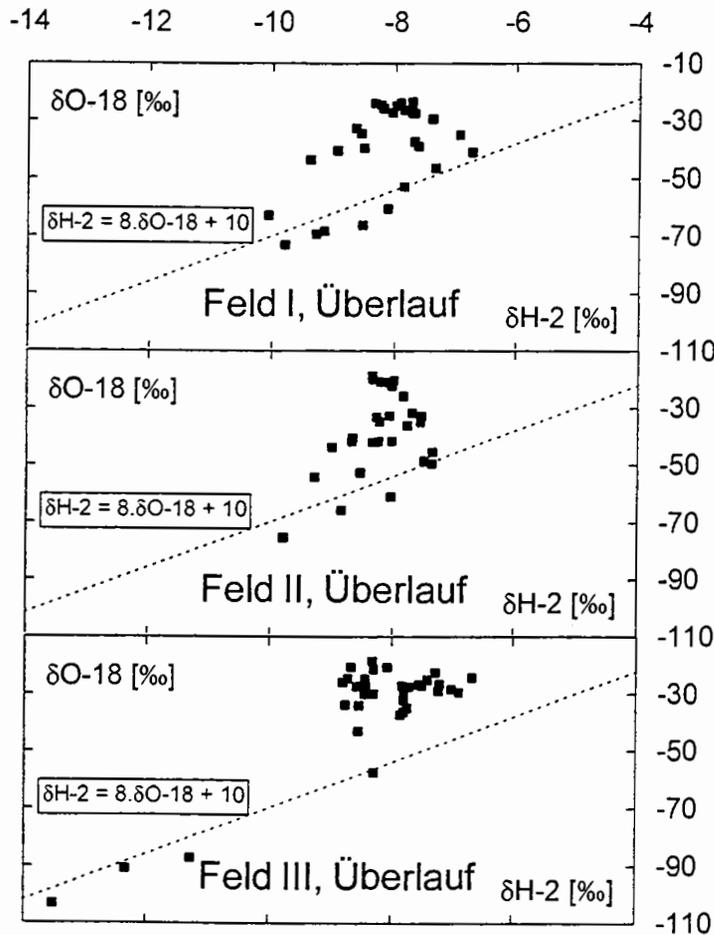


Abb. 5:  $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ -Beziehung der Müllsickerwässer (Proben bis 1991) der Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau mit eingetragener Niederschlagsgerader.

## 5. Isotopenverhältnisse der Sickerwässer unter der mineralischen Basisdichtung

Im  $^3\text{H}$ -Gehalt des Sickerwassers unterhalb der mineralischen Dichtungsschicht zeichnet sich deutlich die unterschiedliche Ausführung der Basisdichtung in den Feldern I und II ab (Abb. 8). Während sich bei Feld I mit der besseren Ausführung der Randbereiche der Basisdichtung der  $^3\text{H}$ -Gehalt des Sickerwassers bis 1993 kaum ändert (Einbauwasser) und das Sickerwasser erst ab diesem Zeitpunkt Anteile an  $^3\text{H}$ -markiertem Wasser aus dem Müllkörper enthält, steigt der Anteil an Müllsickerwasser bei Feld II bereits seit 1991 stetig an. Darüber hinaus treten im  $^3\text{H}$ -Verlauf von Feld II einzelne Spitzen auf. Dies deutet auf Undichtigkeiten hin, die fallweise - z.B. bei Überstauungen - kurzfristig wirksam werden. Inzwischen (1996) hat bei Feld II der  $^3\text{H}$ -Gehalt des Sickerwassers ungefähr den aktuellen  $^3\text{H}$ -Gehalt des Wassers im Müllkörper erreicht, sodaß nicht mit weiteren Spitzen im  $^3\text{H}$ -Ver-

lauf zu rechnen ist. In Zukunft könnten negative Spitzen auftreten.

Bei beiden Feldern ist ein langsamer Anstieg - in Feld II etwas rascher - des  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehaltes zu beobachten (Abb. 9). Dies dürfte hauptsächlich mit der unterschiedlichen Herkunft des beim Einbau der Basisdichtung bzw. des Mülls verwendeten Wassers zusammenhängen. Das beim Einbau des Schluff-Ton-Kies-Gemisches verwendete Grundwasser liegt im  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalt wesentlich niedriger als die aus den lokalen Niederschlägen gebildeten Wässer.

Inzwischen zeichnet sich bei Feld II auch - zuerst bei Stausituationen - die  $^2\text{H}$ -Anreicherung im Müllsickerwasser ab, die Werte liegen bereits über der Niederschlagsgeraden. Bei Feld I ist 1995 ebenfalls der erste Einfluß der  $^2\text{H}$ -Anreicherung zu erkennen. Das  $^2\text{H}$ -Signal ist gegenüber dem  $^3\text{H}$ -Signal entsprechend verzögert, weil die  $^2\text{H}$ -Anreicherung im Wasser des Müllkörpers erst mit Beginn der Methanphase auftritt, während die  $^3\text{H}$ -Markierung bereits vorher vorhanden ist.

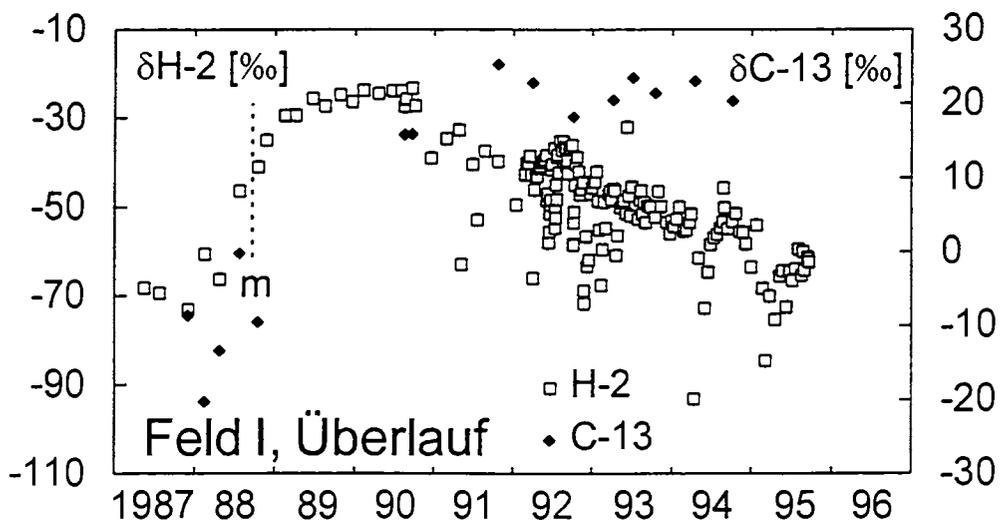


Abb. 6: Verlauf des  $^2\text{H}$ -Gehaltes des Sickerwassers und  $^{13}\text{C}$ -Gehaltes des gelösten anorganischen Kohlenstoffs an der Basis des Müllkörpers in Feld I (m = Beginn der Methanphase). Neben der Langzeitabhängigkeit von der Methanproduktion zeichnet sich im  $^2\text{H}$ -Gehalt deutlich der kurzfristige Einfluß von infiltrierenden Niederschlagswässern ab (RANK et al. 1995).

## 6. $^{13}\text{C}$ -Untersuchungen am gelösten anorganischen Kohlenstoff

Der  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert des Bikarbonates in unbeeinflussten Grundwässern bewegt sich um  $-10\text{‰}$ . Das aus dem beim Abbau organischer Stoffe (Fermentation der Essigsäure) entstehenden  $\text{CO}_2$  gebildete Bikarbonat weist hingegen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte um  $+20\text{‰}$  auf (ARNETH, HOEFS 1988). Die  $^{13}\text{C}$ -Werte beim Überlauf I zeigen die erwarteten Ergebnisse (Abb. 6). Auch beim Sickerwasser unter der Dichtungsschicht an der Basis von Feld II steigen die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte bis auf  $+20\text{‰}$  an (Abb. 8), hingegen liegt der  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert einer Sickerwasser-

probe von Feld I aus dem Jahre 1993 mit  $-12\text{‰}$  noch immer im unbeeinflussten Bereich.

## 7. Isotopenuntersuchungen am Deponiegas

Aus der starken Anreicherung des Deuteriums im Müllsickerwasser während der Methanphase ist zu schließen, daß ein erheblicher Anteil des Wasserstoffs des Methans aus dem umgebenden Wasser stammt. Die Bakterien verwenden bevorzugt den isotopisch leichteren Wasserstoff zur Methanproduktion. Zur Überprüfung dieser Schlussfolgerung wurden aus dem austretenden Deponiegas einige Proben

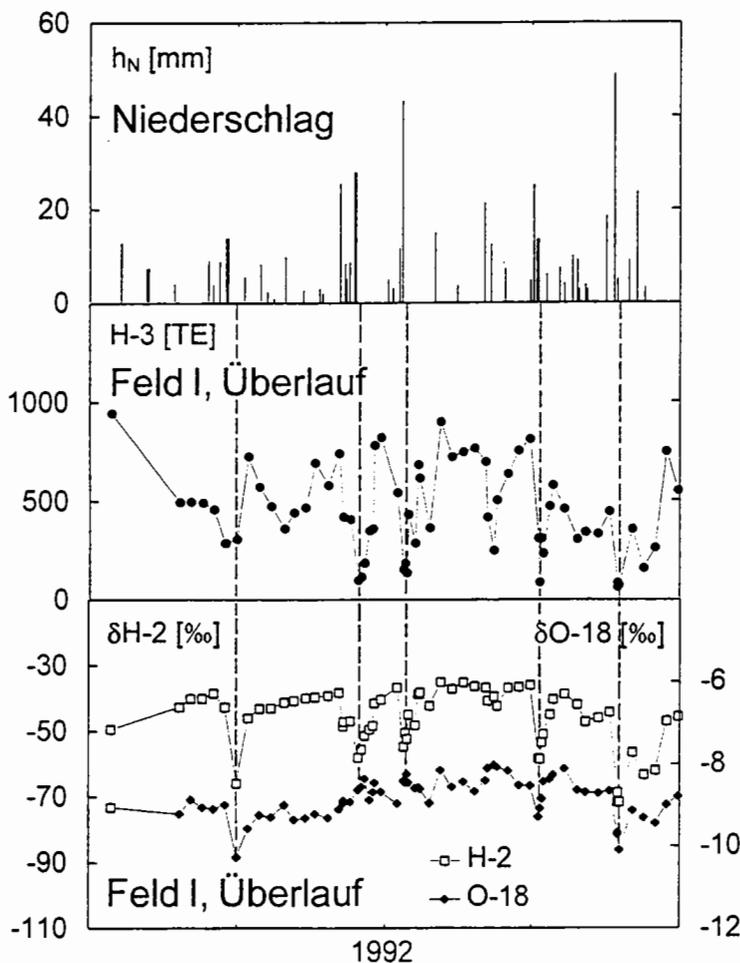


Abb. 7: Einfluß von Niederschlagsereignissen auf die Sickerwasserzusammensetzung in Feld I: tägliche Niederschlagshöhen,  $^3\text{H}$ -,  $^2\text{H}$ - und  $^{18}\text{O}$ -Gehalt des Sickerwassers (Überlauf) im Jahre 1992. Deutlich ist der unmittelbare Einfluß des Niederschlagswassers zu erkennen.

entnommen und untersucht (Tab. 1). Wie erwartet, liegen die  $\delta^2\text{H}$ -Werte sehr niedrig (um  $-290 \text{ ‰}$ ). Sowohl sie als auch der  $^{13}\text{C}$ -Wert des Methans liegen im Erfahrungsbereich für Deponiegase (HACKLEY et al. 1992). Überraschend hoch sind die  $^3\text{H}$ -Werte (800-1000 TE). Sie deuten daraufhin, daß der Wasserstoff des Methans zum überwiegenden Teil aus dem Deponiewasser stammt.

Die in Tabelle 1 enthaltene Probenreihe von Feld I wurde während einer Regenperiode

entnommen. Der Niederschlag scheint einen geringen unmittelbaren Einfluß auf die Isotopenzusammensetzung im Methan auszuüben - etwas niedrigere  $^2\text{H}$ - und  $^3\text{H}$ -Gehalte -, dieser Einfluß ist aber wesentlich geringer als der auf die Isotopenzusammensetzung im Sickerwasser (Abschnitt 4). Dieses Ergebnis bestätigt, daß das Niederschlagswasser im Feld I hauptsächlich über gut durchlässige Bereiche abfließt und nur wenig in den Müllkörper eindringt.

Datum	Feld	$\delta^2\text{H}(\text{‰})$	$^3\text{H}(\text{TE})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
1992-09-11	III	-	989 + 71	-
1992-11-03	II	-279,7	750 ± 26	-
1993-06-30	I	-297,7	825 ± 19	-38,57
1993-07-21	I	-284,7	794 ± 20	-
1993-07-22	I	-292,6	824 ± 21	-
1993-07-23	I	-290,7	805 ± 21	-
1993-07-26	I	-281,9	901 ± 23	-
1993-07-27	I	-304,2	851 ± 22	-
1993-07-29	I	-304,3	792 ± 21	-
1993-08-04	I	-291,1	860 ± 22	-

Tabelle 1: Ergebnisse von Isotopenanalysen an Methanproben aus der Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau

## 8. Schlußfolgerungen und Ausblick

Die Bestimmung der Wasserstoff-, Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope in Deponiewässern und -gasen hat sich als nützliches Werkzeug sowohl für die Untersuchung der Wasserbewegung und Gasbildung im Müllkörper als auch zum Nachweis von Grundwasserkontaminationen durch Müllsickerwässer und der Migration von Deponiegas erwiesen.

Die Versuchsdeponie Breitenau weist im Bereich der Umweltisotope einige Markierungen auf, die das Studium der Wasserbewegung im Deponiekörper und in der Basisdichtung ermöglichen. Sie sind teils zufälliger Natur ( $^3\text{H}$ -Markierung durch im Müll enthaltene  $^3\text{H}$ -Quelle), teils auf das beim Einbau der Basisdichtung verwendete Wasser zurückzuführen und teils während des Deponiebetriebes entstanden (starke Verschiebung des  $^2\text{H}$ -Gehaltes des Deponiewassers als Folge der

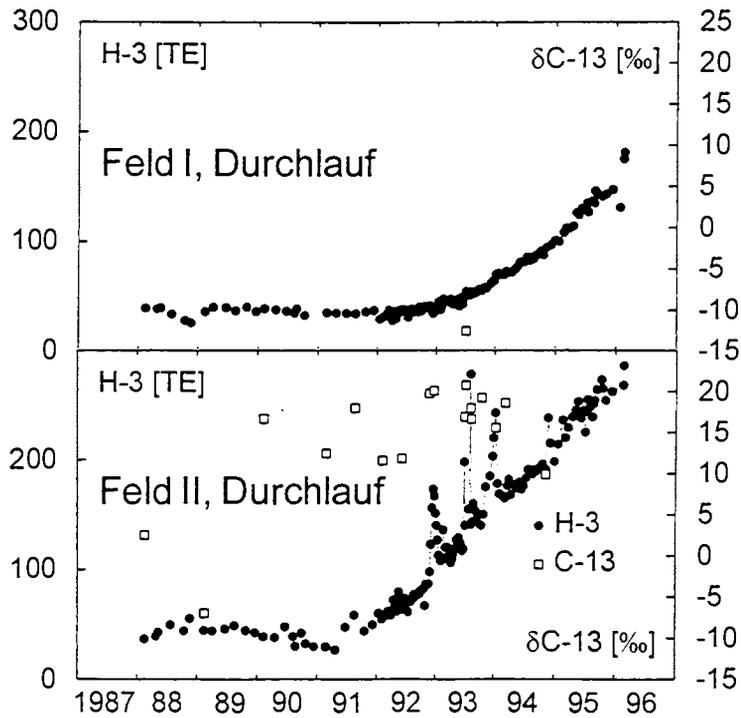


Abb. 8: Verlauf des  $^3\text{H}$ -Gehaltes des Sickerwassers und  $^{13}\text{C}$ -Gehaltes des gelösten anorganischen Kohlenstoffs unter der mineralischen Basisdichtung in den Feldern I und II der Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau.

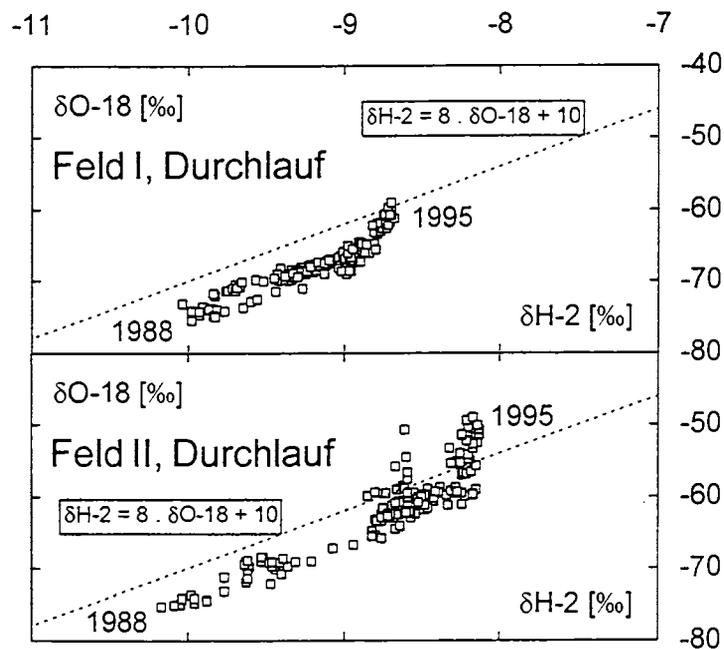


Abb. 9:  $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ -Beziehung der Sickerwässer unter der mineralischen Basisdichtung in den Feldern I und II der Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau mit eingetragener Niederschlagsgeraden.

Methanproduktion). Eindringendes Niederschlagswasser unterscheidet sich somit in mehreren Parametern eindeutig von den Deponiewässern.

Als weiterführende Arbeiten sind vorgesehen:

- Nähere Analyse der Anfangsphase 1987/88 der Deponie Breitenau durch Verdichtung der Datenreihen auf der Basis des gelagerten Probenmaterials,
- Eingehendere Auswertung der Isotopendaten durch Verknüpfung mit anderen Meßparametern - vor allem den Wasserhaushaltsdaten, sobald diese verfügbar sind,
- Untersuchungen zur Verweildauer des Wassers in einzelnen Deponiebereichen ("gasgetragene Sickerwasserspeicher"),
- Methodische Untersuchungen zur Isotopenfraktionierung an Hand eines Laborversuches (Behälter mit ungefähr 100 l Volumen).

## Literatur:

- ARNETH, J.D., HOEFS, J. 1988: Anomal hohe  $^{13}\text{C}$ -Gehalte im gelösten Bicarbonat von Grundwässern im Umfeld einer Altmülldeponie. - Naturwissenschaften 75, 515-517, 1988.
- BRUNNER, P. 1992: Persönliche Mitteilung.
- HACKLEY, K.C., LIU, C.L., COLEMAN, D.D. 1992: Application of environmental isotopes to assess G 18S monitoring well landfill. - Bericht, 38 S, Champaign, Illinois (Illinois State Geological Survey) 1992.
- LECHNER, P., LAHNER, T. 1992.: Vorlesungsunterlagen Deponietechnik. - Wien (Technische Universität Wien) 1992.
- RANK, D., PAPESCH, W., RAJNER, V., RIEHL-HERWIRSCH, G. 1992: Environmental isotopes study at the Breitenau Experimental Landfill (Lower Austria). - In: H. Hötzl & A. Werner (Herausgeber): Tracer Hydrology, 173-177, Rotterdam/Brookfield (BALKEMA) 1992.
- RANK, D., PAPESCH, W., RAJNER, V. 1995: Environmental isotopes study at a research landfill (Breitenau, Lower Austria). - In: Isotopes in Water Resources Management, Proceedings of a Symposium, 301/302, Wien (IAEA) 1995.
- RANK, D., RAJNER, V., LUST, G. 1994: Der Tritiumgehalt der Niederschläge und der Oberflächenwässer in Österreich im Jahre 1993. - Bericht IG 94/01, 1-35, Wien (Bundesforschungs- und Prüfzentrum Arsenal) 1994.
- RIEHL-HERWIRSCH, G., LECHNER, P., BINNER, E., CARNIEL, P., HACKENBERG, M., LAHNER, Th., RANK, D., RITTER, E., VITEK, E., WALTER, J. 1995: Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau, Abschlußbericht zum Beobachtungszeitraum 1986-1991. - 200 S, Wien (BM für Land- und Forstwirtschaft) 1995.



## DISKUSSION :

## Isotopische Charakterisierung von Müllsickerwässern und die Verfolgung der Wasserbewegung in der Versuchsdeponie Breitenau (Südliches Wiener Becken)

HENRICH: Mir ist ein methodischer Fehler vielleicht aufgefallen; ich weiß nicht, ob ich es richtig verstanden habe, aber die Sickerwässer sind nicht getrennt gesammelt, sondern gemeinsam und gemischt auf Feld I und II verteilt worden. Ist das richtig ?

RANK: Die Wässer werden pro Feld gesammelt. In die Abwassersammelbehälter geht von jedem Feld eine eigene Leitung und das Problem ist, daß das Mischwasser rückgepreßt wird. In Feld I und II wurde anfangs auch zurückgepreßt, was vermutlich zur Tritiummarkierung geführt hat. Schwer tun wir uns mit der Interpretation bei Feld III, weil da ständig Mischwasser hineingepreßt wurde.

HEINRICH: Ist es nicht sinnvoller, daß man die eigenen Sickerwässer in das selbe Feld zurückführt, um irgendwelche Bilanzen sicherer zu haben ?

RANK: Natürlich wäre das vom Standpunkt der Interpretation der Meßdaten der wünschenswert, aber Betriebsnotwendigkeiten gehen eben vor, und das Wasser muß irgendwo hin.

RIEHL-H.: Wir sind zum Teil im Sickerwasser "erstickt", d.h. wir hatten eine Not-situation. Wir haben die freie Vorflut gewährleistet und haben unten die Behälter gehabt. Wir haben über 3 Jahre mit Tankwagen ins Burgenland entsorgen lassen, also in ein anderes Bundesland, weil dort andere gesetzliche Voraussetzungen sind, in Niederösterreich dürften wir nicht einleiten. Das Sickerwasser ist 30 km spazieren geführt worden, um dort in eine Kläranlage zu kommen. Das ist jetzt auch nicht mehr möglich, weil wir kein Geld haben. Das heißt, wir hätten diese

500.000,- im Jahr gebraucht, das ist auch zahlreichen Leuten immer wieder gesagt worden, und die haben gesagt, das geht nicht, wir zahlen Forschungsprojekte, aber keine Erhaltungskosten.

TUFAR: Der Betrag von den 500.000,- ist leider zu groß, sonst hätte ich hier im Saal bereits eine Sammlung gemacht.

RANK: Aber jedes Jahr!

TUFAR: Zweimal im Jahr.

WIMMER: Diese fehlenden 500.000,- halte ich für eine Art nationaler Schande, aber das nur nebenbei. In fachlicher Hinsicht bei diesem Beispiel Tritiumdotation noch eine Frage: In welcher Verdünnung könnte man das zum Background des normalen Niederschlagwassers noch im Umfeld, im Grundwasser rund um eine Deponie finden ? Wie sensibel ist das?

RANK: Der Tritiumgehalt im Niederschlag hat jetzt im Jahresschnitt zwischen 10 und 15 Tritiumeinheiten. Hier liegen 1.000 Tritiumeinheiten vor. Wenn man davon ausgeht, daß man zusätzliche 10 Tritiumeinheiten noch eindeutig identifizieren kann, wäre ein Einfluß auch bei 50 facher Verdünnung noch nachweisbar.

WIMMER: Das heißt, massivere Fahnen von Sickerwasseraustritten aus Deponien könnte man auf diese Art feststellen?

RANK: Mit Sicherheit. Es ist sicher nicht notwendig, wenn aufgrund der chemischen Beschaffenheit der Fall klar ist. Es kann aber auch sein, daß die gelösten Stoffe wesentlich langsamer transportiert werden als das im Wassermolekül enthaltene Tritium. So gilt

auch Tritium als Indikator für radioaktive Kontaminationen von Grundwässern, d.h. es könnten eventuell später wesentlich gefährlichere Radionuklide folgen. Allerdings kann nicht davon ausgegangen werden, daß Tritium in allen Deponien vorhanden ist.

**WIMMER:** Zweite Frage: Der erste Teil der Frage voraus: Wie hoch ist die Deuteriumanreicherung im Sickerwasser bzw. -abreicherung im Gas wirklich?

**RANK:** Wollen Sie die genauen Daten, sind Sie mit den Einheiten bekannt?

**WIMMER:** Mir geht es um den Faktor zum normalen Niederschlagswasser.

**RANK:** Es ist schwer, einen Faktor anzugeben, da der Deuteriumgehalt in Relativwerten gemessen wird. In der Relativskala beträgt die Anreicherung 30-40 ‰ bei einer Meßfehlerbreite von  $\pm 1 \%$ .

**WIMMER:** Die zweite, daran anschließende, nicht unwesentliche Frage: Prosperiert Sickerwasser als eine neue wirtschaftliche Quelle für schweres Wasser?

**RANK:** Nein. Diese Anreicherungen sind, absolut gesehen, sehr gering.

**WIMMER:** Es zahlt sich nicht aus Sickerwasser aufzuarbeiten?

**RANK:** Nein

**TUFAR:** Wenn keine weitere Fragen sind, dann möchte ich nur ganz kurz eine persönliche Stellungnahme abgeben. Wehret den Anfängen, Herr Kollege. Bitte vergewaltigen Sie die deutsche Muttersprache nicht. Anreicherung und Verarmung aber nicht Abreicherung. Das tut weh! Genauso wie Ressourcen und Recycling. Wir haben jahrzehntelang, bald hundert Jahre lang, deutsche Ausdrücke dafür in der Lagerstättenkunde und in den Geowissenschaften und wir müssen nicht alles, was über den Teich oder aus England kommt, annehmen.

**RANK:** Ich muß das Wort Abreicherung verteidigen. Es wird als Fachbegriff verwendet.

**TUFAR:** Es gibt doch das Wort Verarmung und jeden Germanisten dreht es im Grab um.

**RANK:** Es ist im fachlichen Sprachgebrauch eingeführt und ist nicht aus dem Englischen.

**TUFAR:** Ich habe nur beispielsweise Recycling und Ressourcen erwähnt. Aber der Gegensatz zur Anreicherung ist die Verarmung.

**RANK:** In der Physik ist der Ausdruck Abreicherung durchaus üblich. Verarmung kann man sagen, es ist nur ungewohnt.

**TUFAR:** Ich kenne viele Arbeiten, die von Verarmung reden.

**RIEHL-H.:** Ich wollte das nur kurz zeigen, ich habe es zuerst nicht gebracht. Es ist eine Darstellung von BSB5 und CSB. Wir sehen, daß diese Werte sich jetzt einpendeln. Der BSB5 unter 100, da gibt es komische Ausreißer oben, das entsteht dadurch, daß wahrscheinlich in der Deponie in den Feldern durch diese virtuellen Wasserspiegeln eine unbekannte Menge von Sickerwässern in solchen hängenden Wasserspiegeln steckt, die wir nicht erfassen können. Ich hatte heuer in einem Projektantrag eine Untersuchung dahingehend vorbereitet, die wurde abgeschmettert und daher wissen wir nicht, wie das aussieht. Es wäre wichtig hier mit diesen Kunststoffpegeln, diesen Plexiglaspegel zu schauen, wie schaut das innen aus und man könnte dort auch gezielt Proben nehmen für Isotopenuntersuchungen, um zu schauen, wie diese Dinge zustande kommen. Es ist so, wenn also oben gefroren ist oder niederschlagsarme Zeiten, dann kommt es zu diesen Ausreißern hier, der CSB ist also glatter, aber hier unten und da oben sind starke Schwankungen, die darauf zurückzuführen sind, daß Wässer am Rand vorbeigehen und nur mehr aus den Speichern Wasser in die Sickerwasserausflüsse kommen. Das war nur eine Ergänzung. Das läuft bis jetzt, das sind sozusagen Daten, die bis dato eingetragen sind und die zeigen, wie die Situation aussieht.

**WIMMER:** Eine Frage zur kinetischen Isotopenverschiebung/Verarmung auf der einen Seite, Anreicherung auf der anderen Seite. Es wird ja etwa in gleichen Größen  $\text{CO}_2$  gebildet; merkwürdigerweise wird  $^{18}\text{O}$

offensichtlich nicht verändert, obwohl es im großen Anteil mit  $\text{CO}_2$  in Gasphase geht. Wie ist das zu erklären ?

RANK: Diese Frage ist noch offen. Es gibt bis jetzt keine Literatur darüber, zumindest haben wir nichts gefunden. Ich habe den Eindruck, daß im Deponiewasser eine gewisse Sauerstoff-18-Anreicherung vorliegt, aber eine verhältnismäßig geringe. Die Deuteriumanreicherung überwiegt bei weitem. Von Bedeutung dürfte auch sein, daß zwischen  $\text{CO}_2$  und Wasser ein verhältnismäßig rascher Sauerstoffisotopenaustausch stattfindet. Wichtig ist jetzt der Aufbau eines Laborversuches, bei dem einerseits die Reaktionsprodukte quantitativ erfaßt werden und andererseits die Isotopenfraktionierung genau verfolgt wird. Damit sollte die Frage zu klären sein.

HENRICH: Wenn man die absoluten Werte vergleicht, das wäre ja möglich, dann kennt man den Schwankungsbereich der absoluten Werte.

RANK: Das Problem ist, daß wir die Isotopenverhältnisse des Einbauwassers nicht genau kennen.

HENRICH: Das ist nicht gemessen worden ?

RANK: Zu Beginn des Betriebes in Breitenau waren Isotopenuntersuchungen nicht vorgesehen, darüberhinaus setzt sich das Einbauwasser aus mehreren Komponenten zusammen.

HENRICH: Nehmen wir einmal das Verhältnis  $\text{CO}_2$  zu Methan 1:2 bei einem Deponiegas an und wissen, daß wir dann bei Methan 2 Moleküle Wasser brauchen, beim  $\text{CO}_2$  bloß 1 und das dann ein bißchen berechnen, was kann man da erwarten ?

RANK: Es müßte sich einer anschauen, der etwas von Thermodynamik versteht. Es sind natürlich auch die Effekte im Sauerstoff-18 und im Deuterium unterschiedlich. Aber ich glaube, die Voraussetzung dafür, daß wir hier nicht im Dunkeln tappen, ist, daß man versucht, das wirklich einmal im kleinen Maßstab quantitativ zu erfassen.

#### *Diskussionsbeiträge von:*

*Dr. W. HENRICH*

*Vöslauer Heilquellenverwertungs AG  
Paitzriegelgasse 2  
A - 2540 Bad Vöslau*

*Dr. G. RIEHL-HERWIRSCH*

*Institut für Geologie  
TU - Wien  
Karlsplatz 13  
1040 Wien*

*Prof. Dr. W. TUFAR.*

*Philipps-Univ. Marburg,  
Fachbereich Geowissenschaften  
Hans-Meerwein-Straße  
D-35032 Marburg/Lahn*

*Dipl. Ing. Dr. J. WIMMER*

*Oberösterreichische Umwelthanwaltschaft  
Stifterstraße 28  
A - 4020 Linz*



Barbara-Gespräche Payerbach 1995	Band 2	"Geogen - Anthropogen" "Hausmüllversuchsanlage Breitenau"	Seite 275 - 285 Abb. 1 - 2	Wien 1997
-------------------------------------	--------	--	-------------------------------	-----------

# BARBARA-GESPRÄCHE

## Payerbach 1995

Emissionen von Deponien  
- derzeit und in Zukunft

P. LECHNER



Payerbach,  
25. November 1995

*Anschrift des Verfassers:*

*O.Univ.Prof. Dipl.Ing. Dr.techn. Peter LECHNER  
Universität für Bodenkultur Wien  
Institut für Wasserversorgung, Gewässerökologie und Abfallwirtschaft  
Abteilung Abfallwirtschaft  
Nußdorfer Lände 29-31  
A - 1190 Wien*

## Emissionen von Deponien - derzeit und in Zukunft

P. LECHNER

Hausmüll bzw. Restmüll enthält einen mehr oder weniger hohen Anteil an biologisch umsetzbarer organischer Substanz. Die stoffliche Zusammensetzung des Restmülls (Systemmülls) wird durch die Getrennte Sammlung nur unwesentlich beeinflusst. Auffällig ist die gegenüber Gesamt-Hausmüll relative Zunahme des Feinanteiles sowie der obligat hohe organische Anteil, vor allem aufgrund von Einwegwindeln (Tab.1).

Hauptfraktionen	Masse %		
	NÖ Mittel	Bandbreite	
		von	bis
Feinanteil <40mm *	28,9	12	44
Biogenes	13,8	3	34
Hygieneartikel	13,4	6	21
Verbundstoffe	9,5	5	17
Kunststoffe	7,4	4	15
Papier	6,3	2	12
Textilien	4,3	1	8
Inertstoffe	3,1	1	6
Glas	3,0	1	6
Metalle	2,9	1	7
Holz	0,7	0	2
Problemstoffe	0,5	0	2
Rest	6,2	4	13

\* (überwiegend Asche)

Tab.1: Bezirksergebnisse der NÖ - Restmüllanalysen für den Winter 1994/95 (APSCHNER, 1995)

Die Restmüllmenge wird aufgrund der vermehrten Aktivitäten zur Getrennten Sammlung wohl immer geringer, zeigt qualitativ jedoch keinen wesentlichen Unterschied zum kommunalen Systemmüll der Vergangenheit. Eine Vorbehandlung vor der Ablagerung mit den emissionstechnisch und kostenseitig optimierten klassischen Verfahren - mechanisch, chemisch-physikalisch, biologisch, thermisch - vor allem in Kombination, ist anzustreben.

Bei der Ablagerung setzen, entsprechende Feuchtigkeit vorausgesetzt, biologische Ab-

bauvorgänge ein. Diese laufen nach biochemischen Gesetzmäßigkeiten ab, wobei die jeweiligen Milieubedingungen, d.s. insbesondere das Vorhandensein oder Fehlen von Sauerstoff und der pH-Wert, die Stoffwechselforgänge wesentlich bestimmen. Die nun auftretenden Emissionen sind eine Folge dieser Umsetzungsprozesse. Wesentlich, weil unsere Umwelt und unsere Lebensqualität beeinträchtigend, sind Geruch, Sickerwasser und Deponiegas

In der ersten Phase der Umsetzung verursachen die bei der Hydrolyse (Aufspaltung) und Versäuerung anfallenden niedermolekularen Fettsäuren und Alkohole eine hohe Belastung des Sickerwassers mit biologisch leicht abbaubaren organischen Substanzen (BSB5 > 10.000 mg/l). In der weiteren Folge können sich in der Deponie Methanbakterien etablieren, welche durch Reduktion von Kohlendioxid, Spaltung der Essigsäure und Verwendung von Wasserstoff das für das Deponiegas typische Methan bilden (Abb.1).

Das Sickerwasser kann vollständig erfasst und einer Reinigung unterzogen werden. Dem gegenüber kann das Deponiegas mit der heute geübten Ablagerungstechnik sowie den installierten Gaserfassungssystemen bestenfalls nur zur Hälfte erfasst und entsorgt werden.

Für unbehandelten Restmüll geben RIEGER & BIDLINGMAIER (1995) 160 m<sup>3</sup> (Untersuchungen der BU-GH Wuppertal), LEIKAM & STEGMANN (1995) 175 m<sup>3</sup> Gas je t TS an. Diese Gasmengen entsprechen etwa jenen, wie sie auch EHRIG (1991) für Hausmüll ermittelt hatte.

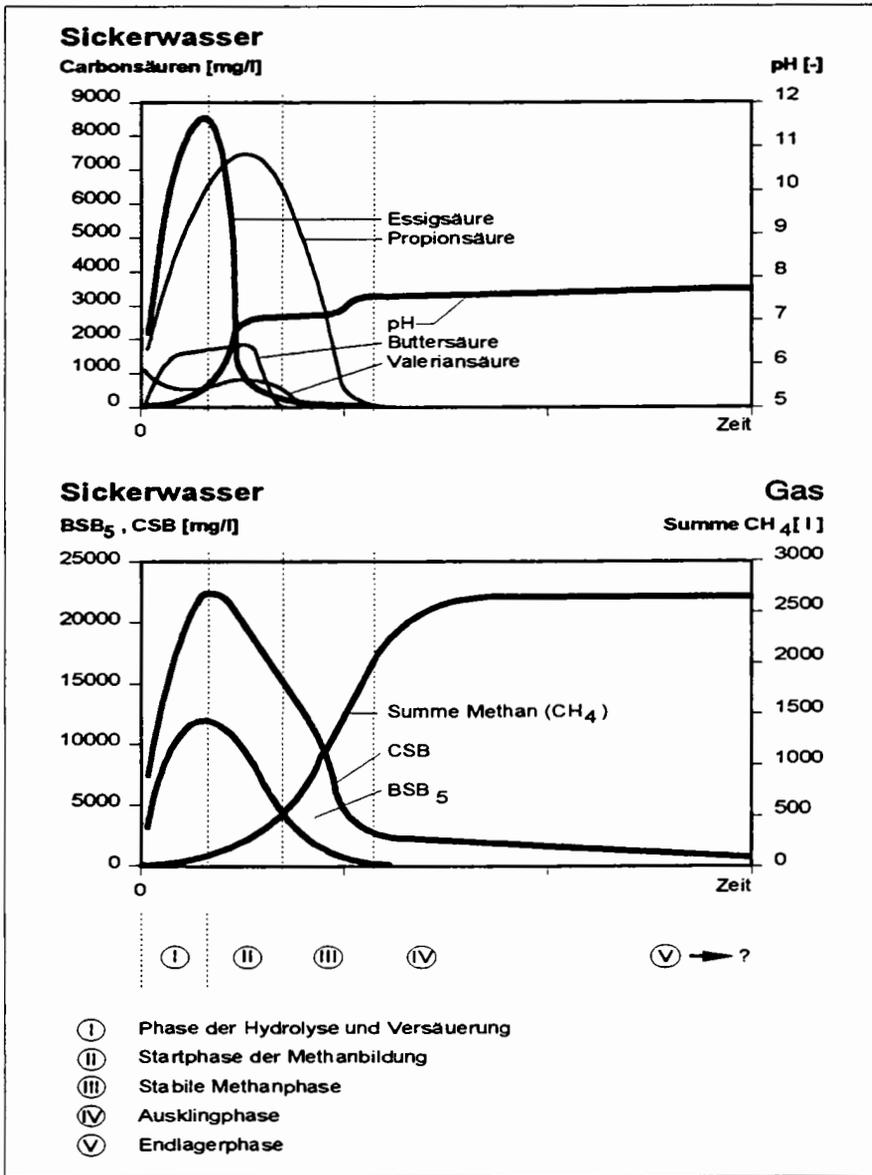


Abb. 1: Phasen der Reaktorstrategie am Beispiel des Deponieverhaltens des Abfalls "Faserreststoff aus der Papierfabrikation" - vereinfachte Darstellung. Die Untersuchungen wurden im Auftrag des Reinhaltverbandes Großraum Laakirchen durchgeführt

Im Bereich der gasförmigen Emissionen kommt dem Methan besondere Bedeutung zu, weil zum einen das Methan an der stratosphärischen Ozonerstörungsdynamik beteiligt ist, zum anderen seine atmosphärische Konzentration bereits dreimal so hoch ist, wie zur Zeit des nacheiszeitlichen Wärmeoptimums (KRAPPENBAUER, 1995).

Der deponiebürtige Anteil der Methanemissionen wird in Österreich mit 25% abgeschätzt. Für eine Bewertung des gaseitigen Emis-

sionspotentials eines Abfalls ist die Ermittlung der methanisierbaren Substanzen, der reduzierten Stickstoffverbindungen und der konkurrierenden Schwefelverbindungen notwendig (KRAPPENBAUER, 1995). Natürliche Böden sind aufgrund ihres relativ geringen Methanabbau-Potentials nur für etwa 10% der Gesamtmethanproduktion eine Senke. Unge störte Wald- und Wiesenböden weisen dabei höhere Oxidationsraten für Methan wie Ackerböden auf. KRAPPENBAUER kommt auf der Grundlage einer Reihe von Unter-

suchungen zum Schluß, daß in entsprechend gut durchlüfteten Deckschichten mit hohem organischen Anteil der größte Teil des in der Deponie gebildeten Methans oxidiert werden könnte, bevor es in die Atmosphäre entweicht. Besonders zu beachten ist, daß in diesen Substraten kein Ammonium - Stickstoff mehr auftreten darf, ansonsten die Methanoxidation unterbunden wird. Da mehr als 90% des in einer Reaktordeponie umgesetzten organischen Kohlenstoffs gasförmig emittiert wird und mit herkömmlichen Gasfassungssystemen bestenfalls die Hälfte davon erfaßt werden kann, ist die methanoxidierende Deckschicht einer Versiegelung der Deponie vorzuziehen.

Sickerwasserseitig werden für den langfristigen Nachsorgeaufwand die AOX - verursachenden Inhaltsstoffe und der Stickstoff verantwortlich sein. Beim Summenparameter TOC ist die Kenntnis der verantwortlichen Einzelstoffe bzw. Stoffgruppen und deren ökologische Bedeutung erforderlich. Der als huminstoffähnliche Substanzen isolierbare Anteil beträgt in Deponiesickerwässern in Abhängigkeit vom Milieu 10 bis 40%. Aufgrund der biochemischen Umsetzungen während der Bodenpassage, bzw. beim Aufenthalt im Aquifer werden die Eigenschaften der huminstoffähnlichen Substanzen jenen der natürlichen Huminstoffe immer ähnlicher (URBAN, 1995).

Um zukünftig möglichst geringe Emissionen, aber auch geringe Deponievolumina zu erreichen, werden derzeit unterschiedliche Strategien verfolgt. Der österreichische Gesetzgeber versucht, in Anlehnung an die in der BRD bereits geltende TA Siedlungsabfall, den organischen Kohlenstoff im abzulagernden Deponiegut mit nur wenigen Prozenten zu begrenzen. Das ist allerdings nur mithilfe einer thermischen Behandlung (Verbrennung) des Restmülls möglich.

Für die Bestimmung des organischen Anteils im Restmüll werden in den Deponieregelungen der BRD und Österreichs die Parameter "Glühverlust" und "TOC" herangezogen. Zur Beschreibung des biologisch abbaubaren Potentials im Restmüll sind diese Parameter

allerdings nicht geeignet. Beide Parameter differenzieren in dieser Form nicht zwischen biologisch nicht abbaubarer organischer Substanz und biologisch abbaubarer organischer Substanz, da bei der TOC - Bestimmung auch die Heteroatome erfaßt werden.

Eine verfahrenstechnische Strategie besteht darin, die in einer Reaktordeponie ablaufenden biologischen Prozesse möglichst bereits vor der Ablagerung ablaufen zu lassen. Dabei werden die im Abfall enthaltenen biologisch reaktiven organischen Substanzen aerob abgebaut bzw. in eine reaktionsträge Form übergeführt. Das dabei gebildete Kohlendioxid ist, weil dem seit jeher bestehenden, photosynthesebedingten Kreislauf zugehörig, nicht zusätzlich klimawirksam. Ökologisch bedeutsam ist, daß ein wesentlicher Teil der organischen Substanz im sog. Humus-Reservoir gespeichert wird. Wird dieses Material abgelagert, treten die vorhin beschriebenen stoffwechselbedingten Gasemissionen in der Deponie nicht mehr auf und auch das sickerwasserseitige Emissionsverhalten wird primär von Auslaugprozessen bestimmt. Gelöste Stickstoff- sowie biologisch schwer abbaubare org. Verbindungen charakterisieren nun die Sickerwasserqualität.

Für eine weitestgehende biologische Stabilisierung der organischen Substanz scheint eine längerdauernde aerobe Phase notwendig zu sein. Langzeituntersuchungen im Bereich der Deponie Salzburg/Siggerwiesen zeigten hohe Mineralisierungsraten (TOC 1,8%TS nach 14 Jahren) durch Bepflanzung des Kompostes mit Hybridpappeln.

Die Phase der sauren Gärung wird bereits nach einer nur kurzen biologischen Vorbehandlung praktisch vollständig vermieden. Die Dauer und der Verlauf der Methangasbildung in der Deponie sind von der Art und der Intensität der biologischen Vorbehandlung abhängig, bzw. zeigt unterschiedlich vorbehandelter Restmüll verschiedene, aber jeweils charakteristische Kurvenverläufe (BINNER, 1995). Die Methangasproduktion kann bei entsprechender Vorbehandlung sogar um mehr als 90% geringer sein (Abb. 2).

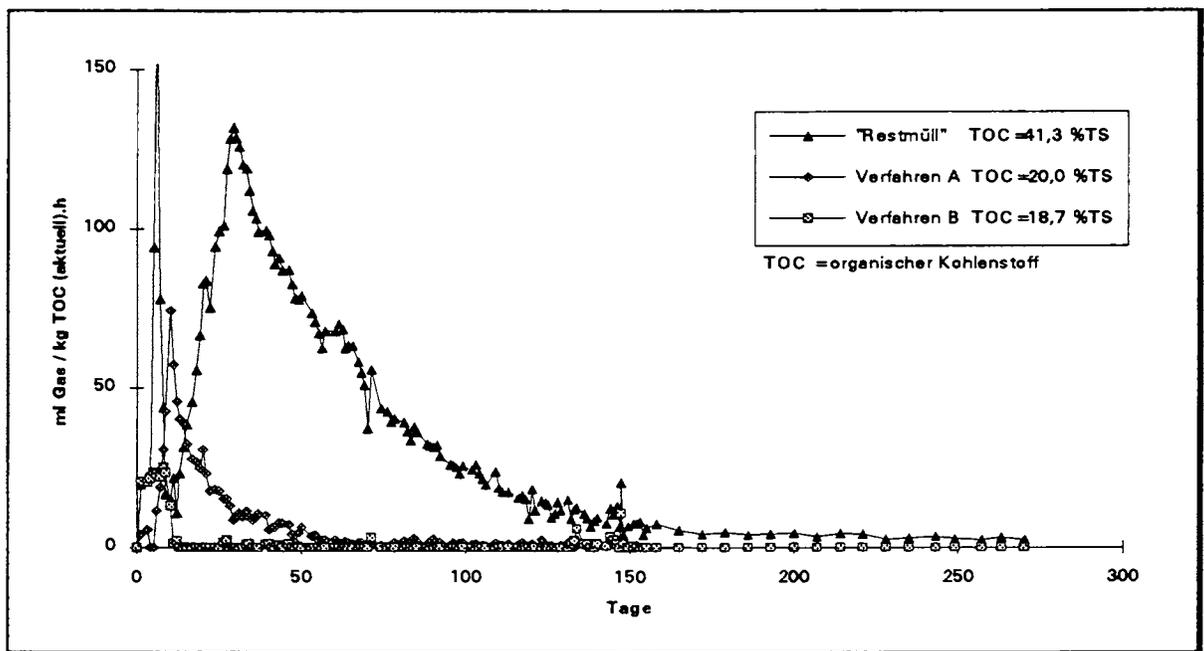


Abb. 2: Gasproduktion von Restmüll im Vergleich zu biologisch vorbehandeltem Müll (2 Verfahren) - Laborversuche, ABF-BOKU Wien (BINNER, 1995)

Die Vorbehandlung des Restmülls mit anaeroben Verfahren liefert ein Biogas mit einem Methananteil von etwa 60%. Die wirtschaftlichen Möglichkeiten, besonders in Kombination mit aeroben Verfahren und/oder mit anderen organischen Abfällen sind noch weitgehend ungenutzt.

Beim Verbrennungsprozeß (thermische Vorbehandlung) wird sämtliche organische Substanz zu Kohlendioxid (und Wasser) oxidiert, es wird also für die Atmosphäre zusätzliches  $\text{CO}_2$  freigesetzt.

Die mengenmäßig wesentlichen Rückstände der Verbrennung sind Flugasche und Schlacke. In diesen befinden sich, ebenso wie im biologisch vorbehandelten Müll, weiterhin die in den ursprünglichen Abfallstoffen enthaltenen Metalle. Aus der Flugasche ist deren Verfügbarkeit jedoch eine wesentlich höhere.

Für die endgültige Ablagerung der abgasseitigen Verbrennungsrückstände sowie der Schlackenfeinfraction ist eine Immobilisierung der enthaltenen Schadstoffe unbedingt notwendig. Zu unterscheiden ist dabei zwischen einer chemischen Immobilisierung und einer physikalischen Immobilisierung. Im ersteren

Fall wird die Mobilität der Schadstoffe durch chemische Wechselwirkungen unterbunden, im Fall der physikalischen Immobilisierung durch eine Verringerung der Wasserwegsamkeiten. Beides kann sowohl auf kaltem Weg als auch thermisch erreicht werden. Ersteres unter Verwendung eines entsprechenden plastischen Bindemittels wie z.B. mithilfe mineralischer, toniger Feinteile; dabei umgeben diese mineralischen Feinteile die Abfallstoffe in einer dichten Lagerung und Verhindern damit den Kontakt mit Niederschlägen. Dieses neue Verfahren wird als Diagenetische Inertisierung bezeichnet (RIEHL-HERWIRSCH, 1994). Im anderen Extrem werden die Abfallstoffe verglast, also mit sehr hohen Temperaturen behandelt. Dabei wird ein Teil der Schadstoffe in einem glasähnlichen Körper eingeschlossen, andere Komponenten, wie Cd und Hg, tlw. Zn und Pb werden gasförmig ausgetrieben und in einer anderen Speichermatrix noch weiter aufkonzentriert. Dazwischen liegen eine Reihe weiterer Methoden, wie die Verfestigung mit Zement, Kohleflugaschen oder mit Wasserglas (MOSTBAUER, 1995).

Die Zementverfestigung nutzt die bei der sog. Zementhydratation entstehenden Mineral-

phasen zur physikalischen Einbindung bzw. chemischen Immobilisierung der Schadstoffe. Langfristig eintretende Alterungsprozesse sowie Schädigungsreaktionen können jedoch wieder ein teilweises Freisetzen bewirken. Eine Einbindung der Flugasche in eine tonige Matrix erscheint derzeit aus der Sicht der langfristigen Beständigkeit günstiger zu sein. Generell ist die Frage einer möglichen Mobilisierung der Schwermetalle bei der Ablagerung von derart vorbehandelten Verbrennungsrückständen noch nicht zufriedenstellend beantwortet.

Das Verhalten von Verfestigungsprodukten in der Deponie wird letztlich von der möglichen Oberfläche maßgeblich bestimmt. Damit muß man bei der Beurteilung der Produkte vor allem von der Matrix selbst und deren geochemischen und geotechnischen Eigenschaften ausgehen. Fraglich ist in diesem Zusammenhang, ob es für immobilisierte Abfälle einheitliche Prüfmethode geben kann, oder ob für jede Methode der Immobilisierung spezifische Prüfmethode und Produktkriterien erarbeitet werden müssen.

So täuscht z.B. das einfache Eluieren zementverfestigter Probewürfeln über 24 Stunden in der Regel ein günstiges Emissionsverhalten vor, weil zeitlich verzögerte Transport- und Reaktionsmechanismen, z.B. Diffusion und treibende chemische Reaktionen, mit einem derartigen Test einfach nicht erkannt werden können. Langfristig muß man dann in Ermangelung geeigneter Untersuchungsmethoden eher postulieren, daß, mit Ausnahme der wenigen Fälle in denen eine chemische Bindung eingegangen wird, die emittierten Frachten mit und ohne eine derartige Zementverfestigung gleich groß sein werden. Keinesfalls darf daher die Bewertung eines Immobilisierungsverfahrens auf die pragmatische Anwendung eines simplen Auslaugtests reduziert werden (MOSTBAUER et al., 1995).

Sowohl die biologische als auch die thermische Vorbehandlung lassen auf jeden Fall eine wesentliche Verringerung der Emissionen erwarten. Derzeit nimmt man an, daß die Restemissionen von vorbehandelten bzw. immobi-

lisierten Abfällen innerhalb der Standzeit der technischen Barrieren, wie des Basisdichtungssystems, auftreten und erfaßt werden können. Ob die Deponie anschließend ein völlig nachsorgefreies Endlager darstellt, bleibt allerdings noch unklar, da wir die langfristig möglichen Interaktionen zwischen dem abgelagerten Abfall, der Atmosphäre und dem geochemischen Umfeld viel zu wenig kennen und diese Unkenntnis eine Bewertung so schwierig macht. Aus diesem Grund steht eine anerkannte Definition der Begriffe nachsorgefrei bzw. Endlagerqualität auch noch aus.

Für den Zustand der Langzeitstabilität (> 100 Jahre) wurden inzwischen eine Reihe von Begriffen verwendet - immobil, inert, mineralisch, immissionsneutral, erdkrustenähnlich, endlagerfähig, u.a.- deren jeweils alleinige Anwendung das angestrebte Ziel "über absehbare Zeiträume im jeweiligen Umfeld geochemisch stabil" meist nur unzureichend definieren. Testmethoden, mithilfe derer die geochemische Langzeitstabilität überprüft werden kann, fehlen noch. Darüber hinaus wären zuverlässige Prognosemodelle oder Abschätzungen zum langfristigen Emissionsverhalten zu entwickeln. Wesentlich wird in diesem Zusammenhang zu beachten sein, daß der Stofftransport aus immobilisierten/verfestigten Abfällen nicht nur aufgrund von Konvektion, sondern immer auch aufgrund von Diffusion stattfindet. Besonders in Medien mit geringer Durchlässigkeit wird die Diffusion zum bestimmenden Transportmechanismus (ZIEGLER, 1995). Die Bestimmung der „Diffusionsfreudigkeit“ einer den Abfallstoff umhüllenden Matrix und Darstellung der Zusammenhänge von Diffusionskennwerten mit geotechnischen Parametern - in Abhängigkeit vom jeweiligen Schadstoff bzw. dessen Konzentration - sollte mit eine Grundlage für verfahrensspezifische Anforderungen an die Untersuchung und Bewertung von Immobilisierungsverfahren sein.

Zu berücksichtigen wären weiters die in der Geologie gemachten Beobachtungen zur dauerhaften Schadstoffbindung, z.B. in Sedimentgesteinen (Schwarzschiefer und Schwarzmergel). Diese aus feinkörnigen Sedimenten

durch Diageneseprozesse hervorgegangenen Gesteine enthalten organische Substanzen und Schwermetalle im Prozentbereich und stellen auch in Oberflächennähe aufgrund ihrer nicht erosionsgefährdeten Positionen keine Gefahr für die Umwelt dar. (VORTISCH, 1995)

Wird ein Abfall in einer geologischen Senkenposition endgültig abgelagert und können die potentiell möglichen Emissionen in seinem Umfeld keine Beeinträchtigungen mehr hervorrufen, kann er als geochemisch stabil bezeichnet werden. Der Abfall ist also vor Ort umweltverträglich. Eine Bewertung dieses Zustandes hängt somit nicht nur vom Abfall selbst, sondern auch vom direkten geochemischen Umfeld und von den möglichen zukünftigen Interaktionen mit der Atmosphäre - Luft, Niederschlag, Temperatur - ab. Alle möglicherweise auftretenden Szenarien sollen bei einer Beurteilung berücksichtigt werden.

### Literaturverzeichnis:

- APSCHNER, Ch.: Was ist Restmüll; In: Waste Reports No. 02 Emissionsverhalten von Restmüll", Dokumentation eines Arbeitsgespräches, Lechner (Hrsg.), ABF-BOKU Wien, 1995
- BINNER E.: Inkubationsversuche zur Beurteilung der Reaktivität von Abfällen; In: Waste Reports No. 02 "Emissionsverhalten von Restmüll", Dokumentation eines Arbeitsgespräches, Lechner (Hrsg.), ABF-BOKU Wien, 1995
- EHRIG, H.-J.: Gasprognosen bei Restmülldeponien. In: Depniegasnutzung, Trier Berichte zur Abfallwirtschaft Bd. 2, Rettenberger/Stegmann (Hrsg.), Economica Verlag, 1991
- KRAPFENBAUER A.: Bewertung der Methan - Emissionen; In: Waste Reports No. 02 "Emissionsverhalten von Restmüll", Dokumentation eines Arbeitsgespräches, Lechner (Hrsg.), ABF-BOKU Wien, 1995
- LEIKAM K.; STEGMANN R.: Emissionsverhalten von mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfällen; In: Waste Reports No. 02 "Emissionsverhalten von Restmüll", Dokumentation eines Arbeitsgespräches, Lechner (Hrsg.), ABF-BOKU Wien, 1995
- MOSTBAUER P.: Überblick über die Möglichkeiten der Immobilisierung; In: Waste Reports No. 01 "Immobilisierung schadstoffhaltiger Abfälle", Dokumentation eines Arbeitsgespräches, Lechner (Hrsg.), ABF-BOKU Wien, 1995
- MOSTBAUER, P., ZIEGLER C., LECHNER P.: Möglichkeiten und Grenzen der Immobilisierung von Abfällen; Studie im Auftrag der MA22 der Stadt Wien; ABF-BOKU; 1994
- RIEGER A., BIDLINGMAIER W.: Reaktionsfähigkeit von mechanisch-biologisch behandeltem und weitgehend gerottetem Material auf der Deponie; In: Waste Reports No. 02 "Emissionsverhalten von Restmüll", Dokumentation eines Arbeitsgespräches, Lechner (Hrsg.), ABF-BOKU Wien, 1995
- RIEHL-HERWIRSCH, G.: Die Diagenetische Inertisierung - eine umweltneutrale Rückeinbindung von Abfall in den natürlichen Stoffkreislauf; In: Mitteilungen für Baugeologie und Geomechanik, Baugeologische Tage Payerbach 1991, TU Wien (Hrsg.), 1994
- URBAN W.: Bewertung der Sickerwasseremissionen; In: Waste Reports No. 02 "Emissionsverhalten von Restmüll", Dokumentation eines Arbeitsgespräches, Lechner (Hrsg.), ABF-BOKU Wien, 1995
- VORTISCH W.: Diagenetische Inertisierung - Geologisch-mineralogische Grundlagen und Beispiele aus der Natur; In: Waste Reports No. 01 "Immobilisierung schadstoffhaltiger Abfälle", Dokumentation eines Arbeitsgespräches, Lechner (Hrsg.), ABF-BOKU Wien, 1995
- ZIEGLER C.: Immobilisierung mit Tonmineralien; In: Waste Reports No. 01 "Immobilisierung schadstoffhaltiger Abfälle", Dokumentation eines Arbeitsgespräches, Lechner (Hrsg.), ABF-BOKU Wien, 1995

## DISKUSSION :

Emissionen von Deponien  
- derzeit und in Zukunft

SCHROLL: Ich möchte kurz etwas zum Problem "Quecksilber ablagern im Bergbau" bemerken: Die größte Quecksilberanreicherung ist in Almaden in Spanien, dort war ich vor 10 Jahren auf Exkursion. Die Umgebung ist von Natur aus und auch von der Bergbautätigkeit/Verhüttungstätigkeit stark mit Quecksilber versaut, da blitzen überall die schönsten Quecksilberkügelchen, daß es eine Freude ist. Alle Quecksilberabfälle aus dem EU-Bereich werden in Fässern dorthin transportiert und das Quecksilber wieder rückgewonnen. Das ist eine Sache, die eigentlich schon läuft und die sehr vernünftig ist. Denn wenn man das schon macht, dann sollte man eben in eine Gegend gehen, die bereits von Haus aus, von der Natur aus, eine Belastung aufweist, die von menschlicher Tätigkeit nie erzeugt werden kann.

MÜLLER: Wir immobilisieren Quecksilber, indem wir es in Sulfide überführen mittels Polysulfidsulfanlösung - dabei gibt es keinen Schwefelwasserstoffgeruch - und das wird bereits bei der Entsorgung von Neonleuchten angewendet. In Deutschland werden 10 - 15 Mio. nach einer Idee von uns entsorgt, die wir leider veräußerten, ohne darauf zu achten, daß sie die Industrie aufnimmt und durchführt, und wir bekommen keinen Pfennig dafür. Aber immerhin, das Wohlwollen dieser Entsorger war uns sicher. Es gibt ja noch mehr quecksilberkontaminierte Altlager in Deutschland und ich denke, daß man das machen kann. Nur, daß man es nach Idria zurückbringt -ich weiß nicht ob das geht. Immerhin funktioniert diese Methode auf sehr billige Weise, ein Kilo von dieser Polysulfidsulfanlösung kostet 10 Mark und da kann man viele, viele Tonnen immobilisieren. Dabei entsteht Metacinnabarit, der, und das ist im Moment noch das Problem, hat anderes physikalisches, chemisches Verhalten als eben das Zinnober selber. Es hat

sich gezeigt, daß das echte Dekontaminieren, was das ideale wäre, tatsächlich den Leuten zu teuer ist. Ich glaube, alle Arbeiten zielen darauf hin, daß man inertisiert, und ich möchte hier PÖLLMANN erwähnen, der in Halle sitzt, der hier mit Intelligenz fragt, welches Trägermineral kann welches Metall so einbinden, daß nachher ein Stoff entsteht, der wirklich nicht mehr das Metall in flüssige Form bringt. Da liegt die Zukunft auf der Mineralogie.

VORTISCH: Gerade diese Idee der Sulfidisierung. Wie oxydationsstabil ist dieses Sulfid?

MÜLLER: Zumindest Kurzzeitversuche zeigen, daß es stabil ist. Würde man das jetzt irgendwo deponieren, nicht in Idria oder sonstwo, dann würde man, falls nicht schon Karbonat drin ist, noch einen Zusatz von Karbonat tätigen müssen. Der pH-Wert darf nicht in den extrem sauren Bereich hineinkommen. Das würde sonst passieren, da ja meist auch Pyrit und ähnliche Sulfide dabei hat. Wenn man den pH im Pufferbereich hält, dann kann eigentlich nichts passieren. Noch eine Überlegung ist jetzt um letztendlich sozusagen bakteriellem Fraß vorzubeugen, daß man, und das wollen wir auch noch machen, in geringen Mengen Selen beifügt, denn Selen ist absolut bakterizid, wir wissen nur noch nicht, wieviel Promill an Selen, daß ja anstelle des Schwefels steht, muß beigegeben werden, um dann tatsächlich diesen Metacinnabarit so zu stabilisieren, daß er über längere Zeiträume stabil bleibt.

LECHNER: Ich glaube, das war ein recht wichtiger Hinweis, daß man also mit Materialien, die nicht absolut inert sind, nicht überall hingehen kann. Man muß sich für jedes dieser Materialien das geeignete geogene Umfeld suchen. Deswegen mein erster Vorschlag, direkt wieder dorthin zurück zu gehen.

**VORTISCH:** Eine Detailfrage hätte ich noch. Die Schwermetall-Lasten, waren die im Durchlauf oder im Gesamtsickerwasser ? War das im Durchlauf in Breitenau ?

**LECHNER:** Das war Sickerwasser

**VORTISCH:** Sickerwasser nach dem Durchlauf, also nach dem Durchsickern der Basisdichtung ?

**LECHNER:** Nein

**RIEHL-H:** Im Überlauf.

**SCHROLL:** Darf ich mir eine kurze boshafte Ergänzung erlauben. Wir kümmern uns da hier um so einige m<sup>3</sup> usw. von CH<sub>4</sub> Emissionen, aber wenn man bedenkt, daß der Wachstum der Erdbevölkerung und die damit verbundenen CH<sub>4</sub>-Produktion ausmacht, etwa auch in Ostasien die ganzen Reisfelder, was die produzieren, dann ist das ein verschwindender Teil, den wir uns da leisten.

**LECHNER:** Ich gebe ihnen durchaus recht, als verschwindender Teil, ich möchte es aber trotzdem nicht so stehen lassen, denn wenn es mit einfachen Dingen gelingt auch diesen verschwindenden Teil zu beherrschen und zudem noch die Verbrennung der Biomassen bzw. vor allem die Deponien genau jener Bereich sind, wo wir ansetzen können, bei den Wiederkäuern aber nicht und bei den Reisfeldern auch nicht, dann sollten wir es trotzdem tun.

**TUFAR:** Dann verstehe ich aber nicht, wieso recycled man dieses Methan dann nicht und verwendet es als Energierohstoff ?

**LECHNER:** Das wird an sich gemacht. Sie können anaerob vorbehandeln, dann haben wir das Methan.

**TUFAR:** Das war ja nicht ernst gemeint, das wird ja nicht erst jetzt gemacht?

**LECHNER:** Das ist schon richtig, aber ihre Frage ist insofern berechtigt, als man es bei Deponien versucht. Das Problem ist, daß die Deponiegasbildung vom atmosphärischen Druck abhängt, vom Wind, von einer Fülle von Dingen, die wir nicht beeinflussen kön-

nen. Und einfach über 70 ha eine dichte Glocke drübermachen können um alles erfassen zu können, das geht technisch nicht, d.h. wir können bestenfalls 40-50 % erfassen.

**LAGERKVIST:** Ich möchte nur sagen, es gibt ja keine Identität zwischen Methanimmission und Methanemission. Diese 40 Mio. Tonnen, die berücksichtigen nicht die biologische Oxydation von Methan in der obersten Abdeckung einer Deponie. In der Realität gibt es nicht diese große Emission, aber wie groß sie ist, das ist eine andere Frage.

**LECHNER:** Ich möchte nur ergänzen, daß die biologische Methanoxydation in den Deckschichten viel zu wenig ausgenutzt wird. Es gibt fast keine Untersuchungen dazu. Ich würde das vor allem für Altlasten vorschlagen, daß man durch eine entsprechende intelligente Abdeckung, jeder Kompost geht da auch nicht, der muß schon gewisse Voraussetzungen erfüllen, daß man also durch solch eine intelligente Abdeckung die Methanrestemissionen von Deponien/Altlasten sicherlich drastisch reduzieren kann. Das ist richtig.

**TUFAR:** Also ihre Entschuldigung bezüglich virtuell kann ich leider nicht annehmen, sondern wir beide begeben uns in die 3.Klasse Mittelschule zurück, ich schlage Atria Romana auf und lese: "patria nostra olim provincia romana erat" Das war das eine. Das andere, es ist ihnen offensichtlich nicht aufgefallen, daß es in Deutschland ein ganz neues Verfahren gibt, um Galvanikschlämme zu entsorgen, nämlich die Autobahn bei Regensburg - Nürnberg-Regensburg.

Dazu vielleicht, wenn sie meine Bemerkung aufgegriffen haben, ich habe in Zukunft nichts mehr gegen "Abreicherung" Herr RANK. Aber sagen wir dann zukünftig als deren Gegenteil auch "Anarmung". Ich hoffe, ich habe Herrn Kollegen RANK hier nicht zu frontal angegangen, das wollte ich wirklich nicht, ich habe das nicht so ernst gemeint, aber sollten wir uns nicht wirklich bemühen "Anreicherung" und "Verarmung" zu sagen?

Dann danke ich allen Rednern für ihre Beiträge und auch den Diskussionsrednern und gebe das Mikrofon Kollegen RIEHL.

RIEHL-H.: Ich danke Dir, lieber Werner und allen anderen, die durch ihre Beiträge und ihre Diskussionsbeiträge zur Anreicherung unseres Wissens beigetragen haben und hoffe, daß sie etwas mitnehmen und darf vor allem die Autoren und die Redner bitten, uns nicht allzu lange mit ihren Beiträgen warten zu lassen.

*Diskussionsbeiträge von:*

*Dr. A. LAGERKVIST*

*Lulea Univ. of Technology  
The Landfill Group  
S-971 87 Lulea, Schweden*

*Prof. Dr. E SCHROLL*

*Haidbrunnngasse 14  
A - 2700 Wiener Neustadt*

*Prof. Dr. G. MÜLLER*

*Inst. f. Sedimentforschung der  
Universität Heidelberg  
D-69112 Heidelberg*

*Univ. Prof. Dr. W. TUFAR*

*Philipps-Univ. Marburg,  
Fachbereich Geowissenschaften  
Hans-Meerwein-Straße  
D-35032 Marburg/Lahn*

*Dr. G. RIEHL-HERWIRSCH*

*Institut für Geologie  
TU - Wien  
Karlsplatz 13  
1040 Wien*

*Prof. Dr. W VORTISCH*

*Inst. f. Prospektion u. angew. Sedimentologie  
Montanuniversität Leoben  
A - 8700 Leoben*

Der erste Band der Reihe "BARBARA-GESPRÄCHE" erschien in folgendem Doppelband:

Mitteilungen für Baugewologie und Geomechanik	Band 3	Baugewologische Tage Payerbach 1991	Seite 1 - 99	Wien 1994
Barbara-Gespräche	Band 1	"Grenzen der Geotechnik" Payerbach 1993	Seite 101 -216	Wien 1994

Inhalt des ersten Teiles:

## **BAUGEOLOGISCHE TAGE Payerbach 1991**

### **Seminar:**

W. KOLLMANN  
G. RIEHL-HERWIRSCH  
E. VITEK  
F. PJANIC  
TH. LAHNER E. BINNER  
P. CARNIEL, P. MELICHAR  
W. KASPER

### **Abfall Lagerung - Wasser**

Hydrogeol. Einführung in das südliche Wiener Becken  
Aufbau und Funktionen der Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau  
Begrünungsversuch Hausmüll-Versuchsanlage Breitenau  
Die Hausmüll-VA. Breitenau aus der Sicht der Baudurchführung  
Maßnahmen zur Verbesserung des Abbauverhaltens org. Substanz  
von Mülldeponien am Beispiel der Hausmüll-VA. Breitenau  
Geophysikalische Messungen - "Deponieerkundung" am Beispiel  
Breitenau  
Die Hausmüll-VA Breitenau aus der Sicht der Wasser-Wirtschaft

### **Vorträge:**

W. VORTISCH  
M. GANDOLLA  
H. HÖTZL  
W. POZAREK  
W. DEMMER  
F. OTTNER B. SCHWAIGHOFER  
G. RIEHL-HERWIRSCH  
D. RANK

### **Abfall Lagerung - Wasser**

Entwicklungen und Probleme mineralischer Dichtungen für  
Abfalldeponien  
Tendenzen der Deponietechnik in der Schweiz  
Hydrogeol. Standortbewertung für Sonderabfalldeponien  
Umweltverträglichkeitsprüfung bei NÖ Sonderabfalldeponie-  
Standorten  
Grundsatzkonzept für die Möglichkeit der Endlagerung von  
radioaktivem Abfall aus der Sicht des Baugewologen  
Untersuchungen von Dichtungseigenschaften toniger  
Barrieregesteine  
Die "Diagenetische Inertisierung" eine umweltneutrale  
Rückeinbindung von Abfall in den natürlichen Stoffkreislauf  
Natürliche und künstliche Markierungen in der Geohydrologie /  
Istopenverhältnisse und Radionuklide

### **Vorträge:**

G. W. MANDL, A. MATURA  
G. HAMMERSCHMID  
A. STEMPKOWSKI  
W. FÜRLINGER, G. RIEDMÜLLER  
P. REICHL, H. ZOJER  
M. JOHN, W. PURRER  
M. HACKENBERG  
R. PAP

### **Der Semmeringbasistunnel - Neue österreichische Tunnelbauweise NÖT**

Geologischer Überblick über das Semmeringgebiet  
Die Bedeutung des Semmeringtunnels aus verkehrspolitischer Sicht  
Das Tunnelprojekt des Semmering Basistunnels  
Die geologischen Vorarbeiten für den Semmering-Basistunnel  
Hydrogeologische Untersuchungen im Zuge der Planung des  
Semmering-Basistunnels  
Geotechnische Aspekte bei der Anwendung der NÖT beim  
Ärmelkanaltunnel  
Der Bergbau Grillenberg  
Der Bau der ersten Gebirgsbahn Europas über den Semmering

Inhalt des zweiten Teiles:

## **BARBARA-GESPRÄCHE Payerbach 1993**

<b>Vorträge:</b>	<b>Grenzen der Geotechnik</b>
P.H. BRUNNER	Abfall als Langzeitrisiko
W. KASPER	Behebung von Umweltschäden - am Beispiel des Grundwassers der Mitterndorfer Senke
H. KALLENBACH	Zur Geologie von Berlin: Wirtschaftliche Nutzung und ökologische Probleme
E. SEMENZA, M. GHIROTTI	Vaiont / Longarone - 30 Jahre nach der Katastrophe
H. LUDESCHER, P. OBERNHUBER	Das Verhalten der Kölnbreinsperre nach der Errichtung einer talseitigen Abstützkonstruktion

Band 1 (öS 300,-) und Band 2 (öS 380,-) können über folgende Adressen bezogen werden:  
Geol. Dienst des Landes NÖ, Hofr. Dr. P. GOTTSCHLING, 3100 St. Pölten, Regierungsgebäude  
Geoschule Payerbach, 2650 Payerbach, Villenstraße 11, Fax 02666/2930

Der Band 3, BARBARA-GESPRÄCHE 1996 mit den Themen:  
"Verkehrswege im Osten Österreichs" und "Grenzwerte - Richtwerte"  
ist in Vorbereitung.

## **VORSCHAU: BARBARA-GESPRÄCHE Payerbach 1997**

### **BARBARAGESPRÄCHE 4. und 5. Dez 1997**

In diesem Jahr finden die Barbaragespräche der Geoschule Payerbach mit Fachvorträgen und ausführlichen Diskussionen zu folgenden Themenkreisen statt:

Donnerstag, 4. Dez. 1997

**EVENTS contra EVOLUTION ?** Katastrophen und/oder Entwicklung in der Erdgeschichte - ein aktuelles Thema, das uns alle angeht

**Vorträge u.a. von:** T. CERNAJSEK, GBA Wien; E. FLÜGEL, Univ. Darmstadt; W. FRANK, Univ. Wien; G. KURAT, Nat.Hist.Mus. Wien; H.P. SCHÖNLAUB, GBA Wien; A. TOLLMANN, Univ. Wien; W. VORTISCH, Montanuniv. Leoben;

Freitag, 5. Dez. 1997

**KARSTHYDROGEOLOGIE UND WASSERHAUSHALT**

Kalkalpen und südliches Wr. Becken - ein Wechselspiel des Wasserkreislaufes

**Vorträge u.a. von:** T. CERNAJSEK, GBA Wien; P. GOTTSCHLING, NÖ Landesreg. Wien; G. RIEHL - H., TU Wien; G. WESSELY, ÖMV Wien und andere